

Tartu Ülikool  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond  
Füüsika Instituut



Urmas Kvell

## **Tartu Ülikooli satelliitside keskus**

Bakalaureusetöö

Juhendajad:  
Mart Noorma  
Ilmar Ansko  
Tõnis Eenmäe

Tartu 2009

# Sisukord

Sissejuhatus.....	3
2 Satelliitside süsteemid.....	5
2.1 Ülevaade.....	6
3 Tartu Ülikooli satelliitside jaam.....	7
3.1 Jaama plokk skeem.....	8
3.2 Antennid.....	10
3.3 Antennimast.....	12
3.4 Seadmed.....	16
3.5 Tarkvara.....	17
3.5.1 GENSO.....	20
4 Mõõtmised.....	21
4.1 Kaablite sumbuvus.....	22
4.2 Peegelduskaod.....	24
4.2.1 Antennide asendi mõju.....	24
4.2.2 Antennitasandite peegelduskaod.....	25
4.2.3 Antennisüsteemi peegelduskaod.....	29
4.2.4 Katkine faasihilisti.....	31
5 Kokkuvõte.....	33
6 Tänuavaldused.....	34
7 Kasutatud kirjandus.....	35
8 Satellite communications center in the University of Tartu.....	37
9 Lisad.....	38
9.1 Kaablite sumbuvuse mõõtmine.....	38
9.2 Dipoolide peegelduskadude mõõtmine.....	39

## Sissejuhatus

Eesti liitumine Euroopa Kosmoseagentuuriga (ESA) on hetkel väga aktuaalne. Praegu on sõlmitud Eesti ja ESA vaheline raamleping, mis on aluseks tulevastele lepingutele. Järgmine suur samm oleks koopereerunud liikmeks saamine (European Cooperating State ehk ECS). ECS staatus võimaldaks Eestil panustada Euroopa kosmosetööstusesse erinevate programmide ja projektide kaudu ning kasu Eesti majandusele ja teadusele oleks märkimisväärne. Üks selline programm on PECS (Program for European Cooperating State), millega liitumisel investeerib Eesti 5 aasta jooksul vähemalt 5 miljonit krooni ning üle 90% ulatuses sellest summast tuleb Eesti ettevõtetele ning teadus- ja arendusasutustele kosmosetööstuse tellimusi.

Selliste tellimustega toimetulekuks on aga Eestil vaja spetsialiste, kes oleksid kosmosetehnoloogia valdkonnas pädevad. Aasta tagasi alustas Tartu Ülikool loengutekomplektiga, mis seda võimaldab, lisaks on ka mitmed tudengid valinud haridustee mõnes välismaa ülikoolis, kus õpetatakse kosmosetehnoloogiat, näiteks Euroopa Kosmoseülikoolis Prantsusmaal ja Surrey Ülikoolis Inglismaal.

Tartu Ülikoolis omandatavaid teoreetilisi aluseid on vaja toetada ka praktilise kogemusega. 2008. aasta sügisel alustas rühm üliõpilasi projektiga EstCube, mille eesmärgiks on ehitada Eesti esimene satelliit. Sama oluline, kui kosmosesse saadetav satelliit, on ka maapealne infrastruktuur, mis võimaldab satelliite juhtida ning mõõtmistulemusi alla laadida. Selleks alustati Tartu Ülikooli satelliitside keskuse väljaarendamist.

Käesoleva töö eesmärkideks oli satelliitside keskuse ühe allüksuse – antennisüsteemi - projekteerimine ja töölerakendamine. Seatud eesmärgid on saavutatud.

Käesoleva bakalaureusetöö käigus:

- uuriti erinevaid võimalusi sidepidamiseks satelliitidega polaarorbiitidel (millised on enimkasutatavad antennisüsteemid, saate- ja vastuvõtuseadmed ning andmekodeeringud);
- planeeriti ja paigaldati Tartu Ülikooli satelliitside keskuse vastuvõtu- ja saateantennide süsteem;
- viidi läbi sidesüsteemi parameetrite mõõtmine (kaablite sumbuvus, peegelduskaod);

Satelliitside jaama valmimist toetas Eesti Raadioamatöörade Ühing ja finantseeris Eesti Infotehnoloogia Sihtasutus. Töö tulemusi on esitletud Eesti Füüsikapäevadel 2009.

## 2 Satelliitside süsteemid

Maa orbiidil on järjest rohkem erinevaid satelliite, mis kasutavad sideks amatöörraadioside sagedusalasid. See tähendab, et igäüks võib vastu võtta ja vabalt kasutada nende satelliitide poolt saadetud andmeid. Raadioside satelliitidega, satelliitide poolt tehtud mõõtmistulemuste ja piltide vastuvõtt on mõned näited erinevatest rakendustest.

Satelliidi sidesüsteem võimaldab vastu võtta juhtkäske (vastuvõtukanal, ingl. k. *uplink*), mille abil saab seada satelliidi erinevaid tööseisundeid ja algatada andmete saatmist. Satelliidilt andmete allalaadimiseks kasutatakse enamasti kahte kanalit (saatekanal, ingl. k. *downlink*):

- madala energiatarbega saatja (näiteks morsesignaaliga majakas, ingl. k. *beacon*);
- kõrge energiatarbega saatja.

Madala energiatarbega saatekanalit kasutatakse üldise süsteemiinfo, näiteks akude seisund ja süsteemi temperatuur, edastamiseks. Seda informatsiooni kasutatakse satelliidi „tervise“ jälgimiseks. Andmeid edastatakse perioodiliselt morsekoodis ja need on vabalt kuulatavad.

Kõrge energiatarbega sidekanal on mõeldud suurte andmehulkade jaoks, mis tekivad eksperimendi käigus, näiteks satelliidi peal oleva kaameraga tehtav pilt. Seda kanalit kasutatakse ainult Maalt saadetava käsu peale, kuna pidev kasutamine kulutaks liiga palju energiat.

Amatöörraadioside satelliite on enamasti võimalik kasutada releejaamadena tavalise raadioside pidamiseks, sealhulgas digitaalseks andmevahetuseks.

## 2.1 Ülevaade

Erinevate ülikoolide poolt ehitatud pikosatelliidid kasutavad sidepidamiseks enamasti amatöörraadioside 2 m ja 70 cm lainealasid. Vähesel määral kasutatakse ka S-sagedusala [1]. Samuti kasutavad amatöörraadioside satelliidid 2 m ja 70 cm lainealasid.

Satelliitside eripära seisneb satelliitide jälgimises, mispuhul tuleb transiiveri saate- ja vastuvõtusagedusi tuleb reguleerida Doppleri efekti tõttu.

Amatöörraadiosides on igal raadioamatööril oma unikaalne kutsung [2]. Kutsungi kasutamise eesmärk on identifitseerida raadiosõnumeid ja -saatjaid [3].

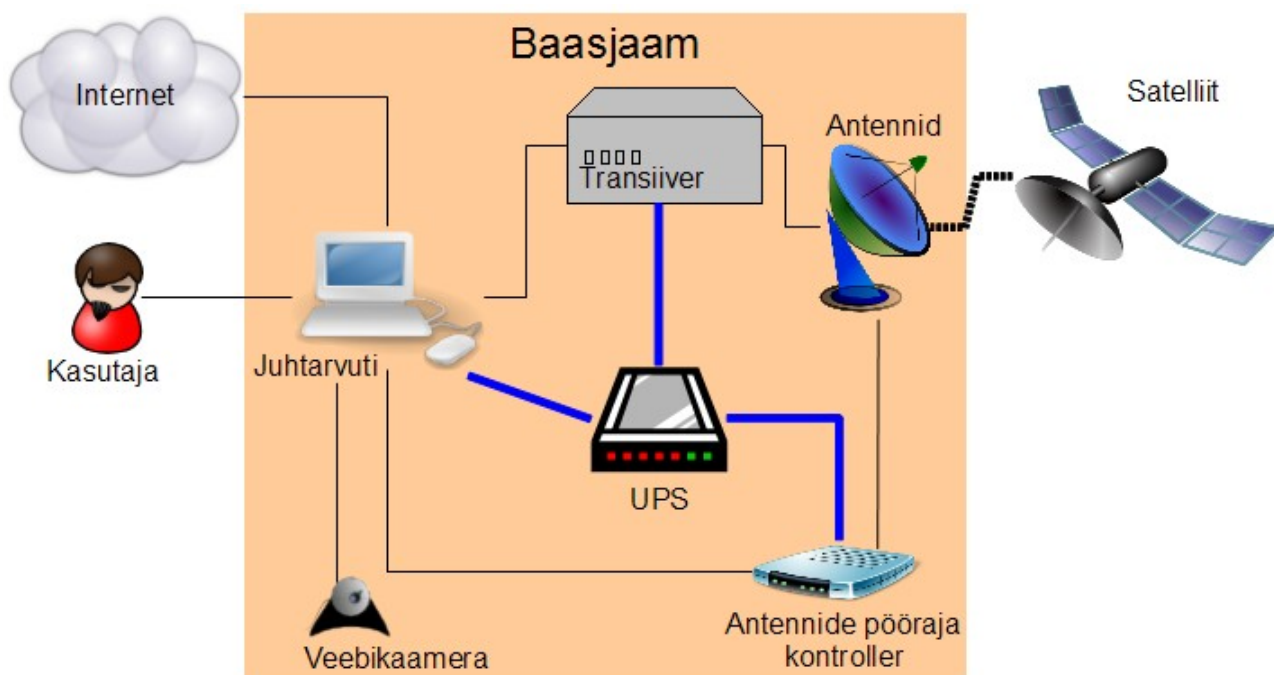
Raadioside on Eestis seadustega reguleeritud. Amatöörraadioside jaamal peab olema tööluba ning kutsung. Lisaks peab jaama kasutamiseks olema operaatoril vastav raadioamatööri kvalifikatsiooniklass [3], [4].

### 3 Tartu Ülikooli satelliitside jaam

Raadioside satelliitidega seab kasutatavale tehnikale mitmeid lisanõudeid. Sideseansid tuleb ette planeerida, arvestades satelliitide ülelende ja otsenähtavust, antennid peavad satelliiti ülelennu ajal jälgima ning vastuvõtu- ja saatesagedusi tuleb vastavalt Doppleri nihkele muuta.

Vastuvõtijaam võimaldab praegu sidet pidada amatöörraadioside 70 cm ja 2 m lainealadel. Peamised raadiosideks vajalikud komponendid on raadiosignaali saatja-vastuvõtja ehk transiiver ja sellega ühendatud antennid. Satelliitide jälgimiseks on vaja antenne ülelennu ajal pöörata. Selleks kasutatakse rootormehhanismi, mis koosneb katusel asuvatest mootoritest ja ülekannetest ning neid juhtivast kontrollierist. Satelliitide orbiidiparameetrid laetakse alla Internetist [5]. Nende põhjal arvutatakse jälgitava satelliidi horisondilised koordinaadid ning saate- ja vastuvõtusageduse Doppleri nihe. Arvutisüsteem juhib transiiverit ja antennide pöörajat.

Antennide liikumist jälgib veebikaamera, mille pilti edastab sidejaama juhtarvuti Internetti. Kaamera pilti on võimalik kasutada süsteemi töö kontrollimiseks ja demonstreerimiseks. Kaitseks toitepinge kõikumiste eest kasutatakse katkmatu toitepinge allikat (UPS).



Joonis 1. Baasjaama põhimõtteline skeem.

Jaama on võimalik juhtida ka käsitsi st ilma arvutisüsteemita, näiteks jaama kasutamiseks maapealseks sideks teiste radioamatööridega. Sidepidamisel teiste radioamatööridega kasutatakse jaama kutsungit ES5EC. Arvutisüsteemiga on võimalik opereerida nii kohapeal

kui ka üle laivõrgu.

Vastuvõtjaama ehitus on toodud välja joonisel 1.

### **3.1 Jaama plokkskeem**

Baasjaam koosneb arvutisüsteemist, kus töötavad erinevad satelliitsideks vajalikud teenused, antennisüsteemist, transiiverist, antennide pööraja kontrollist ja katkematu toitepinge allikast. Arvuti on ühendatud Internetti, kuhu saadetakse ka antennisüsteemi jälgiva veebikaamera toodetavat pilti. Detailne plokkskeem on toodud joonisel 2.

Jaamal on eraldi antennisüsteemid 2 m ja 70 cm lainealade jaoks, lisaks on 70 cm laineala vastuvõtul kasutusel ka signaali eelvõimendi. Eelvõimendit kasutatakse ainult 70 cm lainealal, kuna just seal toimib kõrge energiatarbega sidekanal andmete laadimiseks satelliidilt.

Jaam võimaldab mõlemas lainealas saata juhtkäske ning võtta vastu andmeid.

Andmete vastuvõtul edastab transiiver signaali arvutisse, kus toimub signaali demoduleerimine ja dekodeerimine. Juhtkäskude saatmisel läbib signaal vastupidise tee - käsk kodeeritakse, moduleeritakse, edastatakse transiiverisse ning antennisüsteemi.

Satelliidi orbiidiparameetrite määramiseks vajatakse andmebaasi satelliitidest ja nende orbiidi elementidest, tüüpiliselt kasutatakse nn. Kepleri orbiidi elemente [6]. Orbiidielementide andmebaasi tuleb perioodiliselt uuendada, sest satelliitide orbiidid muutuvad atmosfääri hõõrdumise tõttu.

Satelliidi asukoha määramisel on kolm eesmärki [7]:

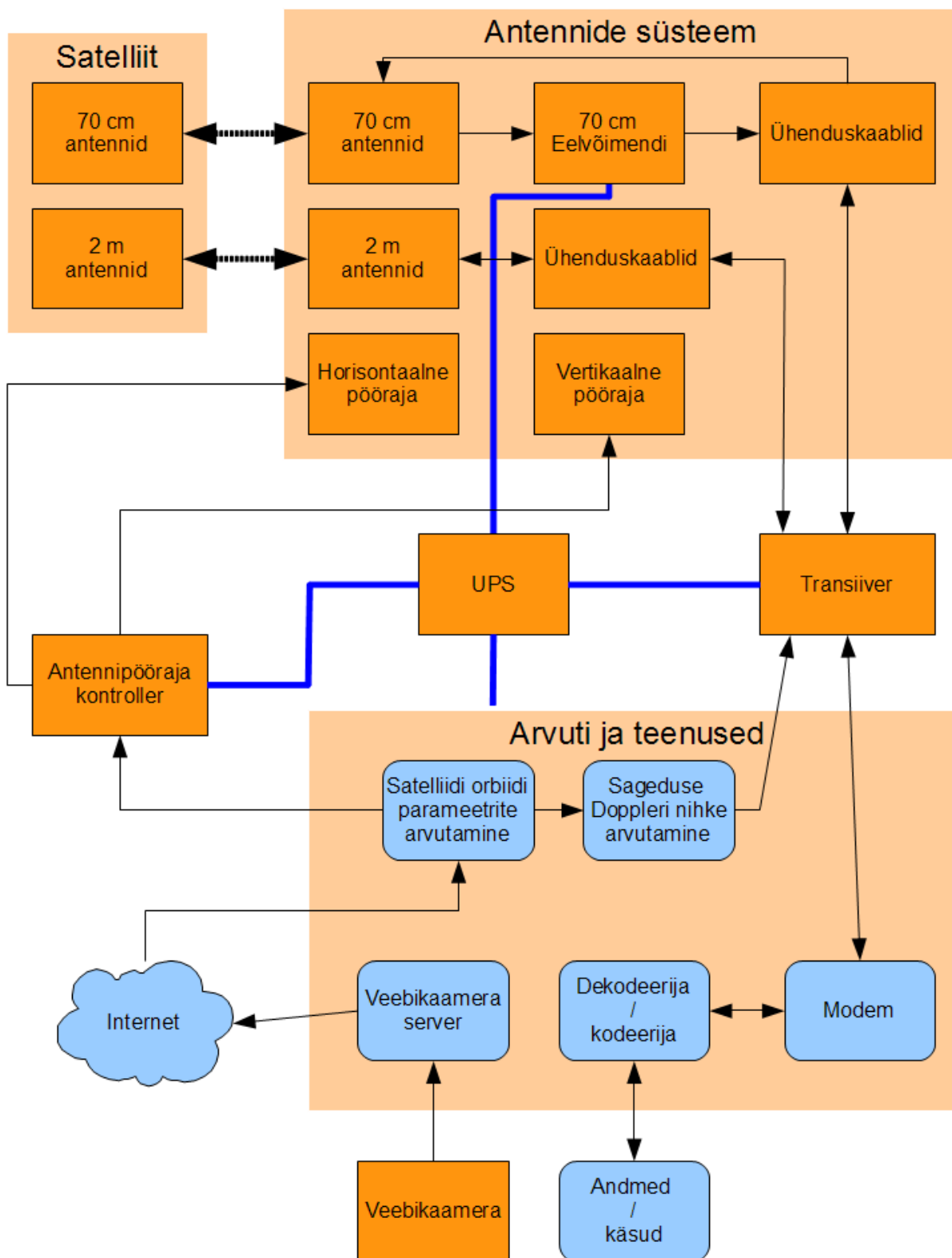
- satelliitide täpne jälgimine ülelennu ajal;
- orbiidi ja selle kaudu satelliidi asukoha määramine suvalisel missiooni ajahetkel;
- tulevikuorbiidi arvutamine ülelendude ja missiooni planeerimiseks.

