



TEEKOND STRATOSFÄÄRI



Euroopa Liit
Euroopa struktuuri-
ja investeerimisfondid



Eesti
tuleviku heaks



TEEKOND STRATOSFÄÄRI



Sisukord

Eesti Kosmosekoolide Võrgustiku loomine	6
Sondpalli lennutamise praktilisi kogemusi	7
1. Esimene katse: Märjamaa, 2017. a mais	7
2. Teine katse: Keava, 2017. a septembris	12
3. Kolmas katse: Keava, 2017. a oktoobris	17
4. Neljas katse: Väätsa, 2017. a märtsis ja mais.....	19
5. Viies katse: Keava, 2018. a juuni	23
6. VPK Kosmos II lennu ülevaade: Väätsa, 2017. a mais.....	26
Lennutehnika ettevalmistamine.....	29
1. Õhupall.....	29
1.1 Sobilik õhupall, selle ostukohad.....	29
1.2 Heelium	30
1.3 Õhupalli täitmine	31
2. Sondi korpus.....	32
3. Langevari ja nöörid	34
4. Raspberry Pi pardaarvuti koos <i>Pi in The Sky</i> mooduliga	36
4.1 Kinnitamine, mälu, temperatuur.....	36
4.2 Raadioantenn sondil	37
4.3 Maajaam	37
5. Sondi leidmine.....	39
5.1 Lisaträkker.....	39
5.2 Lisaideed sondi leidmiseks.....	40
6. Kaamerad	40
6.1 Millele tähelepanu pöörata	40
6.2 Aku ja mälukaart	41
6.3 Pildi stabiliseerimine	41
7. Meeskonna mugavused	42
Stratosfäärilennu organiseerimine	43
1. Lennutamise koha ja aja valik.....	43
2. Vabalennu õhupalli koostööst Lennuametiga	43
3. Ilmaprognosis – pilvisus/vihm/lumi ja tuuled.....	44
4. Tehnika katsetamine.....	45
5. Lennupäeval tegutsemine	46
Raadioside	47
1. Elektromagnetlainetest raadiosaatja ja -vastuvõtjani	47
2. Raadioside regulatsioonid ja head tavad	51

3. Sondi saatja	51
3.1 PITS raadioside moodul	51
3.2 APRS pakettide võrk	54
3.3 LoRa	54
3.4 Sondi antenn ja selle ehitamine	55
4. Maajaam	59
4.1 SDR vastuvõtja.....	59
4.2 SDR raadio tarkvara, selle häälestamine	60
4.3 Maajaama antenn ja selle ehitamine.....	62
5. Raadioetri jälgimine SDR vastuvõtjaga	71
5.1 FM ringhääling	72
5.2 Lennuliiklusteeninduse side	72
5.3 Amatööri raadioside	73
5.4 Lennuliikluse jälgimine	73
5.5 Ilmateenistuse sondide vastuvõtt.....	74
5.6 Satelliitide vastuvõtt	74
5.7 Ilmasatelliitide vastuvõtt	75
5.8 Kuupsatelliitide vastuvõtt.....	76
Raspberry Pi pardaarvuti programmeerimine	77
1. Vajalikud füüsilised seadmed ja üldised juhised.....	77
1.1 Vajalikud füüsilised seadmed.....	77
1.2 Üldised juhised.....	77
2. Vajalikud arvutiprogrammid ja failid.....	77
2.1 Raspbian Stretch Lite	78
2.2 Etcher	79
2.3 PuTTY.....	79
2.4 FileZilla	79
2.5 SDRSharp (Software Defined Radio ehk tarkvaraline raadio)	80
2.6 VAC (Virtual Audio Cable ehk virtuaalne helijuhe)	81
2.7 DL-fldigi (helikaardi dekodeerimistarkvara)	82
2.8 Notepad++ (kooditöötlustarkvara)	83
3. Raspberry Pi operatsioonisüsteemi paigaldamine	83
4. Pi seadistamine arvutiga suhtluseks	84
4.1 Algseadistused.....	85
4.2 Klaviatuuriseade.....	85
4.3 Seadete muutmine	86
4.4 Võrguühenduse saamine	87