Satelliidi arvutatud asukoha põhjal edastab arvuti antennipööraja kontrollile satelliidi horisondilised koordinaadid ning kontroll pöörab antennisüsteemi õigesse suunda. Lisaks arvutatakse satelliidi saate- ja vastuvõtusageduse Doppleri nihe ning transiiverile edastatakse korrigeeritud sagedused, millele transiiver häälestatakse.

Selleks, et ootamatu voolukatkestuse korral oleks võimalik pooleliolev sideseanss lõpule viia, toidetakse arvutit, transiiverit, antennipöörajat ja eelvõimendit läbi katkematu toitepinge allika (UPS). Niimoodi on voolukatkestuse ajal rivist väljas ainult veebikaamera ja



internetiühendus, kuna need ei ole sideseansi lõpetamiseks olulised. Lisaks kaitseb katkematu toitepinge allikas seadmeid väiksemate toitepinge kõikumiste eest.

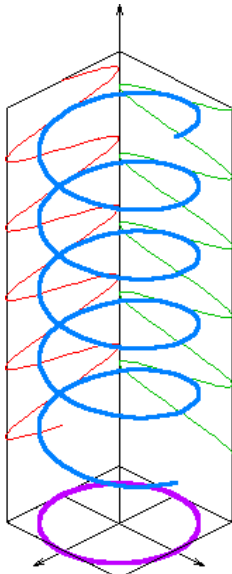


Joonis 2. Baasjaama plokk skeem.

## 3.2 Antennid

Satelliitsides kasutatakse enamasti ringpolarisatsiooni [6] (joonis 3), kusjuures eristatakse:

- „paremakäelist“ ehk „päripäeva“ ringpolarisatsiooni (ingl. k. *right hand circular polarization*);
- vasakukäelist ehk „vastupäeva“ ringpolarisatsiooni (ingl. k. *left hand circular polarization*).



Joonis 3. Ringpolarisatsioon [8].

Kuna signaali peegeldumine mõnda tüüpi objektidelt muudab polarisatsioonitasandit, mõjutab see vastuvõetava signaali sumbuvus. Erinevate lineaarsete ja ringpolarisatsioonide kasutamise sumbuvus on välja toodud tabelis 1. Vastupidiselt polariseeritud signaali sumbuvus on 30 dB.

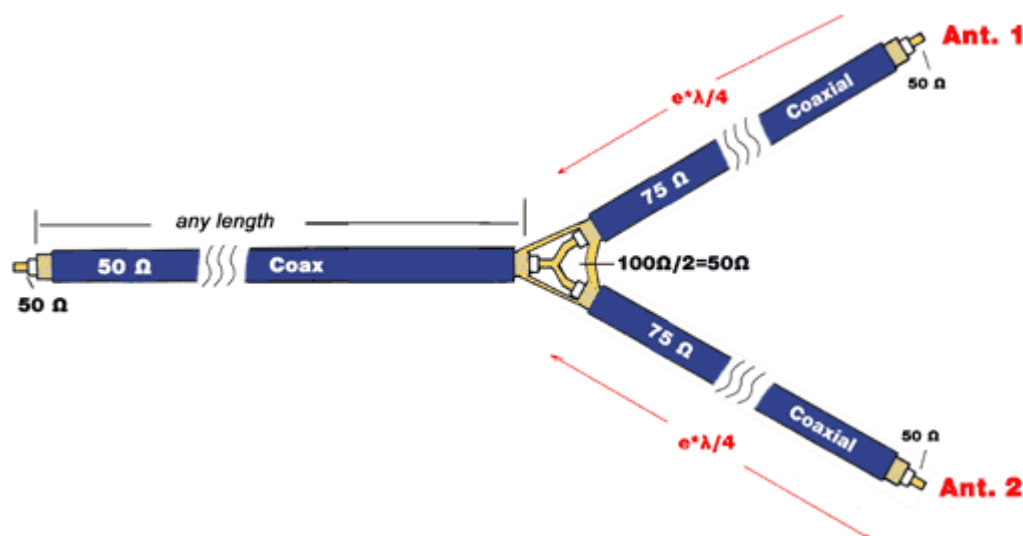
	<b>Horisontaalne</b>	<b>Vertikaalne</b>	<b>RHCP</b>	<b>LHCP</b>
<b>Horisontaalne</b>	0 dB	30 dB	3 dB	3 dB
<b>Vertikaalne</b>	30 dB	0 dB	3 dB	3 dB
<b>RHCP</b>	3 dB	3 dB	0 dB	30 dB
<b>LHCP</b>	3 dB	3 dB	30 dB	0 dB

Tabel 1. Signaali sumbuvus erinevalt polariseeritud signaalide vastuvõtmisel [9].

Ringpolarisatsiooni saamiseks on võimalik kasutada nii spiraal- kui ka ristjagiantenni. Ristjagi puhul tuleb kõigepealt vaadelda antennitasandite kokkusobitamist.

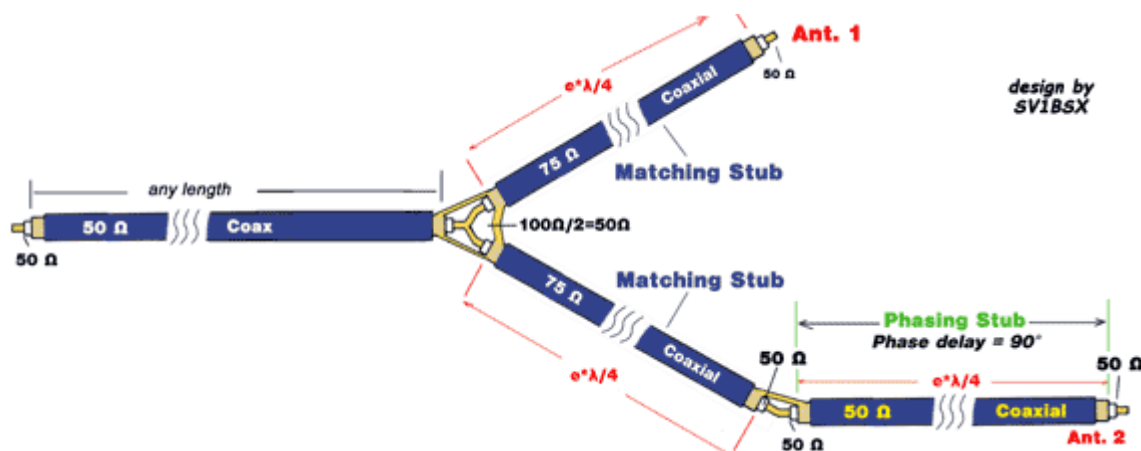
Mõlema antennitasandi lainetakistus on  $50 \Omega$ ; kui need ühendada paralleelselt, oleks summaarne lainetakistus  $50 \Omega / 2 = 25 \Omega$ , mis erineb kaabli ja transiiveri sobitatud takistusest  $50 \Omega$  [viide]. Seetõttu tuleb kasutada signaali jagajaid (ingl. k. *power splitter*), mis

võimaldavad antennitasandeid kokku ühendada nii, et ühenduspunktis on lainetakistus  $50 \Omega$  (vt joonist 4).



Joonis 4. Signaalijagaja [9].

Ringpolarisatsiooni saamiseks tuleb kasutada lisaks ka faasihilistit (ingl. k. *phasing harness*). Selleks lisatakse ühe antennitasandi ja signaali jagaja vahele kaabel, mille pikkus peab olema võrdne antennitasandi veerandlainepikkusega (vt joonist 5) [9].



Joonis 5. Faasihilisti [9].

Kui antennitasandite signaalid kokku liita nii, et üks tasand on hilistatud, tekibki ringpolariseeritud signaal.

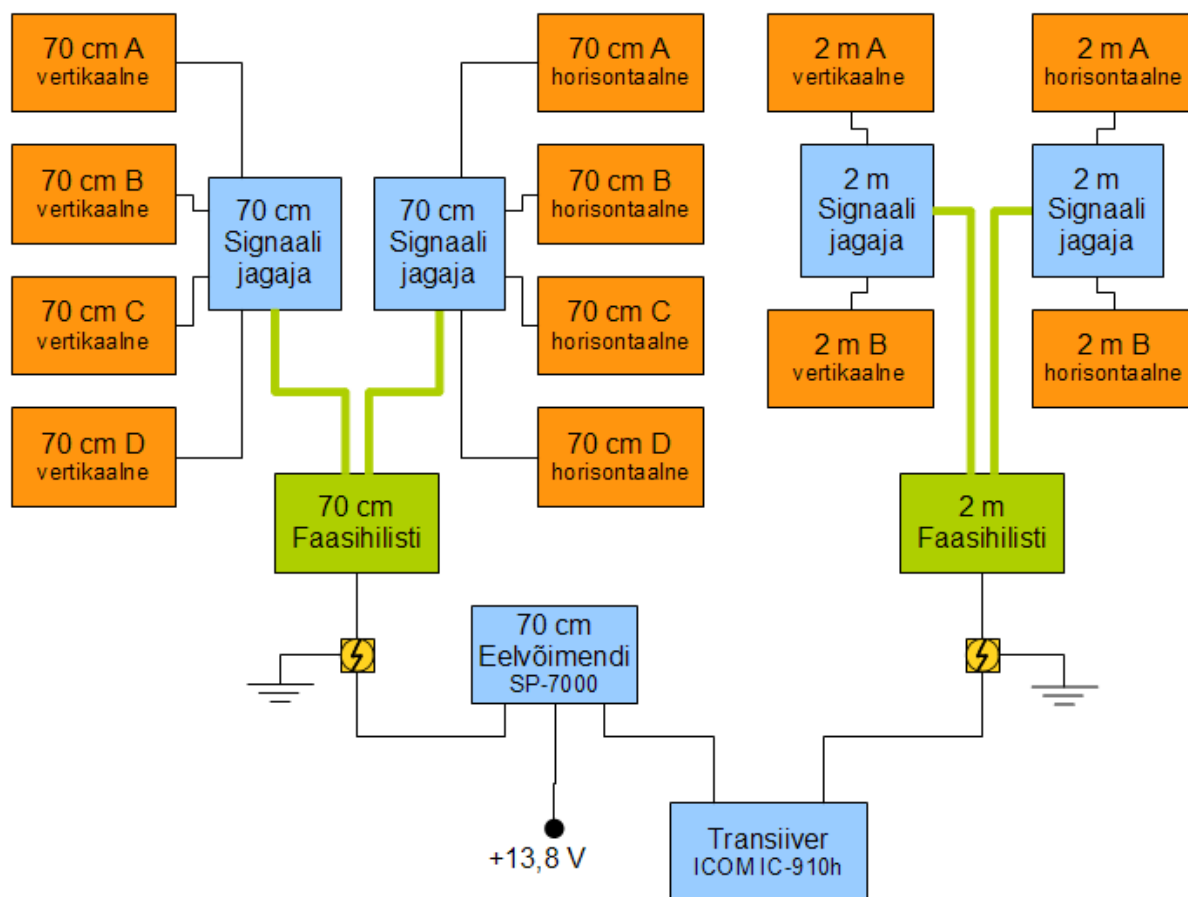
Antennisüsteemi võimenduse suurendamiseks on kaks võimalust:

- kasutada mõõtmetelt suuremaid antenne;
- kasutada mitut väiksemat antenni, mis liidetakse kokku.

Esimesel juhul peaks antenni pikkuse iga kahekordne suurendamine lisama võimendust 2,2 dB [10], teisel juhul lisab antennide arvu kahekordistamine 3 dB [11].

Suuremate antennide kasutamine oleks küll lihtsam, kuid mitte nii otstarbekas, kuna antennide tuuletakistus ja kaal suureneksid oluliselt. Lisaks peab antennisüsteem olema kahes teljes pööratav.

Antennisüsteemi plokk skeem on kujutatud joonisel 6. Kasutatud antennide, signaalijagajate ja faasihilistite andmed on välja toodud peatükis 3.4 .



Joonis 6. Antennisüsteemi plokk skeem.

Kaablisumbuvuse mõju vähendamiseks vastuvõetavale signaalile kasutatakse eelvõimendit, mis paigaldatakse antennidele võimalikult lähedale, et vältida kaablites ja ühendustes lisanduva müra võimendamist.

Seadmete ohutuse tagamiseks äikse ajal kasutatakse piksekaitsmeid.

### 3.3 Antennimast

Antennide pööramiseks kasutatav Yaesu rootormehhanism koosneb kahest katusele paigaldatavast mootorist, millest üks on mõeldud antennide pööramiseks horisontaal- ja teine vertikaaltasapinnas.

Horisontaalne pööraja võib asuda masti ülemises osas, mille puhul kinnitatakse otse tema

külge vertikaalne pööraja. Teine võimalus on kasutada horisontaalset pöörajat masti alumises osas, sellise lahenduse puhul läheb vaja masti toetavat tornstruktuuri (ingl. k. *support tower*). See kinnitusmeetod on üldjuhul vastupidavam ning seda kasutatakse suurte antennimastide puhul või tugeva tuultega kohtades [12].

Antennimasti kõrguse määramisel tuleb arvestada, et antennisüsteemi pööramisel peavad antennid alati jääma katusest ohutule kaugusele. Masti tugevuse ning samuti kaabli pikkuse seisukohalt seisukohalt sobib paremini lühem mast. Antennisüsteemi iseloomustavad parameetrid on koondatud tabelisse 2.

Antenn	Mõõdud (m*m*m)	Kaal (kg)	Optimaalne vahekaugus (m)
70 cm ristjagi WX 7036	3,4 * 0,34 * 0,34	3,5	1,43
2 m ristjagi WX 214	2,7 * 0,99 * 0,99	3,3	2,58

Tabel 2. Antennide parameetrid [11].

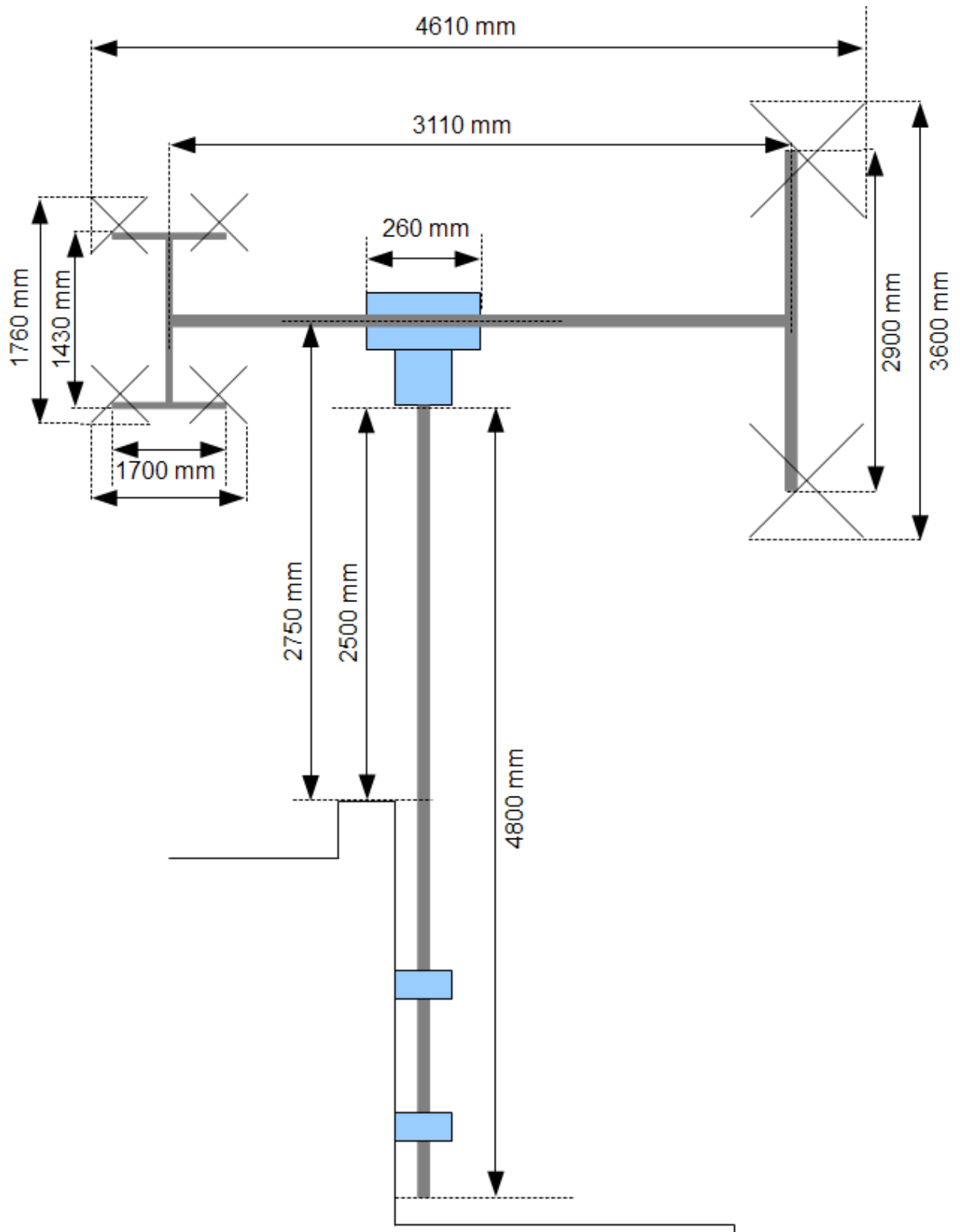
Lühikese masti tõttu oli otstarbekam kinnitada horisontaalne pööraja masti ülaossa. Masti tugevdamiseks on võimalik lisada tõmmitsad. Antennimast koosneb pikast vertikaalsest raudtorust, mis on kinnitatud katuse külge ning mille otsas asub horisontaalne pööraja. Raudtoru jämeduse valikul lähtuti tabelis 3 toodud piirangutest. 2 m ja 70 cm laineala antennide optimaalne vahekaugus ja kaugus mastist on valitud vastavalt antennide paigaldusjuhendile. Antennimast on kujutatud joonisel 7.