4.5 Arvutiga ühendamine	88
4.6 Raspberry Pi versioon 3	90
5. Pythoni ja PyTracki installeerimine (30 minutit)	90
5.1 Python3 paigaldamine	91
5.2 PyTrack paigaldamine	91
5.3 Raspberry Pi jadaühenduse seadete muutmine	91
6. Pythoni skriptid, nende kirjutamine ja käivitamine	92
6.1 Pythoni skripti kirjutamine	92
6.2 Muutujad	95
6.3 Tingimuslaused ja loogikalülitused	96
6.4 Tekstide loomine ja liitmine	98
6.5 Sisendite ja väljundite ühendamine	99
6.6 Relee või muu väljundi juhtimine	100
6.7 Sumisti	102
6.8 Õhurõhu- ja temperatuuriandur BMP280	102
6.9 Sisendi abil väljundi juhtimise näide	104
7. PyTracki teegiga raadiosignaalide saatmine	105
7.1 Lihtne jälgimisprogramm Tracker	105
7.2 Programmi käivitamine	106
7.3 Logi-faili tegemine	107
7.4 Pildifailide mälukaardile salvestamine	107
7.5 Anduri väärtuse saatmine raadio teel	108
7.6 Programmi automaatne käivitamine Pi käivitumisel	109
8. Raadiosignaali vastuvõtmine arvutis ja demoduleerimine	109
8.1 Raadioheli vastuvõtmine	109
8.2 Raadioheli demoduleerimine ja dekodeerimine	113
Stratosfäärilennu logiandmete analüüs	118
Logiandmete viimistlus	118
Lennu graafikute koostamine logiandmetest	119
Google Earth Pro's lennu trajektoori koostamine	121
Habhub Tracker keskkonna kasutamine	124
1. Lennu registreerimine	124
1.1 Payload configuration documents (sondi kirjeldus)	124
1.2 Flight documents (lennudokumendid)	128
2. Lennuandmete saatmine Habhub Tracker keskkonda	129
Lühiväljakutse edasijõudnuile: tehisintellekt ja kosmos	131
Märksõnade loetelu	133

Eesti Kosmosekoolide Võrgustiku loomine

Jonas Nahkor

Avalikku tuntuks kogunud ja põnevusttekitav nimi „Kosmosekool“ lülitati kasutusse seoses ühe huviringiga, mis Väätsa Põhikoolis käivitatud sai. Esimese aasta huvi saatel oli selge, et tuleb käivitada üle-eestiline võrgustik asjahuvilistest koolidest – nii sündis 2018. sügisel Eesti Kosmosekoolide Võrgustik.

Nende koolidega on Eesti juhtivate atmosfääri- ja satelliiditeadlaste käe all koolituides arendatud välja suutlikkus korraldada stratosfääri teaduslende kuni 35 kilomeetri kõrgusele. Kuigi väljakutsuv ja äärmiselt õpetlik on juba ainuüksi lennu läbiviimine, pakuvad selle ekstreemse ja kaugel keskkonna katsetusvõimalused reaalteaduse talentidele võimaluse lasta oma loomingul ja andel avalduda.

Sääraste lendude korraldamine pole hariduses küll uudis, ent sedavõrd süsteemne ja kollektiivne lähenemine on Eestis esmakordne. Kosmosekoolide Võrgustiku tulemusel on tekkinud aja jooksul järjest tugevam suhtlus TTÜ100 satelliidiprogrammi ning TÜ Observatooriumi teadlastega, kes on võrgustikku palju panustanud ning saanud seeläbi tunda oma tegevuse tähenduslikkust koolinoorte jaoks.

Selle võrgustikutöö üks viljadest on teie käes – avaldatud stratosfäärilennu õpik võtab kokku panuse, mida teadlased aastase koolitusseeria käigus kümne kooli esindusrühmadega jagasid. Tegu ei ole kooliõpiku ega kursuseprogrammiga, vaid teemat süvitsi käsitleva juhendiga. Lisaks sellele levitatakse võrgustiku korraldatud lendude ja ühisürituste infot kosmosekoolid.ee portaalis.

Loodetavasti annab see materjal ning kogu võrgustiku jagatud kogemus tuge neile, keda huvitab kosmosetehnoloogiate tundmaõppimine. Lennukate ideede kaudu saavad kooliõpilased ja nende juhendajad kokkupuute valdkonnaga ning võimaluse panustada inimühiskonna ja looduskeskkonna murede lahendamisse.

Jonas Nahkor

*Väätsa Põhikooli õpetaja
Eesti Kosmosekoolide võrgustiku rajaja*

Õpiku on koostanud teadlased Eiko Priidel, Rauno Gordon, Janika Leoste ja Martin Simon. Raamatu toimetaja on Jaanus Leoste.

Projekt „Eesti Kosmosekoolide Võrgustiku loomine“ on saanud 2018. aastal Innove kaudu rahastuse Euroopa Sotsiaalfondi taotlusvoorst „Kaasaegse ja uuendusliku õppevara ühiskasutuskorralduse toetamine“. Raamat on koostatud selle projekti vahenditest.



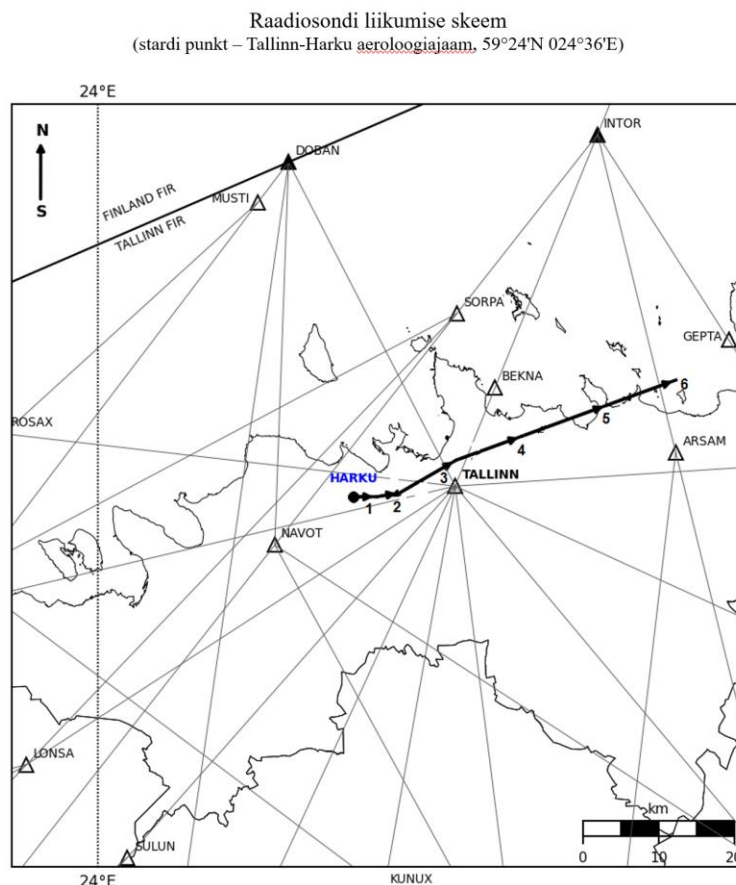
Sondpalli lennutamise praktilisi kogemusi

Rauno Gordon, Jonas Nahkor

1. Esimene katse: Märjamaa, 2017. a mais

Esimese sondi lennutamise jaoks olime mitu kuud tehnikat arendanud. Põhiline arendus läks Tallinna Tehnikaülikooli kolleegi Veljo Sinivee poolt ehitatud raadioside süsteemi jaoks. Kõik asjad olid läbi mõeldud mehaanikast kuni korralduseni ja elektroonika sidepidamisvõimet olime maapeal korduvalt läbi katsetanud. Katse käigus plaanisime lennutada sellist komplekti:

- Mehaanika:
 - 600 g lateksõhupall, täidetud 10 l heeliumiga;
 - 5 m nõõri;
 - vahtplastist karp, kus sees kõik tehnika;
 - veel 5 m nõõri;
 - pisikene 30 cm läbimõõduga langevari.
- Elektroonika vahtplastist karbi sees:
 - isetehtud raadioside süsteem, töötab amatöørsagedusel 430 MHz;
 - odav seikluskaamera;
 - GPS-GSM trækker.