Komponent	Min. toru läbimõõt (mm)	Maks. toru läbimõõt (mm)
Horisontaalne pööraja	38	63
Vertikaalne pööraja	32	43
70 cm ristjagi WX 7036	-	65
2 m ristjagi WX 214	-	52

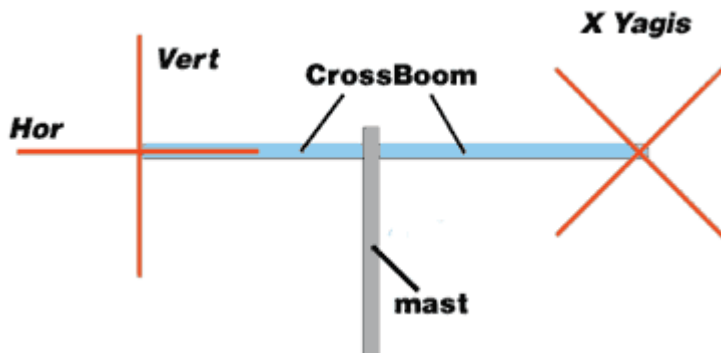
Tabel 3. Komponentide kinnituste piirangud mastitoru jämedusele [12], [11].

Antennimasti külge on kinnitatud veel eelvõimendi. Eelvõimendi peab paiknema faasihilistile võimalikult lähedal, kunasee on esimene koht, kus signaalid kokku liidetakse.

Ohutuse huvides on masti metalloosa elektriliselt maandatud.



Joonis 7. Antennimast.



Joonis 8. Antennide kinnituse võrdlemine [9].

Ringpolarisatsiooni kasutamine võimaldab ristjagi antenne kinnitada:

- mastiga paralleelselt (joonis 8, vasakpoolne antenn);
- mastiga  $45^\circ$  kraadise nurga all (joonis 8, parempoolne antenn).

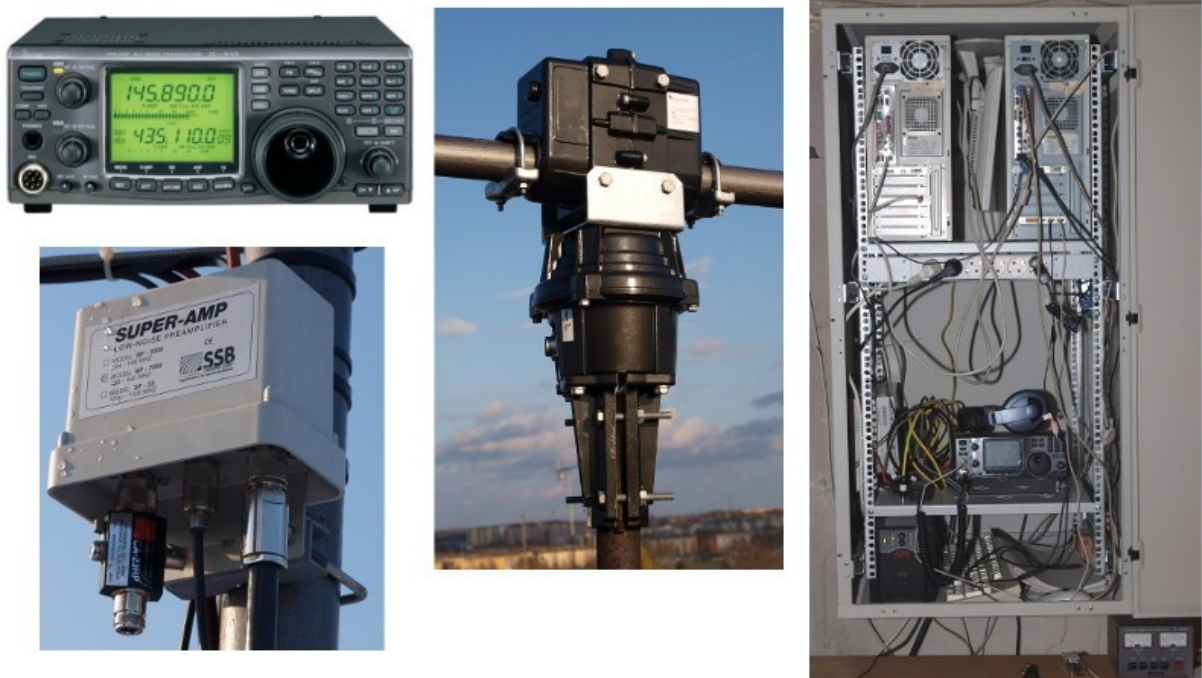
Kui antennimast on juhtivast materjalist, siis esimesel juhul hakkab mast antenni segama – mast „varjab“ pooled horisontaalsed elemendid [9]. Järelikult tuleb raudtorudest koosneva masti puhul kasutada „X“ kujulist antennide paigutamist. Valminud antennimast on kujutatud joonisel 9.



Joonis 9. Paigaldatud antennisüsteem.

### 3.4 Seadmed

Transiiver, antennipööraja kontrolleri, UPS ja arvuti on paigutatud füüsikahoone põõningul asuvasse seadmekappi. Transiiveri lähedus antennidele võimaldab hoida signaali sumbuvus minimaalsena. Seadmekapi kasutamine tagab ka jaama turvalisuse, sest kapp on lukustatav.



*Joonis 10. Sidejaamas kasutatavad seadmed: transiiver, eelvõimendi, antennipööraja ning seadmekapp, kus asub lisaks transiiverile ka antenni pööraja kontrolleri, arvutisüsteem ja katkematu toitepinge allikas.*

Sidejaamas kasutatavad seadmed on loetletud tabelis 4, lisaks on valik seadmetest kujutatud joonisel 10. Seadmete valikul toetuti teiste radioamatööride ja pikosatelliitide ehitajate kogemustele [1].



<b>Komponent</b>	<b>Tootja ja mudel</b>
70 cm ristjagi antenn, 4 tk	Wimo WX 7036 Kreuzyagi 70cm 2x18 elementi [11]
2 m ristjagi antenn, 2 tk	Wimo WX 214 Kreuzyagi 2m 2x7 elementi [11]
70 cm eelvõimendi	SSB Electronic SP-7000 [13]
Sidekaabel	Ecoflex 15 [14]
Transiiver	ICOM IC-910H [15]
Antennide pööraja	Yaesu G-5500 [12]
Faasihilistid	Wimo 18052 ja 18051 [16]
Signaalijagajad	Wimo 18043 ja 18040 [17]
Piksekaitse, 2 tk	Diamond CA-23RP Blitzschutz N Bu/St 200W
Katkematu toitepinge allikas	APC Smart-UPS 750
Kaamera	Trendnet TV-IP201 koos ilmastikukindla kestaga
Arvuti	Ubuntu Linux 8.04 Intel Pentium 4 2.6 GHz, 512 MB RAM 40 GB HDD

Tabel 4. Jaamas kasutatavad seadmed.

### 3.5 Tarkvara

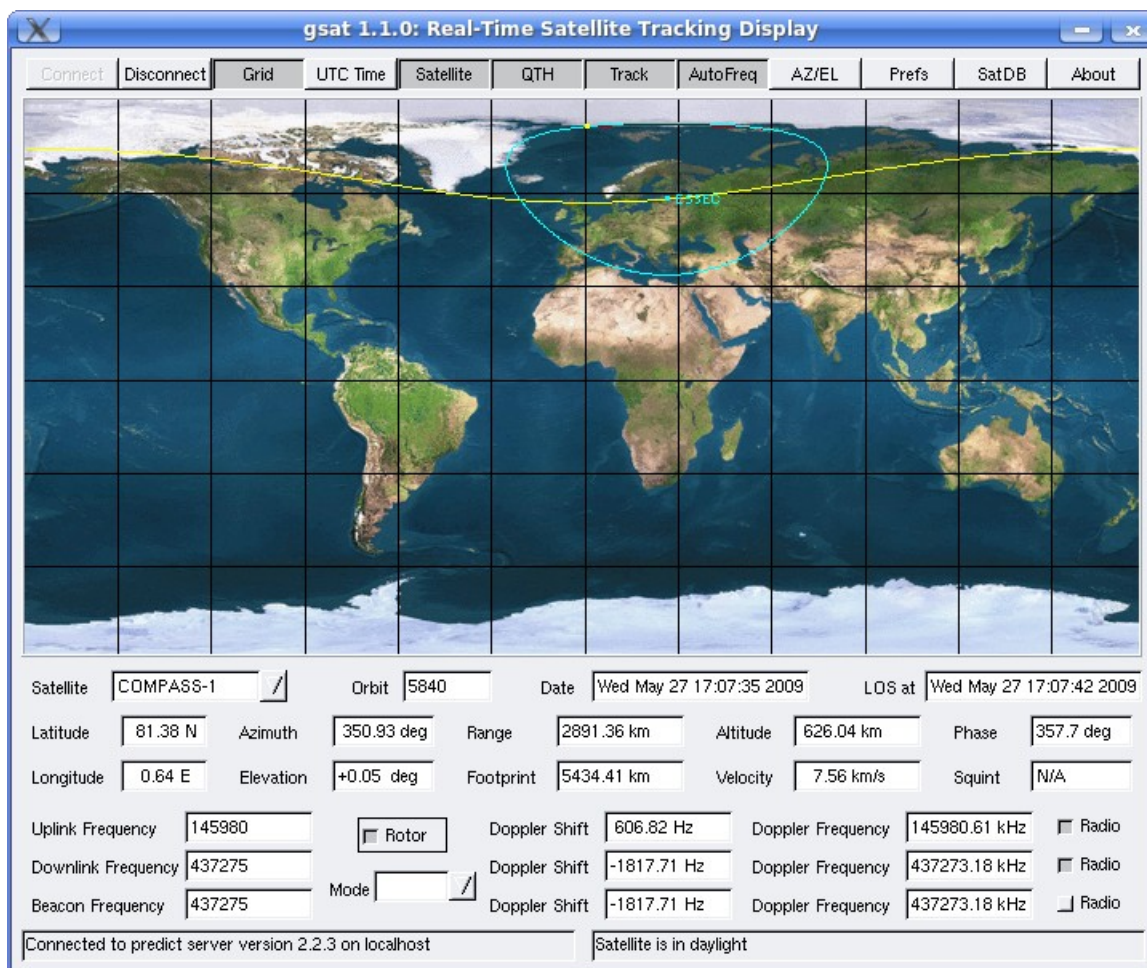
Satelliitsidejaamas kasutatava tarkvara ülesandeks on:

- satelliidi asukoha arvutamine orbiidiparameetrite põhjal;
- transiiveri ja antennide pööraja kontrolleri juhtimine;
- saate- ja vastuvõtusageduse Doppleri nihke arvutamine;
- transiiveri poolt vastu võetud signaali salvestamine;
- satelliidi juhtkäskude formeerimine ja saatmine transiiverisse;
- signaali moduleerimine ja demoduleerimine;
- signaali kodeerimine ja dekodeerimine;
- veebikaamera pildi salvestamine ja edastamine Internetti.

Juhtarvutis kasutatakse Ubuntu Linux operatsioonisüsteemi. Sidejaamas kasutatav tarkvara on koondatud tabelisse 5, kahe programmi kasutajaliidesed on kujutatud joonistel 12 ja 13. Kus võimalik, kasutati vabavaral põhinevaid valmislahendusi.

Programm	Kirjeldus
Predict [18]	Arvutab satelliitide asukohti, kasutab selleks orbiidiparameetreid, mida tuleb arvutuste täpsuse säilimiseks perioodiliselt uuendada. Seda informatsiooni serveritakse teistele programmidele.
GSat [18]	Eelmise programmi kasutajaliides, mis võimaldab graafiliselt kujutada satelliitide orbiite Maa kohal ja järgmise ülelennu aegu. Arvutab sageduste Doppleri nihkeid sõltuvalt satelliidi orbiidist. Juhib transiiverit ja antennide pööraja kontrolleri.
Tarkvaraline modem [19], [20], [21]	Modemi ülesandeks on saadetava ja vastuvõetava signaali moduleerimine ja demoduleerimine. Erinevalt riistvaralisest modemist võimaldab tarkvaraline valida palju rohkem modulatsioonitüüpe ja andmesidekiirusi, sh mittestandardseid. Modemitarckvara valik on veel otsustamisel.
VLC [22]	Võtab vastu veebikaamerast saadetud pilti ning edastab seda Internetti.

Tabel 5. Jaamas kasutatav tarkvara.



Joonis 11. GSat jälgimas satelliiti Compass-1. Sinise joonega on kujutatud jaama ruumilist katvust ja kollasega satelliidi oma.

PREDICT: Multi-Satellite Tracking Mode - Shell No. 2 - Konsole

Session Edit View Bookmarks Settings Help

PREDICT Real-Time Multi-Tracking Mode  
Current Date/Time: Wed 27May09 14:07:22

Satellite	Az	El	LatN	LonW	Range	Satellite	Az	El	LatN	LonW	Range
DTUSAT	309	-74	-35	125	13096 D	MAST	99	-41	-3	253	9247 N
CUTE-1 ~)	336	-14	70	95	5285 D	LIBERTA~1	265	-61	-33	81	12061 D
QUAKESAT	132	-4	32	306	3794 D	POLYSAT~3	337	-1	78	35	3342 D
AAU CUB~T	308	-75	-37	126	13151 D	CAPE1	203	-78	-77	112	13182 D
CANX-1	322	-53	6	118	11136 D	POLYSAT~4	94	-36	7	253	8561 N
CUBESAT~)	271	-84	-57	135	13510 D	NTS (CA~)	356	+0	82	345	2859 D
UWE-1	147	-67	-67	259	12515 N	CUTE-1..~I	101	-53	-22	242	10932 N
CUBESAT~)	17	-13	76	205	4897 D	COMPASS-1	353	+0	82	354	2877 D
NCUBE-2	61	-28	36	233	7333 N	AAUSAT-II	214	-76	-73	92	12992 D
CUTE-1..~)	168	-37	-18	322	8045 D	DELFI-C3	290	-23	39	59	6252 D
GENESAT-1	313	-36	33	95	8183 D	CANX-2	107	-59	-35	240	11643 N
CSTB1	85	-27	25	255	6997 N	SEEDS II	239	-70	-56	78	12611 D

Upcoming Passes

Sun	-----	Moon
-----	QUAKESAT on Wed 27May09 14:08:29 UTC	-----
254.76 Az	CSTB1 on Wed 27May09 14:19:58 UTC	199.54 Az
+34.33 El	POLYSAT~4 on Wed 27May09 14:24:40 UTC	+53.88 El

Shell Shell No. 4 Shell No. 2 Shell No. 3

Joonis 12. Predict; mitme satelliidi jälgimine reaajas. Valgega on märgitud hetkel nägemisulatuses olevad satelliidid. Ekraani allosas on tabel järgmiste ülelendudest.

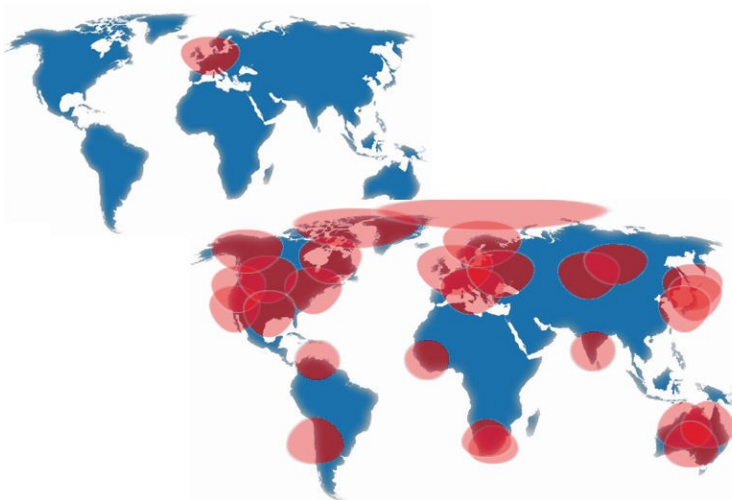
### 3.5.1 GENSO

Plaanis on Tartu Ülikooli satelliitside keskuse liitmine rahvusvahelise satelliitside jaamade võrgustikuga Global Education Network for Satellite Operations (GENSO). Euroopa Kosmoseagentuur arendab GENSO projekti, et avardada oluliselt sidevõimalusi avalikuks kasutamiseks mõeldud satelliitidega. Selleks luuakse olemasolevatest sidejaamadest Interneti vahendusel toimiv võrgustik. Võrgustiku moodustavad ülikoolide ja raadioamatööride sidejaamad [23].