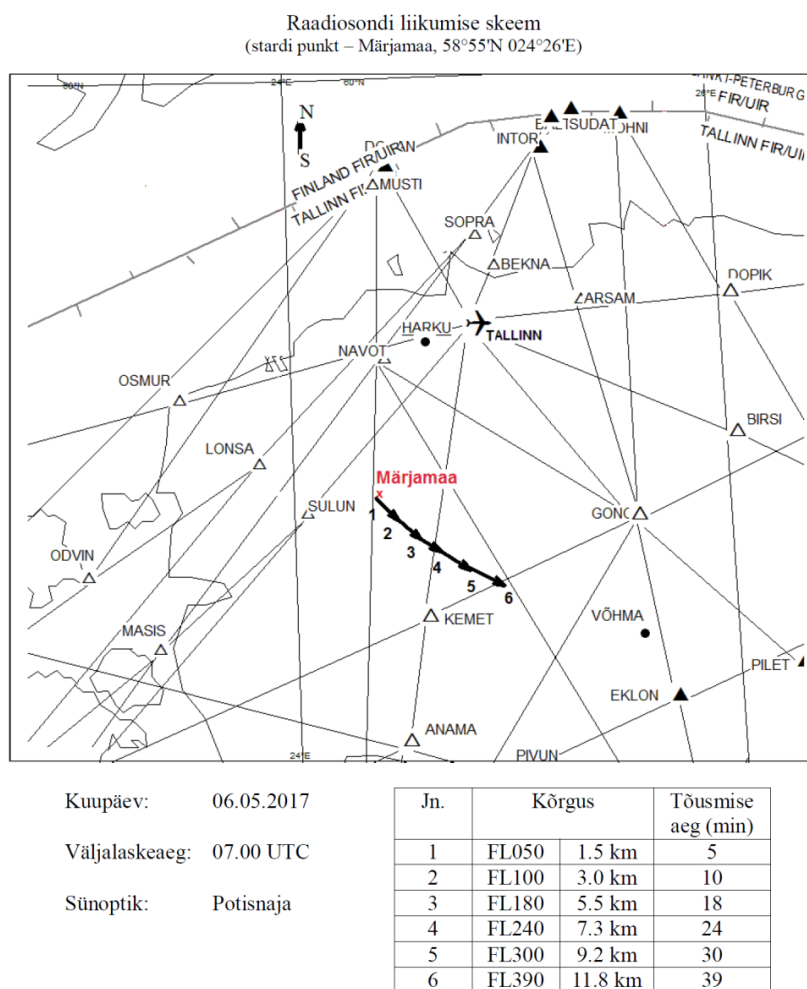


Joonis 1. Sondpalli lennu trajektoor, ennustatuna nädal aega ette.

Teadsime, et tuul võib [sondpalli](#) viia lennu ajal väga kaugele, seega uurisime tuule suundade prognoosimise võimalusi. Kogu palli [lennutrajektoori](#) arvutamise kohta ei olnud avalikult netis midagi leida. Olime suhelnud aastaid tagasi Harku ilmateenistusega ja teadsime, et nemad lennutavad sondpalle igal öösel. Küsisin, kuidas nemad oma sondpallide trajektoore ette teavad. Vastuseks saatsid nad näidisenä ühe palli lennutrajektoori joonise, mis ennustas järgmisel ööl lendava palli trajektoori kuni 12 km kõrguseni. Selle alusel küsisime ennustuse ka oma sondpallile, umbes nädal aega ette (Joonis 1). Nähes, et pall lendab kaugele kirde suunas, otsustasime muuta lennu alguspunkti, tuues selle Pärnu poole. Google kaartidelt leidsin hõredalt asustatud ala Märjamaa kandis Pärnu maantee ääres. Andsin selle alguskoha Harku ilmateenistusele ja jäin vastust ootama.

Märkasin esimeselt ilmateenistuse prognoosiga kaasnevalt infolt, et sondpalli tõusukiiruseks oli arvestatud 5 m/s. Netist oli leida kalkulaator, millega sai arvutada sondi ja palli massi ning heeliumi hulga järgi tõusukiiruse. Selgus, et peame kõik 10 l heeliumi (balloonis on heelium kokkusurutud kujul, normaalrõhul on selle maht umbes 200 korda rohkem – seega 2000 liitrit) õhupalli sisse laskma, et meie sondi tõusukiirus oleks veidigi ligilähedane. [Tõusukiirus](#) 5 m/s on päris suur, see vajab palju heeliumi ja pingul palli.

Teavitasin ka [Lennuametit](#) „vabalennu õhupalli“ lennutamise plaanist, andes alguskoha ja tõusukiiruse. Saime päev enne starti ilmateenistusest ka uue prognoosi (Joonis 2). Nüüd pidi pall liikuma kagu suunas. Teavitasin sellest uuest plaanist ka Lennuametit ja sain alles lennu päeva hommikul nendelt loa.



Joonis 2. Sondpalli lennu trajektoori ennustus päev enne lendu.

Olin kuulnud ühelt tuttavalt lennujuhilt, et Eesti kohal on laupäevahommikuti lennuliiklus hõredam, mistõttu jõuab vanemlennujuht siis rohkem suhelda õhupalli lennutajatega või tegeleda muude selliste erisündmustega. Tallinna lennujaama kohal pidavat lennuliiklust tihedamalt olema ja vabalennu õhupallile lennujaama kaitsetsoonis [lennuluba](#) niikuinii ei anta. Lennujuhi infot ja ka võimalikke tuulte suundi arvesse võttes oleme sellest ajast alates valinud lennutamise alguseks koha Kesk-Eestis – kaugel lennujaamadest ja võimalikust riskist sondpalli kaldumiseks merele või naaberriiki.



Joonis 3. Õhupalli heeliumiga täitmine Märjamaa lähistel.

Lennuks planeeritud päeval sõitsime Märjamaa suunas piki kohalikke kruusateid, kuni leidsime stardiks sobiva lagendiku. Palli täitmiseks ja tehnika valmis seadmiseks läks poolteist tundi. Lennujuhtimiskeskusesse helistades saime lendamiseks loa ning lasime palli lendu (Joonised 3 ja 4). Pall kandus tuulega otse päikese suunas, seetõttu kaotasime ta kohe silmist.

Maajaamaks oli meil Veljo tehtud [raadiovastuvõtja](#), mis käis arvuti USB pesasse. Raadiovastuvõtja küljes oli [Yagi antenn](#) ja selle süsteemi abil jälgisime palli [koordinaate](#) umbes poole tunni vältel, seejärel side katkes. Viimased koordinaadid saime 10 km kõrguselt Vändra kandist, selleks hetkeks oli pall liikunud juba umbes 50 km kagu suunas.



Joonis 4. Heeliumiga täidetud palli külge sondi (valge vahtplastist karp) ja langevarju (rohelise- ja mustalaiguline kangas) sidumine vahetult enne lendulaskmist.

Pakkisime kohapeal asjad kokku ja sõitsime Vändrasse. Peale Vändrat pidasime tee peal kinni, võtsime [antenni](#) välja ja üritasime [signaali](#) püüda igast suunast (Joonis 5). Sidet enam ei saanud.

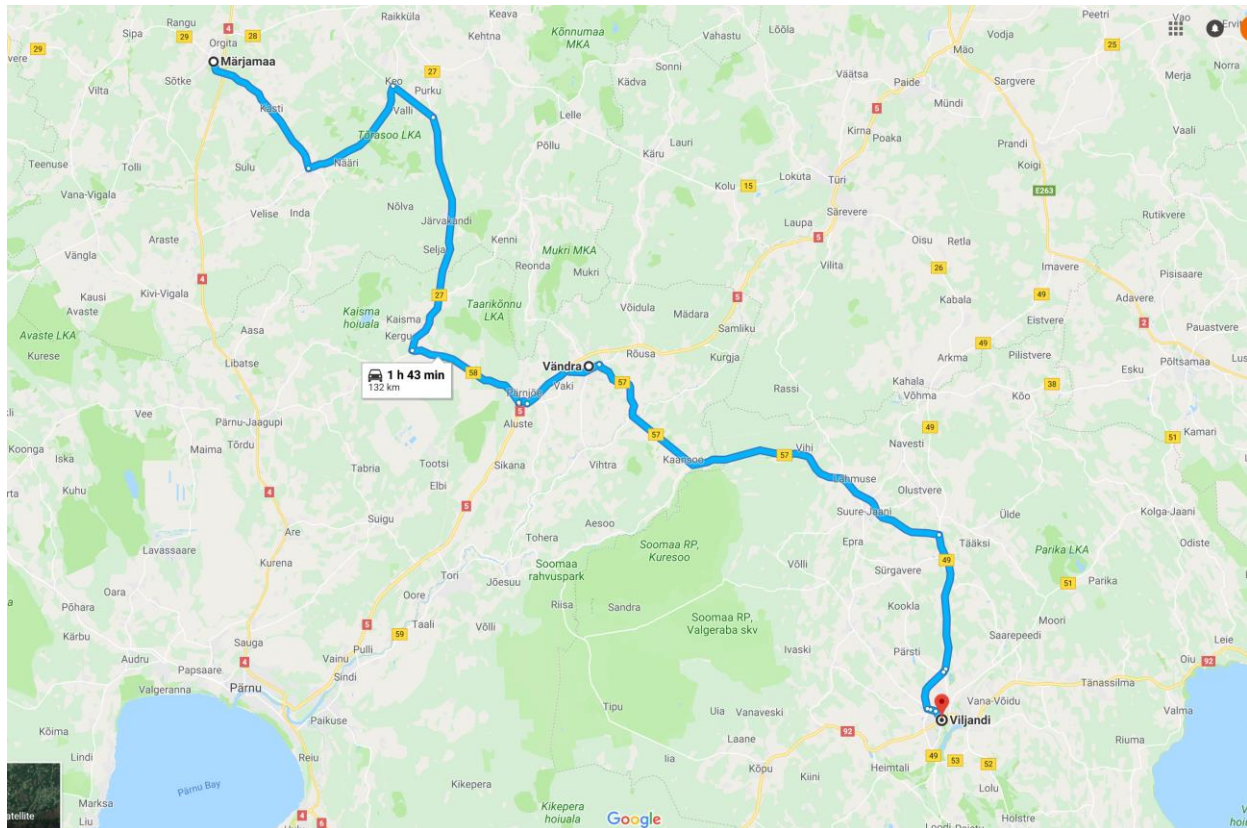
Edasi järgisime sondpalli arvatavat trajektoori, mis viis üle Vändra Viljandi suunas. Vahepeal purunes antenni ja raadiovastuvõtja vaheline juhe. Mõtlesime parandamisvõimalustele – jootekolb oli küll kaasas, aga auto [inverteriga](#) ta ei töötanud, vooluvajadus oli ilmselt liiga suur. Otsisime Vändras tööstuskaupade poes gaasikolbi, tulutult. Tuletasin meelde tuttavad, kes võivad Vändras elada ning ühe tuttava juures saimegi kolbi seina pista ja raadio juhtme kokku tinutada.