Tartu Ülikoolis osaletakse GENSO tarkvara arendamises, mis koosneb kahest suuremast komponendist [23]:

- baasjaama paigaldatavast tarkvarast, mis võimaldab konkreetset jaama juhtida;
- missiooni juhtimise tarkvarast, mis võtab ühendust baasjaamadega ja planeerib jaamade kaugjuhtimist sideseanssideks satelliitidega.

Kokkuleppe kohaselt kasutatakse GENSO komponentide programmeerimiseks Java-keskkonda, kuna see võimaldab programme väikese vaevaga erinevate operatsioonisüsteemide tarbeks kohandada.



*Joonis 13. Ühe jaama ja GENSO võrgustiku kasutamise võrdlus [23].  
Punasega on tähistatud jaamade ruumiline katvus.*

Võrreldes ühe sidejaamaga võimaldab GENSO kasutamine suurendada nii sideseansside arvu kui ka pikkust tulevase Eesti tudengisatelliidiga. Ühe jaama ruumilise katvuse võrdlus GENSO võrgustiku hinnangulise katvusega on välja toodud joonisel 13.

## 4 Mõõtmised

Valminud sidejaama iseloomustamiseks on olulised järgmised parameetrid [24], [25]:

- kaablite sumbuvus (ingl. k. *cable loss*);
- signaali kiiruskaod tagasipeegeldumisel antennides ehk peegelduskaod (ingl.k. *return loss*);
- antennide suunadiagramm;
- eelvõimendi võimendus;
- antennide võimendus;
- satelliitide jälgimise ehk pööramismehhanismi täpsus.

Käesolevas töös uuriti kaablite sumbuvust ja süsteemi peegelduskadusid. Tartu Ülikooli satelliitside jaama suunadiagramme on kirjeldatud töös [26].



Joonis 14. Mõõtesead Rohde&Schwarz FSH3 [27]

Mõõtmisteks kasutati kaasaskantavat spektrianalüsaatorit Rohde&Schwarz FSH3 Spectrum Analyzer (sageduspiirkond 100 kHz – 3 GHz) koos lisamooduli Rohde&Schwarz FSH-Z2 VSWR Bridge and Power Divider (sageduspiirkond 10 MHz – 3 GHz, 50 Ω) ja kalibreerimiskomplektiga ZV-Z121. Kaasaskantav spektrianalüsaator võimaldas teostada paigaldatud süsteemi komponentide parameetrite mõõtmisi välitingimustes. Spektrianalüsaator on kujutatud joonisel 14.

#### **4.1 Kaablite sumbuvus**

Mõõtmise põhimõte seisneb selles, et mõõdetava kaabli üks ots ühendatakse spektrianalüsaatoriga ning teine kaabliots on kas lühistatud või lahti ühendatud. Spektrianalüsaator genereerib signaali ja mõõdab tagasipeegeldunud signaali suuruse. Kuna kaabli teises otsas toimub signaali täielik tagasipeegeldumine, siis signaal läbib kaablit kaks korda ning mõõteseadmeni jõudnud signaal on nõrgenenud kahekordse kaablisumbuvuse võrra. Mõõtmine teostatakse ettemääratud sagedusvahemikus genereeritavate signaalidega ja lõpptulemusena esitatakse maksimaalse ja minimaalse sumbuvuse aritmeetiline keskmine [28].

Mõõtmiseks kasutatud sagedusvahemikud:

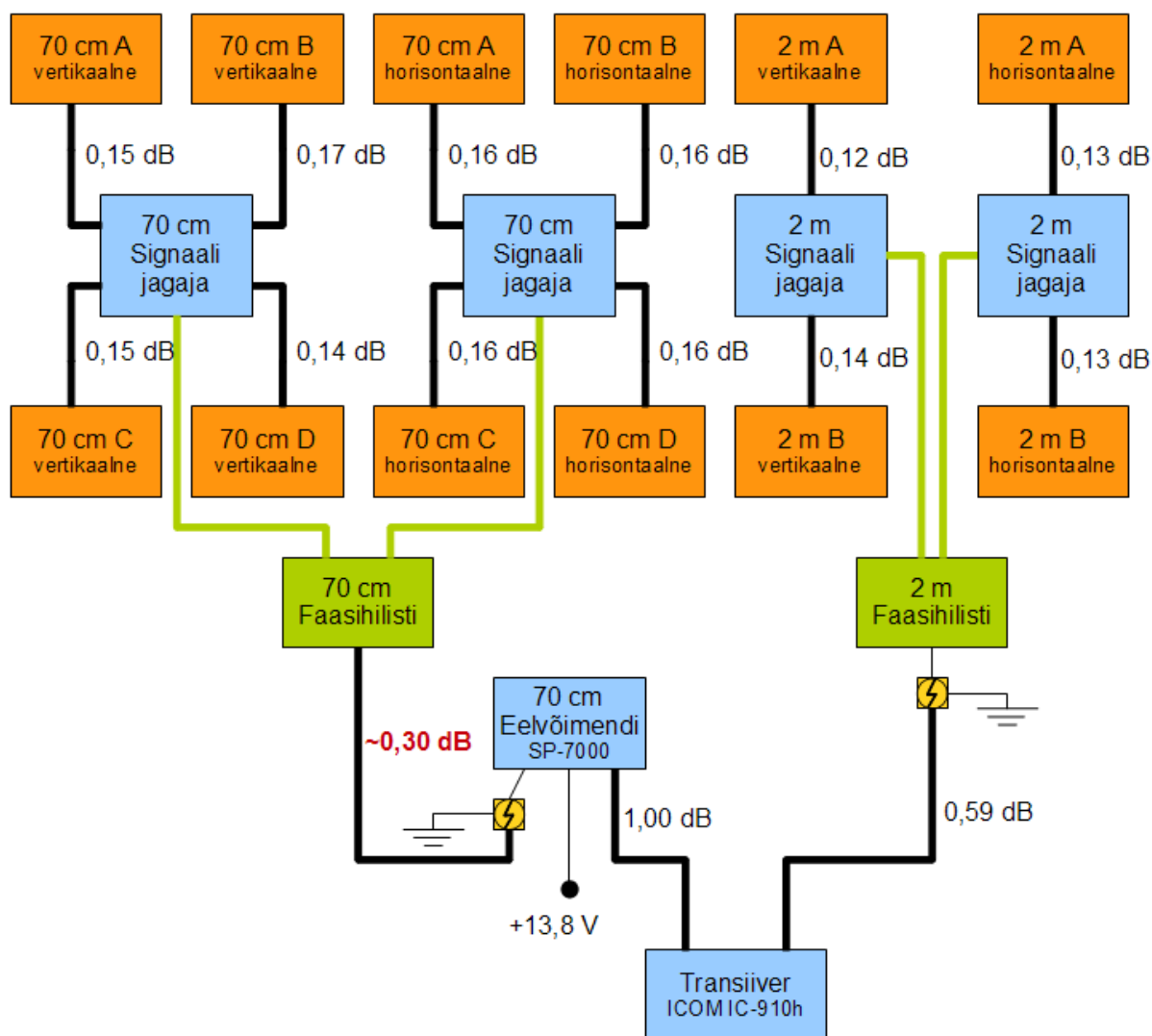
- 2 m lainepikkusel: 130 – 160 MHz;
- 70 cm lainepikkusel: 420 – 450 MHz.

Kaablite pikkus mõõdeti enne nende paigaldamist, kasutades tehase poolt kaablile trükitud kaablrulli meetritähiseid ning mõõdulinti. Kaablite sumbuvus mõõdeti välitingimustes antennimastile kinnitatud kaablitel nii, et kaabli üks ots ühendati spektrianalüsaatoriga ja teine ots jäeti lahtiseks. Vastavalt kasutusjuhendile kalibreeriti spektrianalüsaator enne igat mõõtmisseeriat soovitud sagedusvahemiku jaoks.

Kaablite mõõdetud sumbuvised vastavad üsna hästi passiandmetele. Suurem erinevus esines transiiverit ja 70 cm eelvõimendit ühendaval kaablil, kus mõõdetud sumbuvuse erinevus passijärgsest oli 5 korda suurem kui teistel kaablitel. See võib viidata probleemidele kaabli otsikute ühendustes või kaabli liiga väikesele painutusraadiusele, mis samuti suurendab sumbuvist.

Kaablite mõõdetud sumbuvised on esitatud joonisel 15. Kaablite pikkused ja võrdlus passijärgse sumbuvistega on toodud lisas 9.1. Tähele tuleb panna, et joonisel punasega tähistatud kaabli sumbuvus on ainult passijärgne tulemus, kuna töö kirjutamise ajal kasutati

selles ühenduskohas ajutist kaablit RG 58, mis on küll sama lainetakistusega, kuid tunduvalt suurema sumbuvusega.



Joonis 15. Kaablite sumbuvus.

Sidejaama kaablite summaarne sumbuvus on:

- 2 m sagedusalas väiksem kui 1 dB;
- 70 cm sagedusalas väiksem kui 1,5 dB.

Sellele tuleb lisada võimalikud sumbuvused kaablite ühenduskohtades, kasutatud ühenduste sumbuvust ei olnud tootja spetsifikatsioonis märgitud. Tegelik olukord on veelgi keerulisem, kuna arvutustes tuleb arvestada ka sumbuvust faasihilistites ja signaalijagajates ning skeemierinevusi saate- ja vastuvõtturežiimis.

## 4.2 Peegelduskaod

Antenni peegelduskadu näitab antenni sobitust uuritavas sagedusalas arvestades antennis toimuvat signaali tagasipeegeldumist.

Mõõtmise põhimõte seisneb selles, et mõõdetava antenni dipool ühendatakse spektrianalüsaatoriga, seejärel genereerib spektrianalüsaator signaali ning mõõdab antennis tagasipeegeldunud signaali suurust. Enamus signalist kiiratakse antennis ära, kuid mingi väike osa peegeldub tagasi. Saatmise efektiivsus on tagasipeegeldunud signaali võrra vähenenud [24].

Mõõtmiseks kasutatud sagedusvahemikud:

- 2 m lainepikkusel: 50 – 250 MHz;
- 70 cm lainepikkusel: 300 – 600 MHz.

Mõõteviga peegelduskaos suurusel vahemikus 15 – 20 dB on  $\pm 3\%$  [29].

### 4.2.1 Antennide asendi mõju

Kuna peegelduskadude mõõtmised teostati pärast antennide paigaldamist, siis uuriti, kuidas mõjutab mõõtmistulemusi antennide asend katusel. Selle kontrollimiseks mõõdeti transiiveri-poolses antennikaabli otsas kogu antennikomplekti peegelduskadu 70 cm lainealas kahel juhul:

- Antennid on horisontaalses asendis (paralleelsed maapinnaga);
- Antennid on vertikaalses asendis (suunatud seniiti).

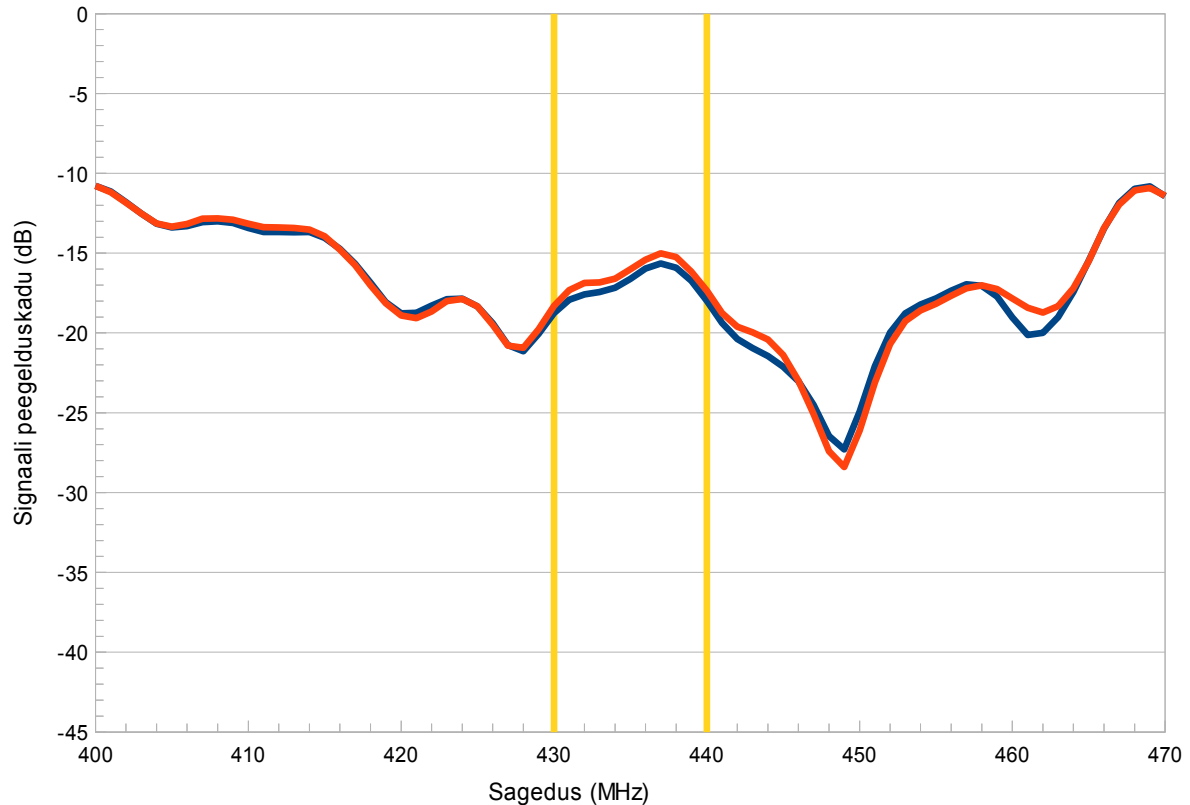
Joonisel 16 on kujutatud vertikaalses asendis mõõdetud peegelduskadu sinise joonega ning horisontaalses asendis mõõdetud kadu punase joonega. Siin ja edaspidi tähistavad kollased markerid vastava laineala töösagedust:

- 2 m laineala: 144 – 148 MHz;
- 70 cm laineala: 430 – 440 MHz.

Kuigi peegelduskaos esineb väikseid erinevusi, asuvad lokaalsed miinimumid ja maksimumid samadel sagedustel. Seega võime järeldada, et antennide asend maapinna suhtes ei mõjuta oluliselt peegelduskadusid.



## 70 cm - antennide asendi mõju



Joonis 16. Antennisüsteemi asendi mõju 70 cm lainealal.

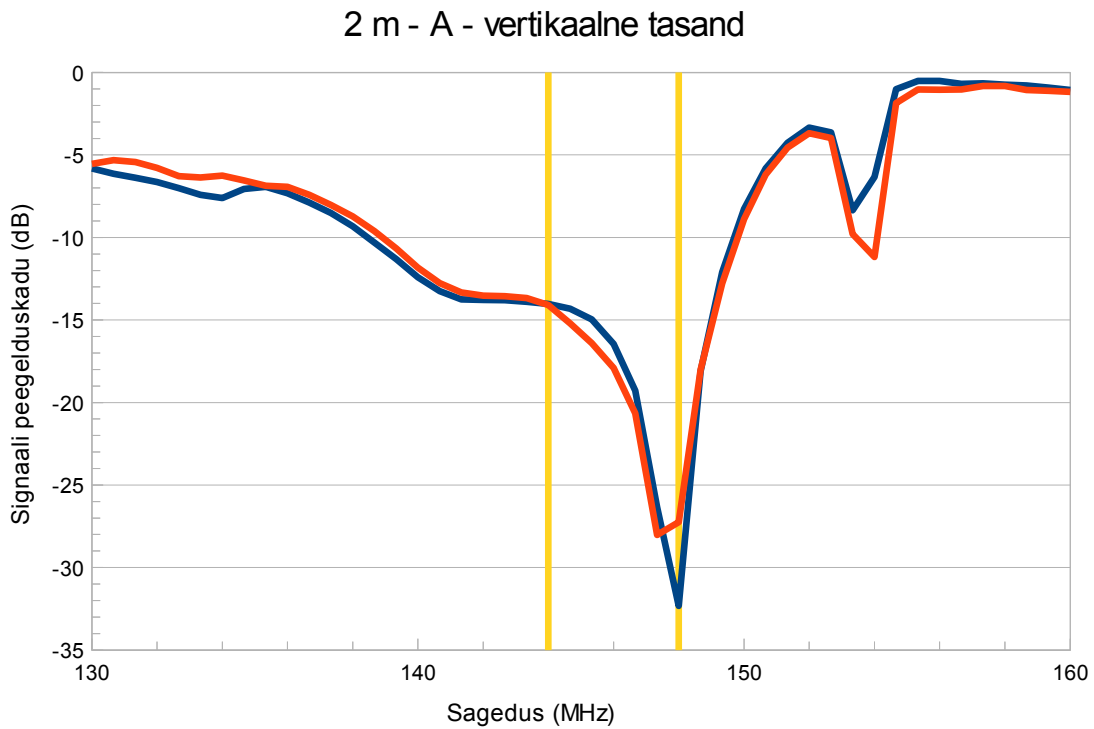
### 4.2.2 Antennitasandite peegelduskaod

Antennitasandite peegelduskadusid mõõdeti pärast antennide paigaldamist. Mõõdetava tasandi dipooli ja mõõteseadme vahele oli ühendatud 1 m pikkune vahekaabel. Vastavalt kasutusjuhendile kalibreeriti mõõteseade koos vahekaabliga enne igat mõõteseriit, et viimane ei mõjutaks mõõtmistulemusi. Kõikide antennitasandite peegelduskadude mõõtmised on välja toodud lisas 9.2. Kasutatavate ristjagiantennide kirjeldus asub peatükis 3.2.

#### 4.2.2.1 2 m laineala antennid

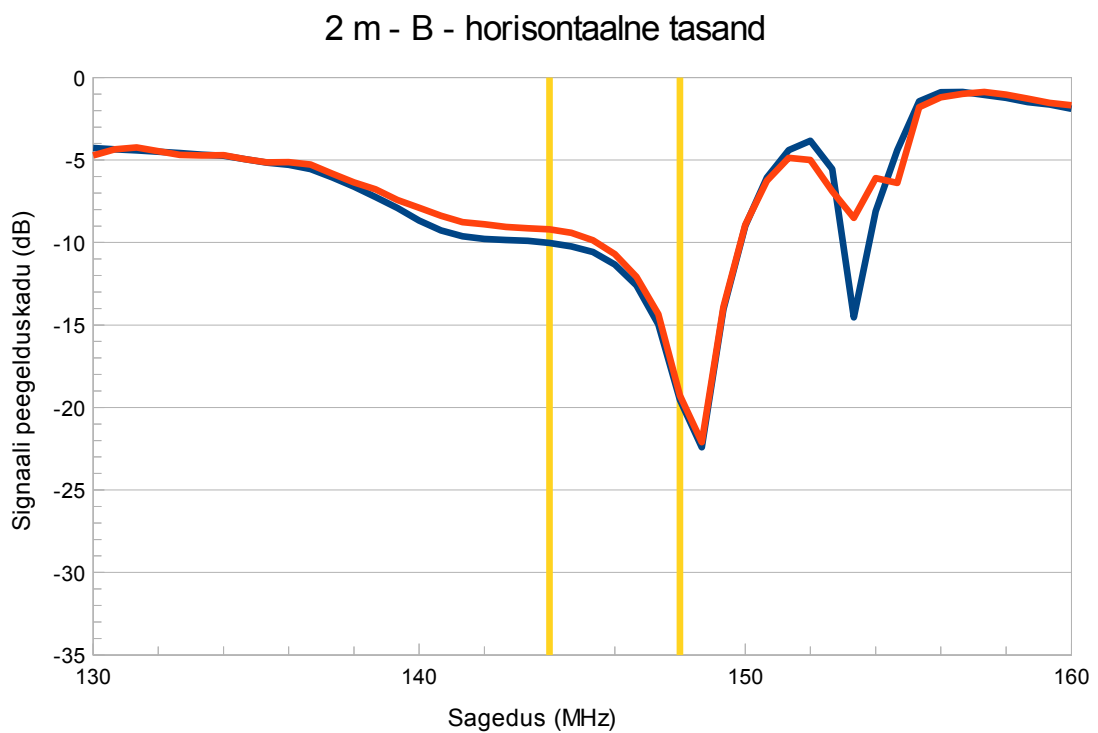
Üks mõõtmiste eesmärke oli uurida, kas ja kuidas mõjutab mõõtmistulemusi antennide koostekvaliteet. See vajadus tulenes tõsiasiast, et visuaalsel vaatlusel ei asunud antennide direktorid ja reflektorid dipooliga täpselt samas tasandis. Selle uurimiseks mõõdeti 2 m laineala antennide peegelduskadusid, seejärel painutati direktoreid ja reflektoreid, et nad asuksid samas tasandis, ning korrati mõõtmisi.

Joonisel 17 on välja toodud soovitud tulemusele kõige lähedasem antennitasand. Siin ja joonisel 18 on sinise joonega kujutatud peegelduskadu enne painutamist ning punase joonega peegelduskadu peale painutamist. Peegelduskao miinimum jääb tööpiirkonna kõrgema



Joonis 17. 2 m antenni A vertikaalse tasandi peegelduskadu enne ja pärast painutamist. Parima tulemusega 2 m tasand.

sagedusega serva, kus peegelduskadu on parem kui -30 dB enne painutamist ja parem kui -27 dB pärast painutamist. Tööpiirkonna madalama sagedusega serval on peegelduskadu parem kui -13 dB.



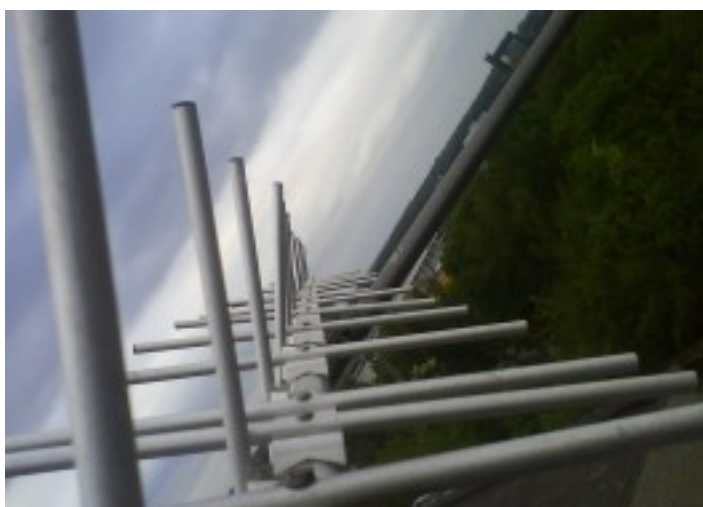
Joonis 18. 2 m antenni B horisontaalse tasandi peegelduskadu enne ja pärast painutamist. Parima tulemusega 2 m tasand.

Sobituse poolest halvim 2 m tasand on kujutatud joonisel 18. Peegelduskao miinimum asub väljaspool tööpiirkonda ja peegelduskadu töösageduse servadel on vastavalt parem kui -8 dB ja -20 dB.

Jooniste 17 ja 18 põhjal võib järeldada, et 2 m laineala antennide direktorite ning reflektorite painutamine dipooliga täpselt samasse tasandisse ei muutnud oluliselt mõõdetud peegelduskadu.

#### 4.2.2.2 70 cm laineala antennid

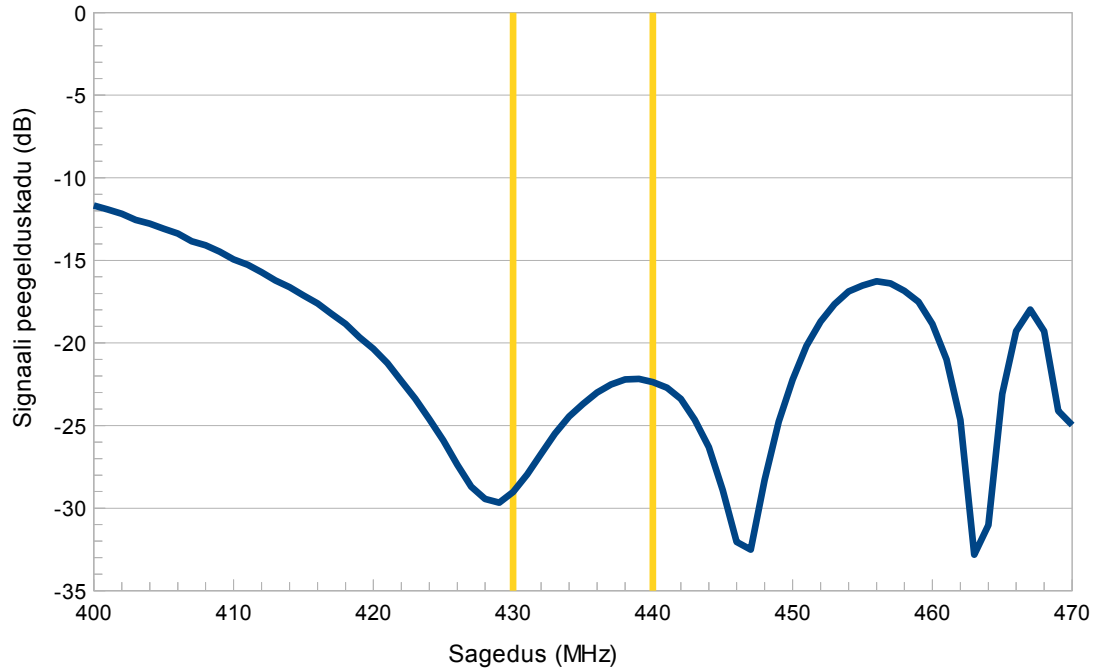
70 cm antennide koostekvaliteet oli 2 m omadest tunduvalt halvem. Direktorid ja reflektorid kaldusid dipooli tasandist suures osas kõrvale (joonis 19).



Joonis 19. 70 cm antenni koostekvaliteet.

Antennitasandite peegelduskadude mõõtmised teostati painutamata antennidel, mistõttu on ka saadud peegelduskadude karakteristikud kehvad. 2 m antennide puhul ei olnud antennide direktorite ja reflektorite painutamise mõju peegelduskadudele märgata, sest 2 m lainepikkus on suur, aga 70 cm puhul on lainepikkus tunduvalt väiksem ja seetõttu mõjutavad igasugused kõrvalekalded koostekvaliteedis antenni rohkem.

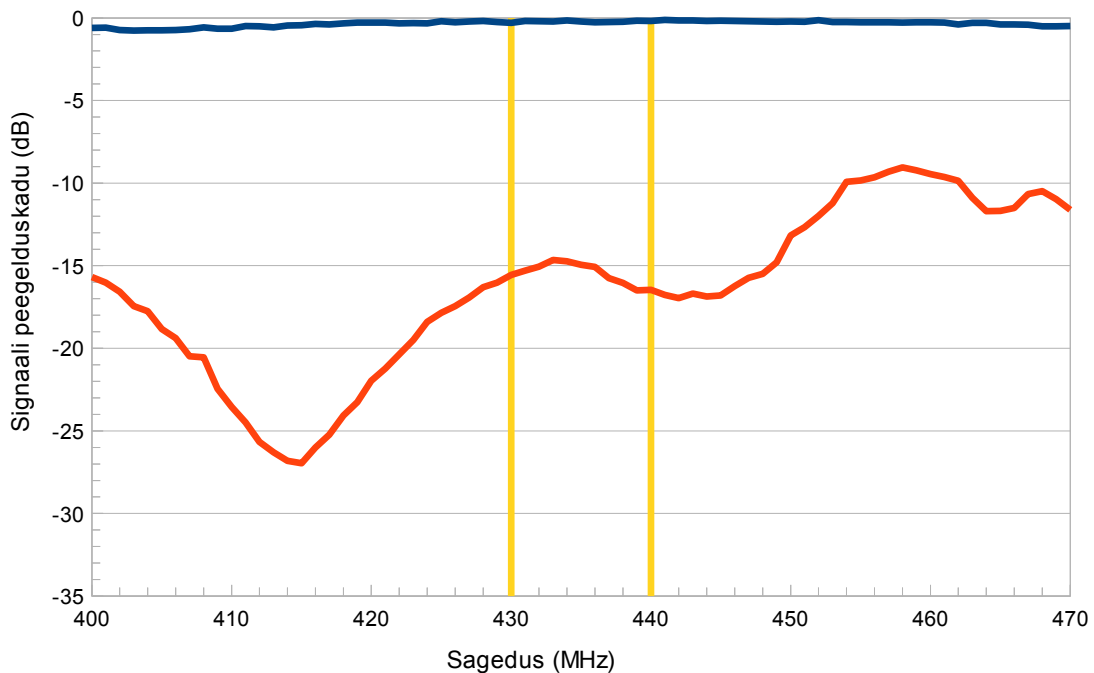
### 70 cm - D - horisontaalne tasand



Joonis 20. 70 cm antenni D horisontaalse tasandi peegelduskadu. Parima tulemusega 70 cm tasand.

70 cm laineala antenni tasandite parim peegelduskao karakteristik on välja toodud joonisel 20. Kuigi peegelduskadu on töövahemikus on parem kui -22 dB, esineb mitu lokaalset miinumumi, mistõttu on antennitasand vastuvõtlikum mürale. Lisaks ei jäävad lokaalsed miinumumid töövahemikust välja.

### 70 cm - B - horisontaalne tasand

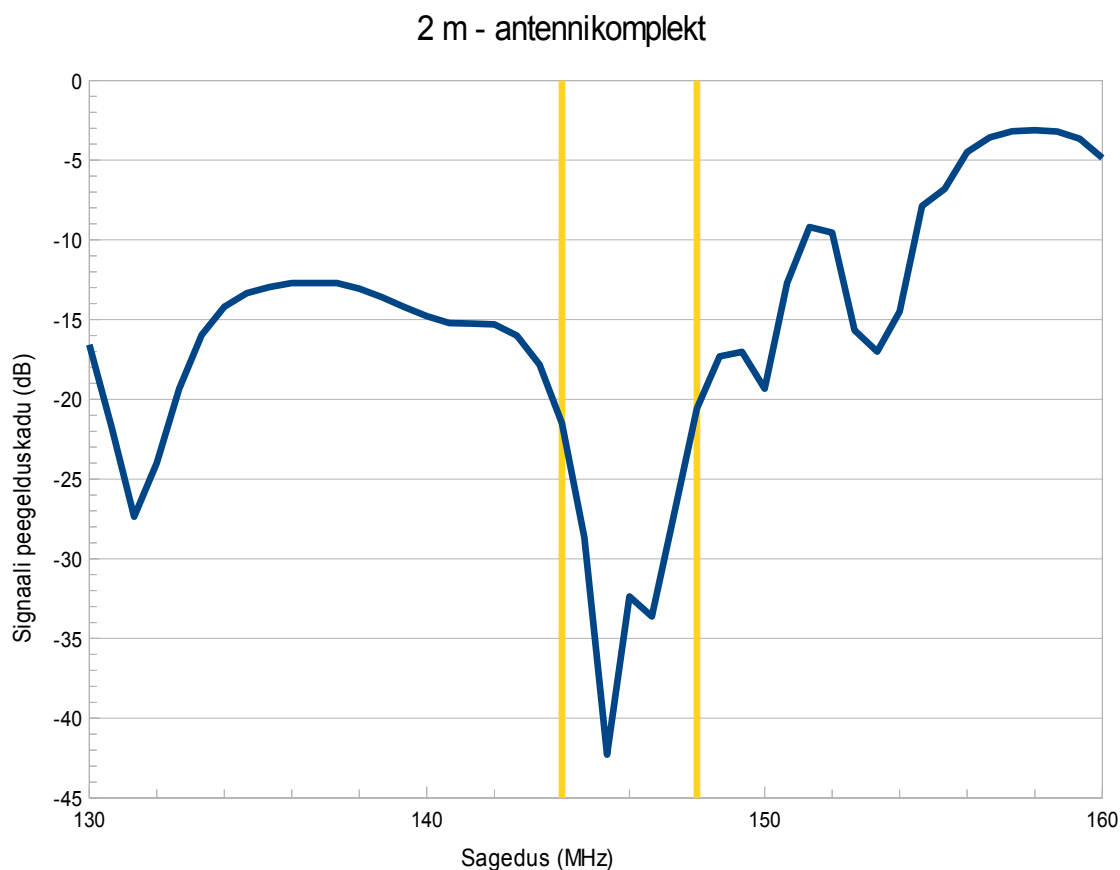


Joonis 21. 70 cm antenni B horisontaalse tasandi peegelduskadu. Halvima tulemusega 70 cm tasand.

Ühe antenni tasandil puudus peegelduskaod iseloomulik karakteristik (joonis 21, sinine joon). Selle põhjusteks oli lühis dipooli sobitusliinis. Pärast dipooli asendamist korraldati mõõtmist (joonis 21, punane joon). Kuigi ka välja vahetatud dipooli tasandi peegelduskaod karakteristik ei ole kuigi hea, siis vähemalt on dipool ja vastav antennitasand kasutuskõlblikud (peegelduskadu töövahemikus on parem kui -14 dB).