Joonis 5. Sondpalli signaali otsimine Vändra lähedal tee ääres – paraku tulemusteta. Eiko Priidel kasutab oma head kerget Yagi antenni, mida on mugav käes hoida.

Me ei saanud ühendust ei [amatöörraadio](#) mooduliga ega GPS-GSM trækkeriga. Vändras tuli mõte otsida sondi GPS-GSM trækkerit [mobiilpositsioneerimise](#) abil, lootes, et kuigi ta ei suuda sõnumit saata, on ta ikkagi kergelt võrgus. Kohaliku mobiilivõrgu teenusepakkuja kodulehel saime tõesti mobiilpositsioneerimisega sondi asukoha – see näitas metsa, mis jääb Viljandi lähedale Soomaa poole. Järsku sond sinna kukkuski!?

Täpsem piirkond oli Ivaski kandis. Mobiilpositsioneerimine andis otsimisala suuruseks kümnekilomeetrise ringi. Sõitsime sinna kohale ning tiirutasime umbes tunni vältel väikestel metsateedel ringi, hoides raadiovastuvõtjat koguaeg töös ja vehkides antenniga aknast välja kõigis suundades. Mitte midagi... Lõpuks loobusime ja sõitsime Tallinna poole.



Joonis 6. Sõidutrajektor sondi lennu alguskohast läbi Vändra Viljandisse. Tuleb arvestada, et sond lendab otse, autoga järgi tuleb aga sõita mööda teid ja sellega võib teekond väga pikaks kujuneda.

Kogemused, mida me esimesest lennust saime:

- Sondi peale kirjutage telefoninumber, selle unustasime esimene kord.
- Alustage lennutamist vara, et jõuaks sondi jälitada ja otsida terve pika päeva.
- Kogu sõidutrajektor päeva jooksul võib tulla väga pikk (Joonis 6). Selle katse päeval sõitsime läbi umbes 400 km, kulutades viis ja pool tundi – mõttekas on mahutada seltskond ühte autosse, et kütusearve ei läheks liiga suureks.
- Mõelge, kuidas lisada varusüsteeme – sellel katsel raadioside ebaõnnestus, samuti võis sond kukkuda kohta, kus mobiilside levi on väga kehv, seega oli GSM ka töövõimetu. Eestis on õnneks vähe nii viletsa leviga piirkondi.
- Katsetage oma sidesüsteeme enne lennutamist rohkem: kas nad töötavad hästi, kas nad töötavad kaugelt ja kas nad töötavad kümnel korral kümnest.

2. Teine katse: Keava, 2017. a septembris

Teise katse jaoks oli kolleeg Veljo vastu tahtmist ehitanud uue raadioside süsteemi. Sondi oli lisaks paigutatud ka GPS-GSM trækker ja seikluskaamera. Kasutasime 500 g palli, kuhu lasime sisse 10 l heeliumi. Nullist uuesti üles ehitatud sond – uus vahtplastist karp, kaamera, raadiosüsteem ja trækker – kaalus umbes 500 g, koos palliga oli mass umbes 1 kg ringis (Joonis 7).