### 4.2.3 Antennisüsteemi peegelduskadod

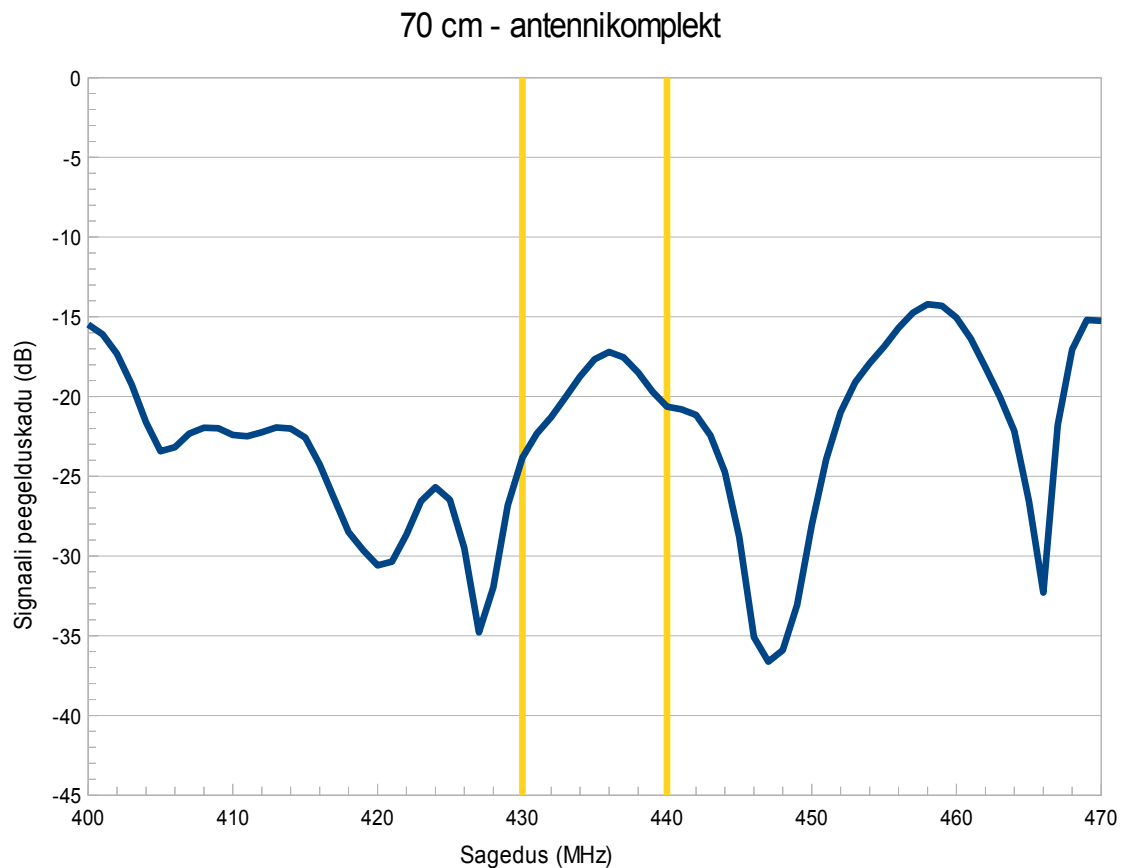
Üksikute antennide peegelduskadod võimaldavad antenne omavahel võrrelda, kuid kogu antennisüsteemist ülevaate saamiseks tuleb mõõta antennikomplektide peegelduskadusid antennikaabli transiiveri-poolsest otsast. Selline mõõtmine näitab, milline efekt on antennide kokkuliitmisel ning kuidas käitub antennikomplekt tervikuna. Antennikomplekti kokkuliitmise kirjeldus asub peatükis 3.2 .



Joonis 22. Antennisüsteemi 2 m sagedusala peegelduskadu.

2 m lainealas annab antennide liitmine tunduvalt parema peegelduskao karakteristiku kui üksikantennidel (joonis 22). Lokaalne miinimum asub töövahemiku kesksageduse lähedal ning selle peegelduskadu on parem kui -42 dB. Peegelduskadu terve töövahemiku ulatuses on parem kui -20 dB.

70 cm lainealas asub antennisüsteemi summaarsel sageduskarakteristikul töövahemikus hoopis lokaalne maksimum. Peegelduskadu töövahemikus on parem kui -12 dB. Peamiseks halva karakteristiku põhjuseks on üksikantennide karakteristikute kohati tugevad kõrvalekalded ettenähtust. Antennide tööd segab ka antennimast, mis 2 m antennide puhul on läbimõõdult väike võrreldes lainepikkusega, kuid 70 cm lainealas on sellel juba arvestatav mõju (joonis 23).



*Joonis 23. Antennisüsteemi 70 cm sagedusala peegelduskadu.*

Ka signaalijagajate ja eriti faasihilistite mõju peegelduskao karakteristikule nõuab edasist uurimist.

#### 4.2.4 Katkine faasihilisti

Antennide mõõtmise käigus selgus, et lisaks ühele katkisele dipoolile on katki ka 70 cm faasihilisti, mille eesmärk on kokku liita 70 cm antennide horisontaalsete ja vertikaalsete tasandite signaalid. Faasihilisti üks pistikutest oli defektne ning ei andnud korralikult ühendust, katkine pistik on näidatud joonisel 24.

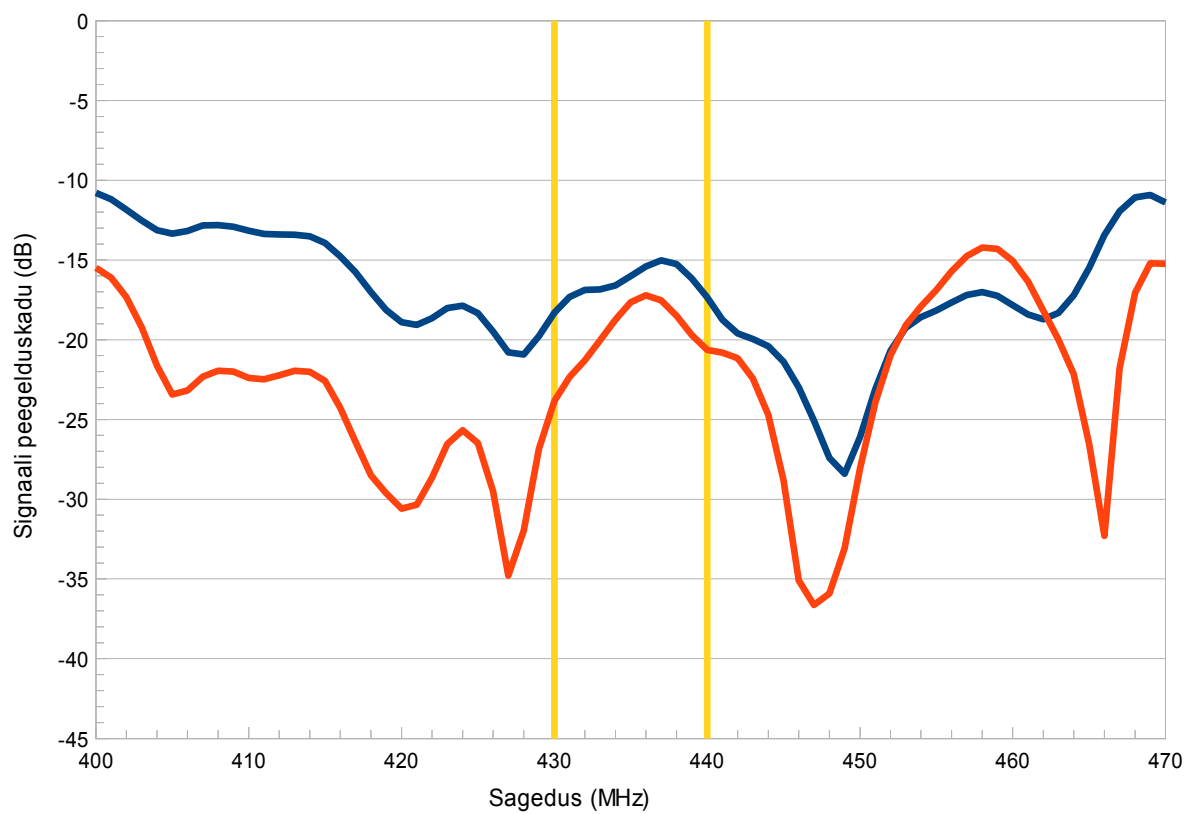


Joonis 24. Katkine 70 cm faasihilisti.

Selline juhus andis võimaluse uurida, kuidas mõjutas antennisüsteemi peegelduskadu otsiku halb ühendus. Selleks mõõdeti 70 cm antennisüsteemi peegelduskadu enne ja pärast faasihilisti vahetust.

Joonisel 25 on sinise joonega kujutatud peegelduskadu katkise faasihilistiga ning punase joonega peegelduskadu uue faasihilistiga. Tulemuste põhjal võime järeldada, et katkise faasihilisti tõttu ei olnud tõenäoliselt ühendatud 70 cm antennide üks tasand, mistõttu pärast faasihilisti vahetust võimendused nii lokaalsed maksimumid kui miinimumid, kuid meie töösagedusel jäid muutused 3 dB piiresse.

### 70 cm - faasihilisti vahetus



Joonis 25. Antennisüsteemi peegelduskadu enne ja pärast faasihilisti vahetamist.



## 5 Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö käigus projekteeriti ja paigaldati Tartu Ülikooli satelliitside jaam. Jaam on aktiivselt kasutuses satelliitidega suhtlemisel.

Vastuvõtijaam võimaldab sidet pidada amatöörraadioside 70 cm ja 2 m lainealadel. Peamised raadiosideks vajalikud komponendid on raadiosignaali saatja-vastuvõtja ehk transiiver ja sellega ühendatud antennisüsteem. Satelliidi jälgimiseks arvutatakse orbiidiparameetrite põhjal jälgitava satelliidi horisondilised koordinaadid ning saate- ja vastuvõtusageduse Doppleri nihe. Nende põhjal pööratakse antennisüsteemi ja reguleeritakse transiiveri saate- ja vastuvõtusagedust.

Viidi läbi mõõtmised antennisüsteemi parameetrite hindamiseks. Mõõtmiste tulemusena selgus, et 2 m antennisüsteem on üsna heas seisukorras. 70 cm antennide kvaliteet jätab soovida, kuid antennisüsteem tervikuna on siiski kõlblik sidepidamiseks satelliitidega. Lisaks selgus töö tulemusel, et antennisüsteemi üks 70 cm dipool ning 70 cm faasihilisti olid defektsed ning vahetati välja.

Võib järeldada, et esimene infrastruktuur Eesti tulevase satelliidiga side pidamiseks on loodud.

Jaama paigaldamise käigus omandas töö autor raadioamatööri kvalifikatsiooniklassi B (kutsung ES5URM).

Plaanis on sidejaama liitumine GENSO projektiga, et arendada hariduslikku koostööd teiste satelliitsidega tegelevate ülikoolidega ja raadioamatööridega. Jaama on võimalik täiendada S-sagedusala antenniga, mis võimaldaks tulevikus pidada sidet satelliitidega European Student Earth Orbiter (ESEO) ja European Student Moon Orbiter (ESMO).

## 6 Tänuavaldused

Ma sooviksin tänada Ilmar Anskot ja Tõnis Eenmäed tugeva abi ja toetuse eest jaama projekteerimisel ja paigaldamisel. Spetsiaalne tänu Mart Noormale võimaluse eest osaleda EstCube-1 projektis ja tegeleda nii huvitava alaga nagu satelliitside.

Eraldi ära märkimist väärivad Leo Visberg, kes aitas antennimasti valmistada, ja Eesti Lennuakadeemia, kust laenati mõõtmisteks kasutatud spektrianalüsaator.

Tahaksin veel tänada Füüsika Instituuti finantsilise toetuse eest bakalaureusetöö koostamise ajal, Eesti Infotehnoloogia Sihtasutust jaama finantseerimise eest ja Eesti Raadioamatöörade Ühingut.

Oma panuse jaama valmimisse andsid veel Siim Meerits, Priit Laes, Silver Lätt, Jüri Ruut, Katrin Tuude, Kaupo Voormansik.

## 7 Kasutatud kirjandus

1. M. Thomsen, *Michael's List of Cubesat Satellite Missions*,  
<http://mtech.dk/thomsen/space/cubesat.php> (26.05.2009)
2. J. Ruut, *Algaja raadioamatööri teatmik* (Eesti Raadioamatööride Ühing 2006)
3. Eesti Vabariik, *Raadioamatöörile kvalifikatsiooni andmise ja raadiosageduste amatöörraadioside otstarbel kasutamise kord*,  
<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=12961668> (26.05.2009)
4. Eesti Vabariik, *Raadiokutsungite moodustamise ja väljastamise kord*,  
<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=12990052> (26.05.2009)
5. Dr. T.S. Kelso, *Celestrak: NORAD Two-Line Element Sets*,  
<http://celestrak.com/NORAD/elements/> (26.05.2009)
6. M. Davidoff, *The Radio Amateur's Satellite Handbook*, (The American Radio Relay League 2003)
7. R. Holdaway, *Spacecraft Systems Engineering*, (Wiley 2007)
8. Wikimedia Commons, *Circular polarization schematic*,  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circular\\_polarization\\_schematic.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Circular_polarization_schematic.png)  
(26.05.2009)
9. M. Matiatos, *Satellite Antenna Circular polarization*,  
<http://sv1bsx.50webs.com/antenna-pol/polarization.html> (26.05.2009)
10. J. K. Sherman, *Earth - Moon - Earth*, <http://www.elite.net/~k7xq/eme.html>  
(26.05.2009)
11. WiMo, *Crossed Yagis*, <http://wimo.de/download/xyagi.pdf> (10.10.2008)
12. Yaesu Musen Co., Ltd., *G-5500 Operating Manual*,  
<http://www.yaesu.com/downloadFile.cfm?FileID=994&FileCatID=155&FileName=G%2D5500%20Operating%20Manual.pdf&FileContentType=application%2Fpdf>  
(10.10.2008)
13. SSB Electronic USA, *SP-7000 Preamplifier*, <http://www.ssbusa.com/gaasfet.html>  
(10.10.2008)
14. SSB-Electronic GmbH, *EcoFlex 15 Technical Data*, [www.ssb.de](http://www.ssb.de) (10.10.2008)
15. Icom America Inc., *IC-910H VHF/UHF All Mode Transceiver*,  
<http://www.icomamerica.com/en/products/910h/> (10.10.2008)
16. WiMo, *Phasing Harness*, <http://wimo.de> (10.10.2008)

17. WiMo, *Power Splitter*, <http://wimo.de/download/anpass.pdf> (10.10.2008)
18. J. A. Magliacane, *Predict - A Satellite Tracking/Orbital Prediction Program*, <http://www.qsl.net/kd2bd/predict.html> (26.05.2009)
19. R. Milnes, *Sound Card Packet*, <http://www.kc2rlm.info/soundcardpacket/> (23.05.2009)
20. N. Fedoseev, D. Nechitailov, *MixW - multimode software for radio amateurs*, <http://www.mixw.net/> (23.05.2009)
21. T. Sailer, *Multiplatform Soundcard Packet Radio Modem*, <http://www.baycom.org/~tom/ham/soundmodem/> (23.05.2009)
22. VideoLAN team, *VLC media player - Open Source Multimedia Framework and Player*, <http://www.videolan.org/vlc/> (26.05.2009)
23. European Space Agency, *GENSO Project Information*, [http://genso.org/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=54&Itemid=28](http://genso.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=54&Itemid=28) (26.05.2009)
24. S. Pongratz, *Understanding Cable \& Antenna Analysis*, <http://www.us.anritsu.com/downloads/files/11410-00427.pdf> (26.05.2009)
25. C. Fonda, M. Zennaro, *Radio Laboratory Handbook: Antenna measurements*, <http://wireless.ictp.it/handbook/C6.pdf> (26.05.2009)
26. J. Mõttus, *Satelliitside Antennisüsteemi Parameetrite Määramine*, (Eesti Lennuakadeemia 2009)
27. Rohde & Schwarz, *FSH3/6/18 Spectrum Analyzer*, [http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/spectrum\\_analysis/FSH3\\_6\\_18.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/FSH3_6_18.html) (15.04.2009)
28. Rohde & Schwarz, *FSH Operating manual*, [http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/spectrum\\_analysis/FSH3\\_6\\_18.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/FSH3_6_18.html) (15.04.2009)
29. Rohde & Schwarz, *FSH Technical Specifications*, [http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/spectrum\\_analysis/FSH3\\_6\\_18.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/FSH3_6_18.html) (15.04.2009)

## **8 Satellite communications center in the University of Tartu**

Urmas Kvell

### Summary

As a result on this thesis a satellite communications ground station was designed and built in the University of Tartu. The ground station is actively used to communicate with different amateur radio satellites and student satellites.

The ground station supports communications in the 2 m and 70 cm bands. The main components needed for radio communications are the transceiver for transmitting and receiving radio signals and an antenna system. For satellite tracking it is needed to calculate a satellite's coordinates and frequency Doppler shift based on orbital parameters.

Measurements were performed to assess the effectiveness of the antenna system. Measurement results concluded that the 2 m antenna system is in pretty good condition, but the quality of 70 cm antennas is quite bad. The antenna system as a whole is still effective enough to enable communication with satellites. Other results include the finding and replacing of a defective 70 cm antenna dipole and a defective 70 cm phasing harness.

We can conclude that the essential infrastructure needed for communication with the Estonian student satellite has been established.

As a side result the author received a class B amateur radio license (callsign ES5URM).

Next step is to connect the ground station in the University of Tartu to the GENSO network to tighten educational cooperation with other universities where satellite communications is taught. The radio station can be upgraded by adding an S-band antenna which would enable communication with European Student Earth Orbiter (ESEO) and European Student Moon Orbiter (ESMO).