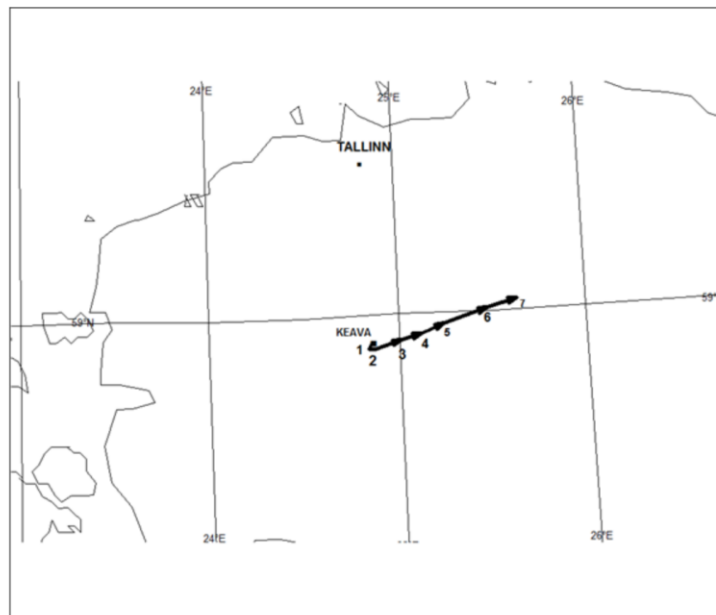
Joonis 7. Sondi sidumine palli külge heinamaal Keavas.

Seekord valisime juba ette lennutamise alguskohaks Kesk-Eesti. Üks tuttav Keavas lubas oma heinamaal katsega algust teha. Ilmajaamast küsitud tuulte prognoos näitas, et pall peaks liikuma ida suunas (Joonis 8).

Keavasse jõudsime laupäeva hommikul umbes kell 10. Kohapeal oli kiire-kiire, et lendu saaks alustada Lennuametiga kokkulepitud ajal kell 11:00. Side raadiosüsteemiga töötas maa peal hästi, lülitasime kõik trækkerid sisse, kaamerad käima ja lasime palli lendu. Seekord oli isegi telefoninumber sondil peal – lootuses, et kui ära kaob ja keegi kunagi leiab, siis on võimalus süsteem tagasi saada.

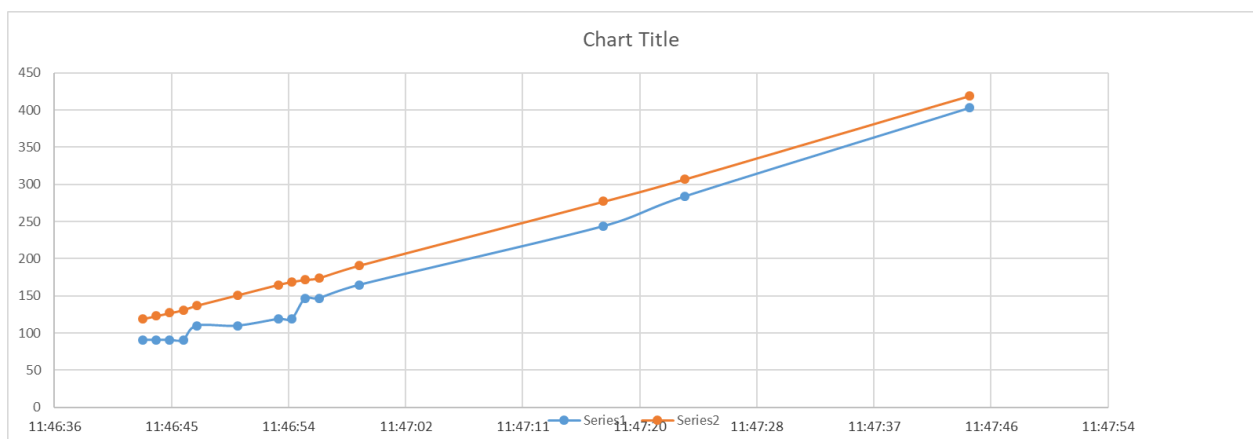
Kohe peale lennu alustamist kadus raadioside sondiga. Kui proovisin GPS-GSM trækkerile helistada, siis alguses vastas see sõnumiga, aga üsna varsti oli kadunud ka side trækkeriga. Erinevate katsete tulemusena on jäänud mulje, et GSM levi kaob ära juba 1-2 km kõrgusel, vähemalt on see nii olnud nende trækkerite puhul, mida oleme lendudel kasutanud.

Raadiosondi liikumise skeem
(stardi punkt – Keava, Raplamaa 58°56'N 024°53'E)



Joonis 8. Ilmajaama prognoos sondpalli lennu trajektorile, algusega Keavast.