## 9 Lisad

### 9.1 Kaablite sumbuuse mõõtmine

Kaablite sumbuused on mõõdetud sagedusvahemikes 130-160 MHz ja 420-450 MHz. Kaablite teoreetiline sumbuus on arvatud vastavalt tootja spetsifikatsioonile töösageduste 144 MHz ja 432 MHz jaoks, kasutades järgnevaid kaabli sumbuuse parameetreid [14]:

- 0,0340 dB/m temperatuuril 20°C
- 0,0610 dB/m temperatuuril 20°C

Mõõtmistulemused ja teoreetilised arvutused on välja toodud tabelis 6.

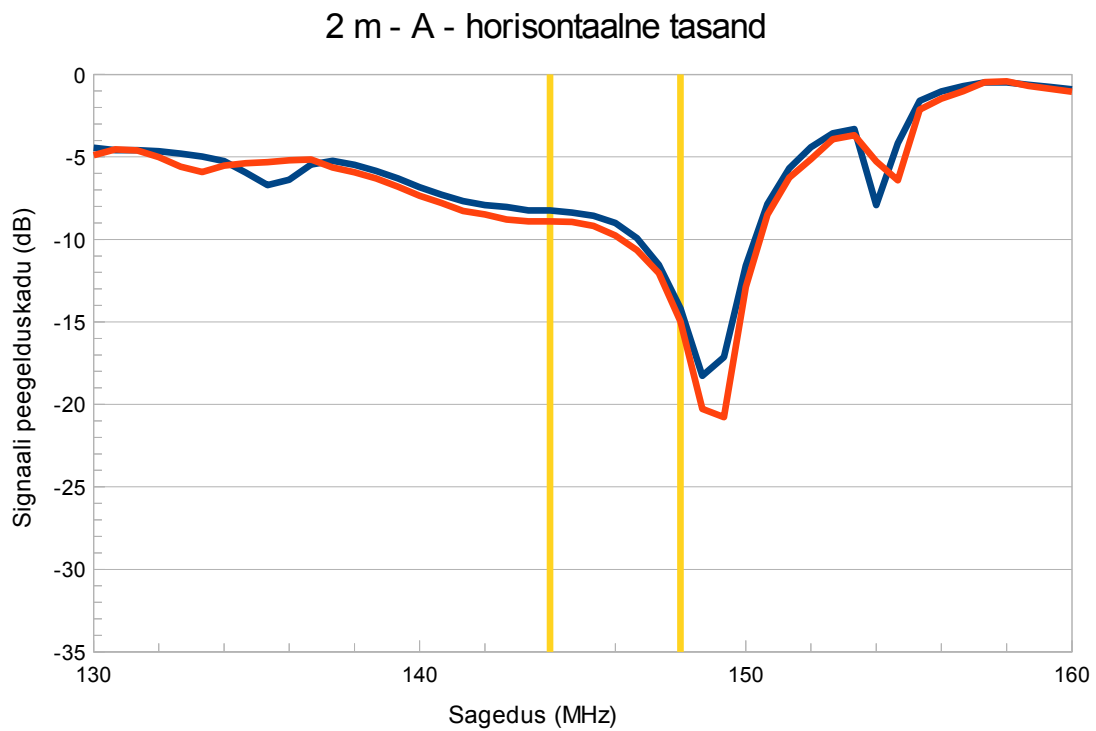
Kaabel	Pikkus (m)	Mõõdetud	Teoreetiline	Erinevus (dB)
		sumbuus (dB)	sumbuus (dB)	
		130-160 MHz	144 MHz 0,034 dB/m	
2m-A-H	2,53	0,13	0,0860	0,04
2m-A-V	2,53	0,12	0,0860	0,03
2m-B-H	2,53	0,13	0,0860	0,04
2m-B-V	2,53	0,14	0,0860	0,05
2m-pikk	15,15	0,59	0,5151	0,07
		420-450 MHz	432 MHz 0,061 dB/m	
70cm-A-H	1,79	0,16	0,1092	0,05
70cm-A-V	1,79	0,15	0,1092	0,04
70cm-B-H	1,79	0,16	0,1092	0,05
70cm-B-V	1,79	0,17	0,1092	0,06
70cm-C-H	1,79	0,16	0,1092	0,05
70cm-C-V	1,79	0,15	0,1092	0,04
70cm-D-H	1,79	0,16	0,1092	0,05
70cm-D-V	1,79	0,14	0,1092	0,03
70cm-pikk	12,07	1,00	0,7363	0,26
70cm-eelvoimu	5,00	-	0,3050	-

Tabel 6. Kaablite pikkus, mõõdetud ja teoreetiline sumbuus

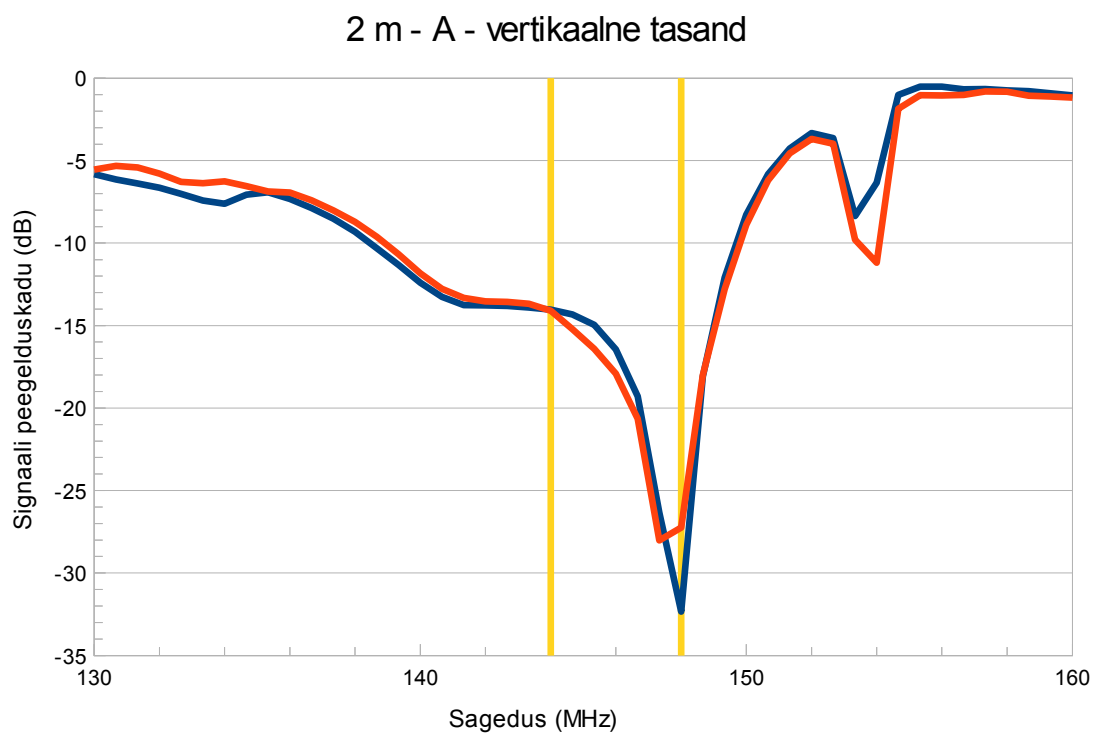
### 9.2 Dipoolide peegelduskadude mõõtmine

2 m antennitasandite peegelduskadude mõõtmised teostati sagedusvahemikus 50 - 250 MHz. Mõõteviiga peegelduskaod suurusel vahemikus 15 – 20 dB on  $\pm 3\%$  [29].

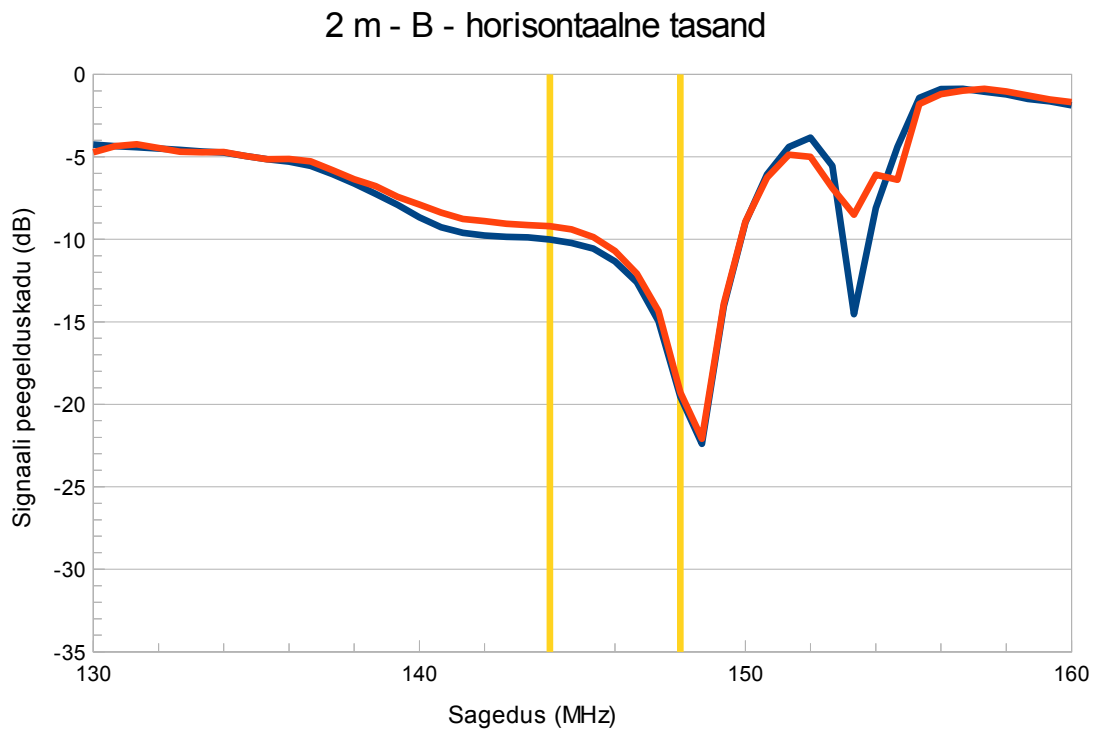
Tulemused on välja toodud joonistel 26 kuni 29, kus kollased markerid tähistavad 2 m laineala töösagedust 144 – 148 MHz. Joonistel on sinise joonega kujutatud peegelduskadu enne painutamist ning punase joonega peegelduskadu peale painutamist.



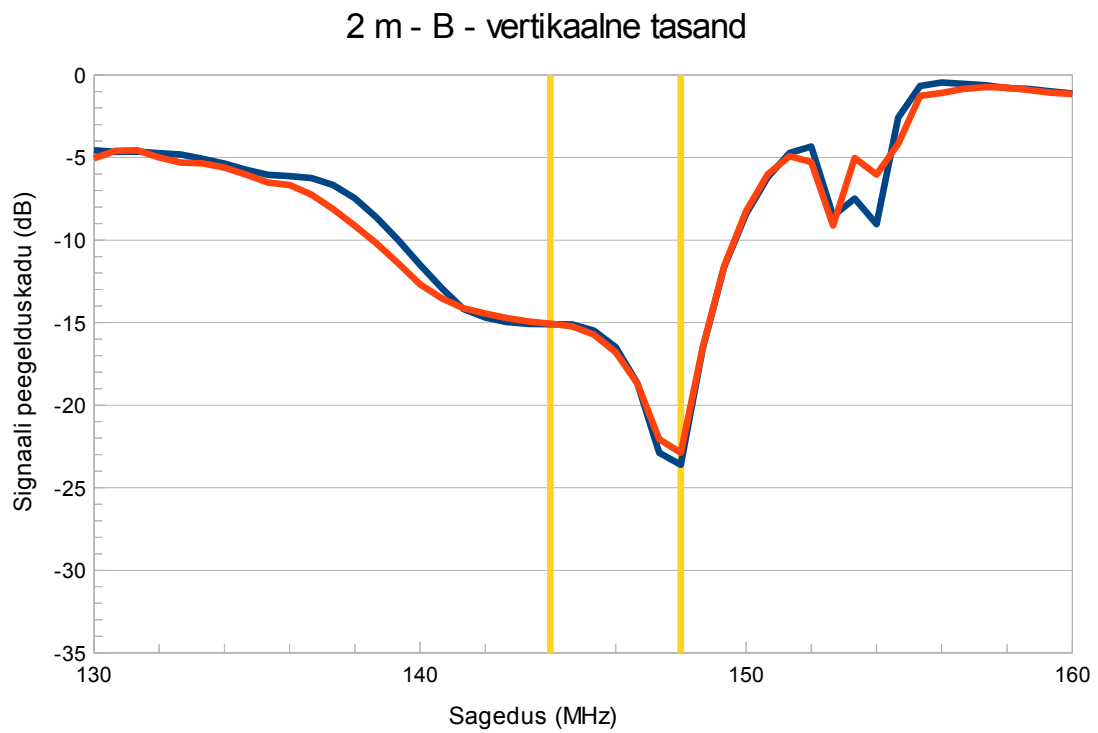
Joonis 26. 2 m antenni A horisontaalse tasandi peegelduskadu.



Joonis 27. 2 m antenni A vertikaalse tasandi peegelduskadu.



Joonis 28. 2 m antenni B horisontaalse tasandi peegelduskadu.



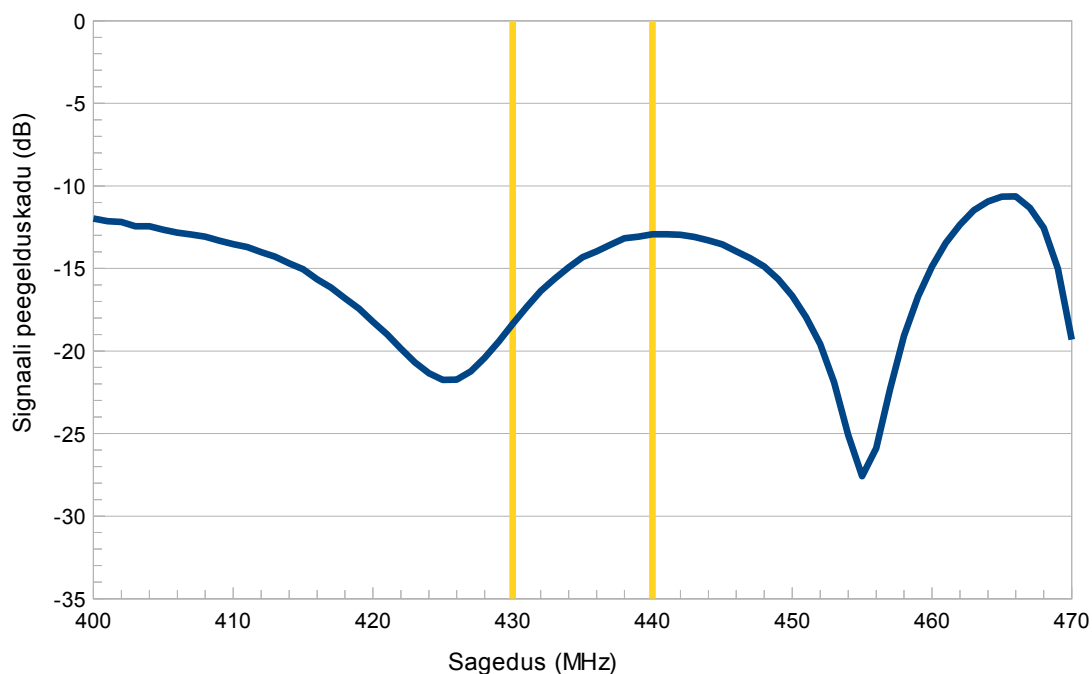
Joonis 29. 2 m antenni B vertikaalse tasandi peegelduskadu.



70 cm antennitasandite peegelduskadude mõõtmised teostati sagedusvahemikus 300 - 600 MHz. Mõõteviga peegelduskao suurusel vahemikus 15 – 20 dB on  $\pm 3\%$  [29].

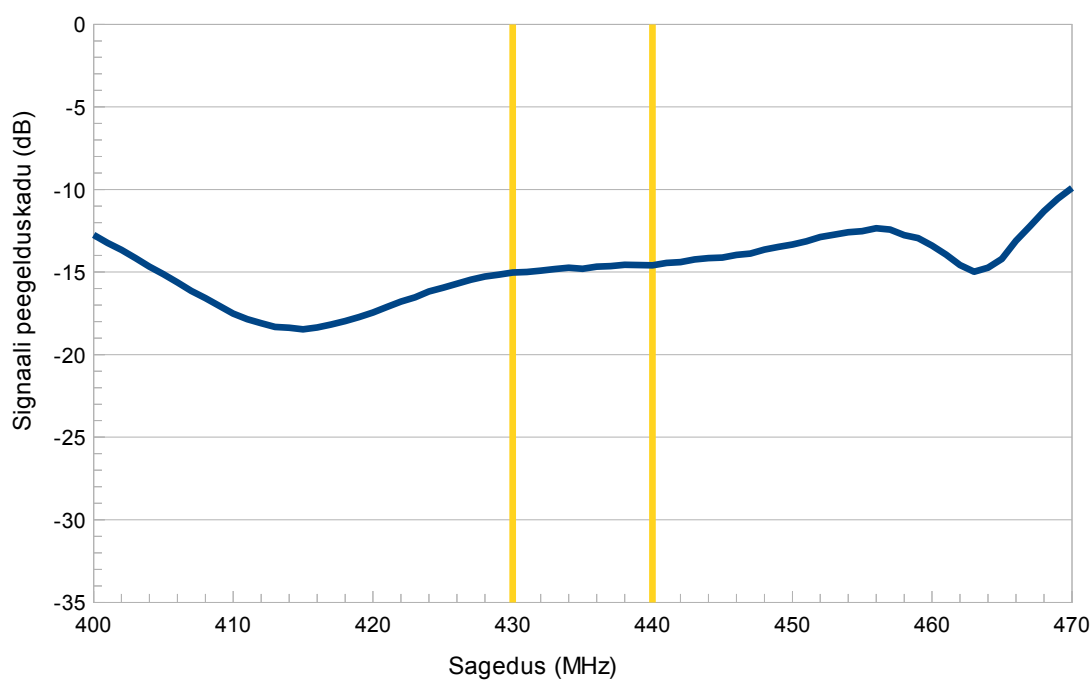
Tulemused on välja toodud joonistel 30 kuni 37, kus kollased markerid tähistavad 70 cm laineala töösagedust 430 – 440 MHz.

70 cm - A - horisontaalne tasand

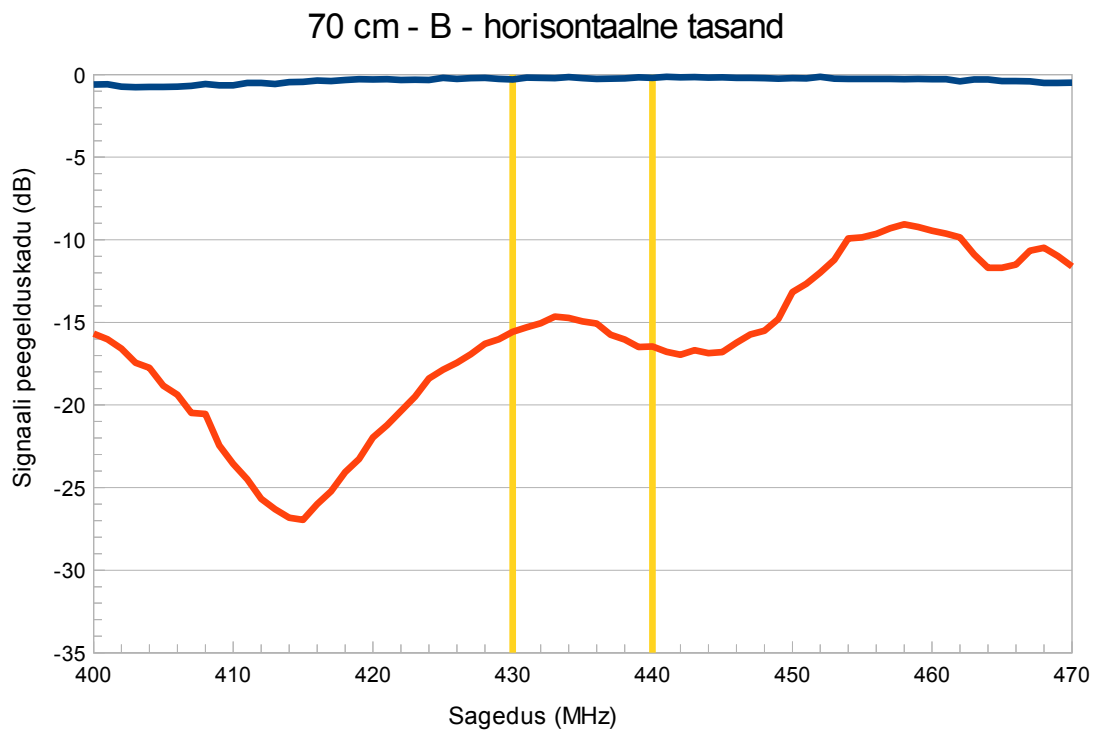


Joonis 30. 70 cm antenni A horisontaalse tasandi peegelduskadu.

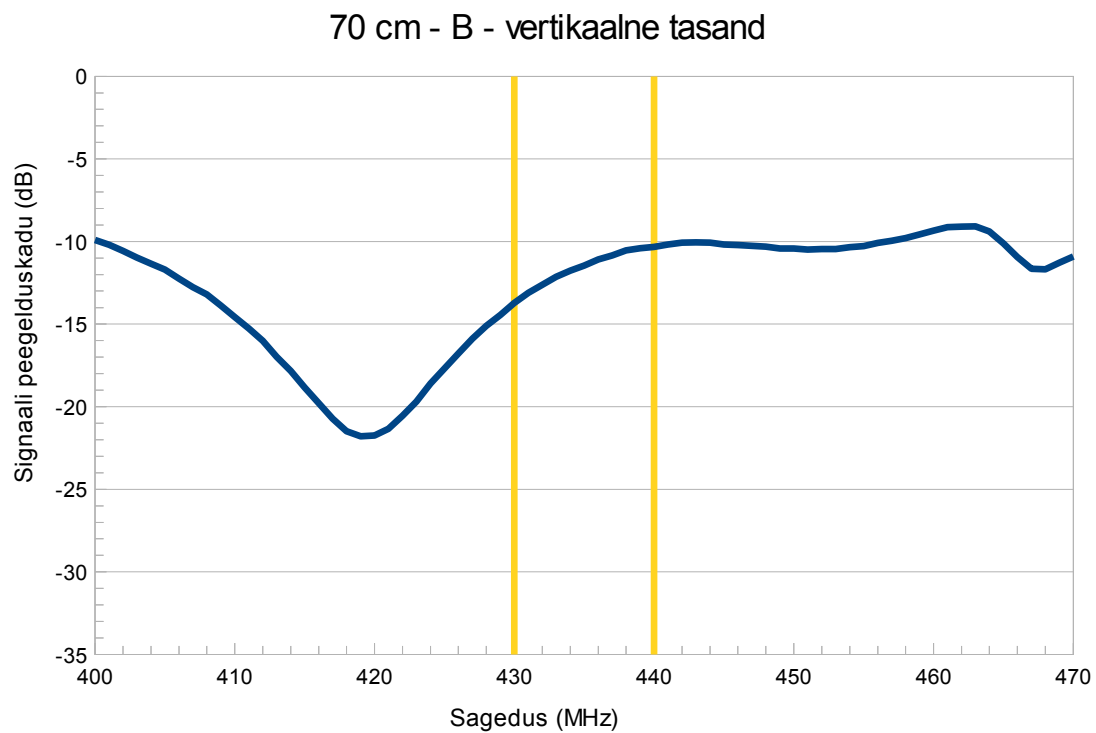
70 cm - A - vertikaalne tasand



Joonis 31. 70 cm antenni A vertikaalse tasandi peegelduskadu.

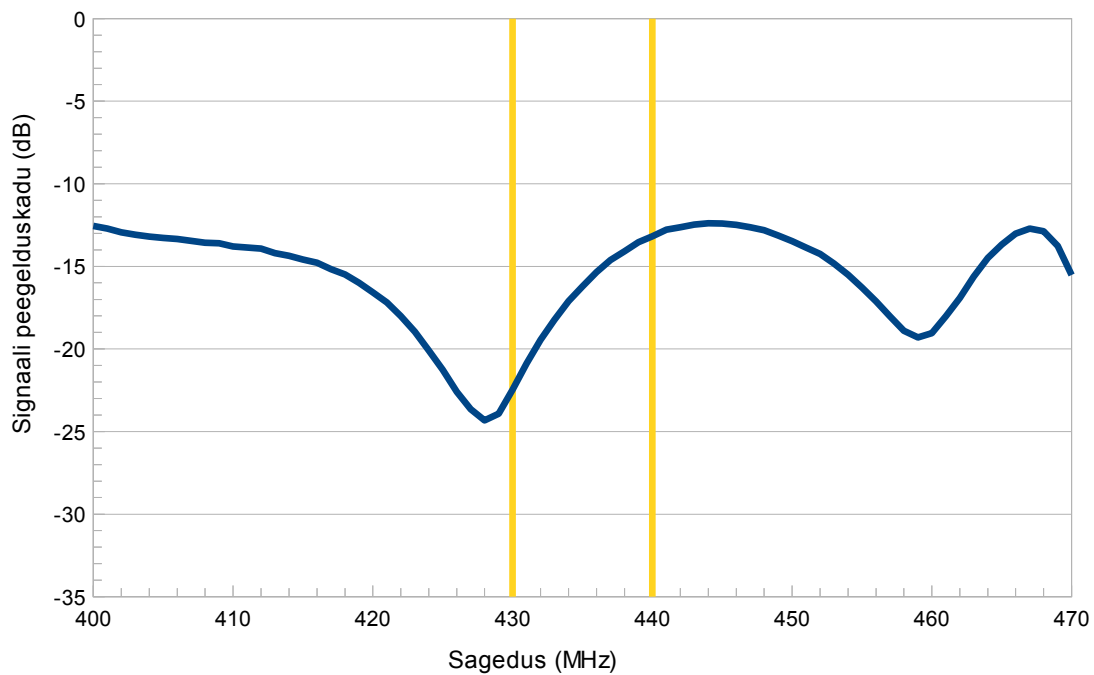


Joonis 32. 70 cm antenni B horisontaalse tasandi peegelduskadu. Sinine joon näitab katkiste dipooli tasandi peegelduskadu, punane väljavahetatud dipooli oma.



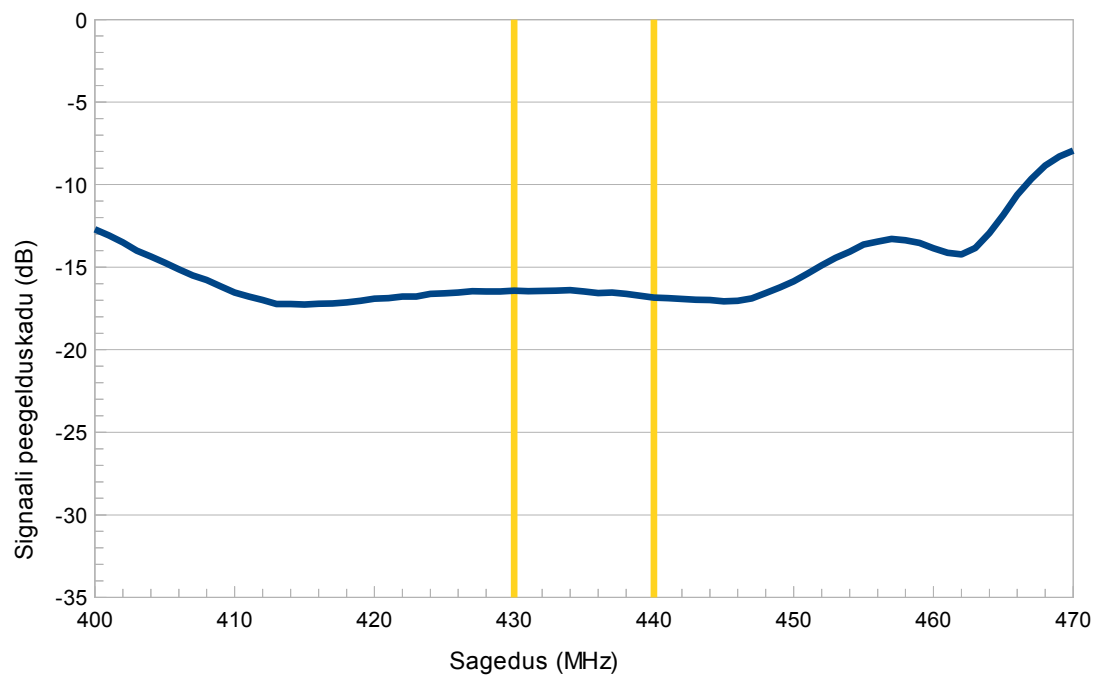
Joonis 33. 70 cm antenni B vertikaalse tasandi peegelduskadu.

### 70 cm - C - horisontaalne tasand



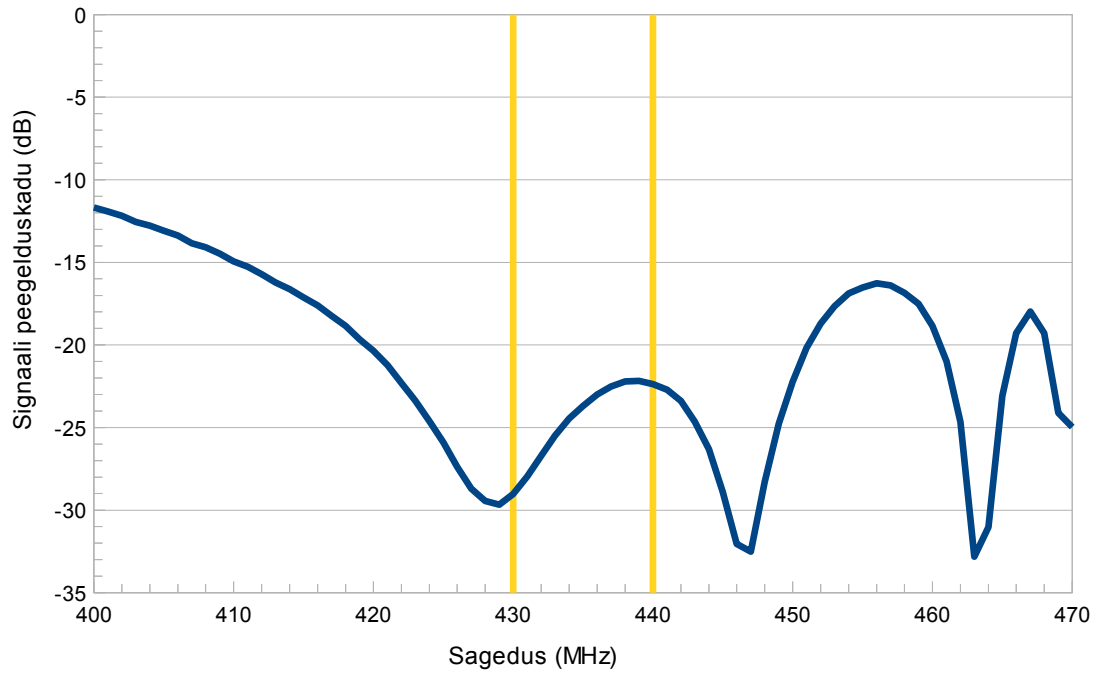
Joonis 34. 70 cm antenni C horisontaalse tasandi peegelduskadu.

### 70 cm - C - vertikaalne tasand



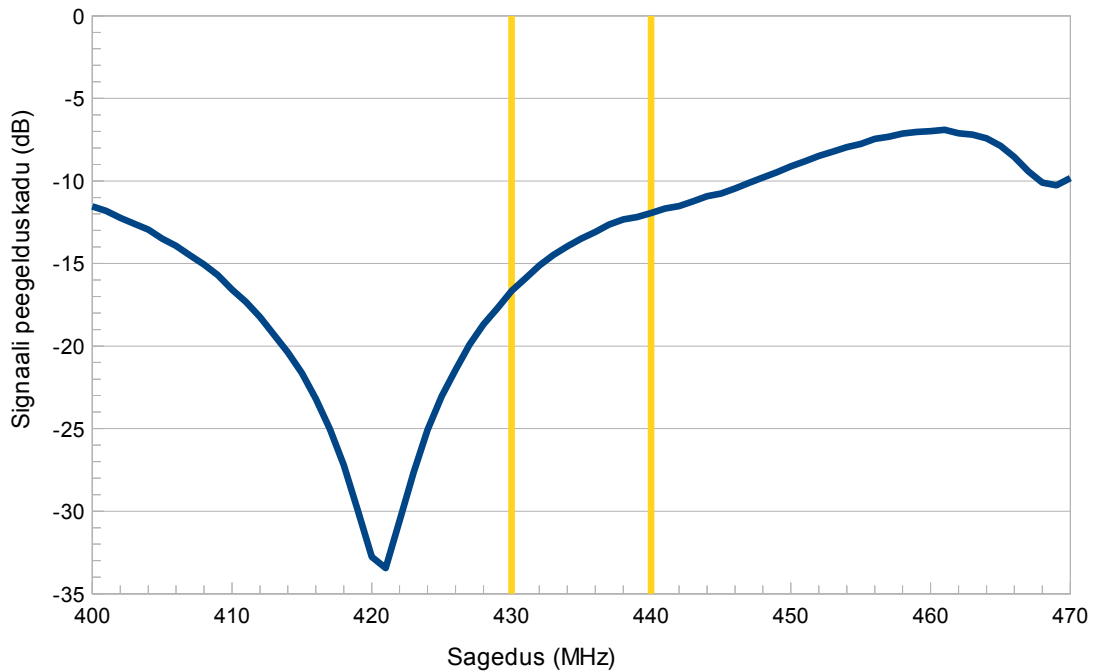
Joonis 35. 70 cm antenni C vertikaalse tasandi peegelduskadu.

70 cm - D - horisontaalne tasand



Joonis 36. 70 cm antenni D horisontaalse tasandi peegelduskadu.

70 cm - D - vertikaalne tasand



Joonis 37. 70 cm antenni D vertikaalse tasandi peegelduskadu.