Sidekvaliteeti raadiosondiga iseloomustab Joonis 9, sellel on toodud sondpalli kõrguse graafik merepinnast, vastavalt kellaajale. Graafikult on näha, et alustasime lendu kell 11:46, olles umbes 100 m kõrgusel merepinnast. Kaks eraldi joont graafikul näitavad kõrgust merepinnast erinevate meetoditega mõõdetult: ülemine – oranž joon näitab õhurõhu järgi arvutatud kõrgust, alumine, sinine joon näitab GPS-i järgi hinnatud kõrgust. GPS on ebatäpsem ja seetõttu on selle järgi hinnatud kõrgus muutlikum. On näha, et kui sond oli lendu lastud, siis saime õhust veel paar paketti ja kui sond oli üle 100 m kõrgusele tõusnud, siis side kadus. Põhjust ei tea, võib-olla oli probleem antennides.



Joonis 9. Soni tõusu iseloomustav graafik, kus kõrgus merepinnast sõltub kellaajast. Abstsissiteljel on kellaeg ja ordinaatteljel on kõrgus merepinnast meetrites. Ülemine, oranž joon näitab õhurõhu järgi arvutatud kõrgust, alumine, sinine joon näitab GPS-i järgi hinnatud kõrgust.

Jäime kohapeale ootama ja mõtlema, et mis saab. Oli lootus, et kui tunni-paari pärast sond alla tuleb ja seega tagasi GSM levisse siseneb, siis võiks GPS-GSM trækker reageerida. Nii juhtuski: ühel hetkel vastas trækker sõnumiga ja näitas soni asukohta kusagil põhja pool metsas. Kõrgusinfot aga trækkerist ei saa, seega ei teadnud me, kas sond on maandunud. Kümne minuti

pärast vastas trækker uuesti sõnumiga ja asukoht oli sama! Ilmselt oli sond maandunud ja võis hakata talle järgi minema.

Kohalikud, mu tuttav ja tema naabrid, arutasid kaarti vaadates, et mis koht see täpselt on ja andsid juhiseid edasi sõitmiseks. Sondi asukohaks oli Sihvre kant – 25 km lennu alguskohast põhjapool (Joonis 10). Ilmselt ei lennanud pall väga kõrgele.



Joonis 10. Sondi asukohaks andis GPS-GSM trækker Sihvre.

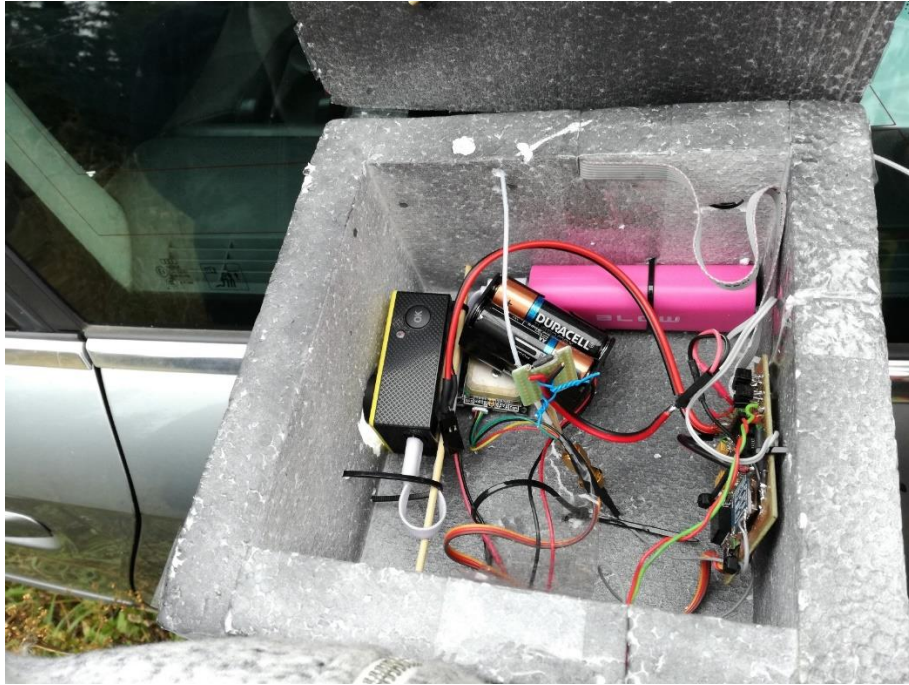
Kohale sõites leidsime kõrvaltee, mis viis taluni. Taludega on alati see mure, et tegemist on tõenäoliselt eramaaga ja omanik ei pruugi lubada seal liikuda. Väike tee viis õnneks talust mööda tahapoolle lagendikule, kuhu saime jätta autod. Edasi oli veel vaja minna umbes 500 meetrit jala. Mööda lagendiku serva liikudes nägime, et sondi viimased koordinaadid asuvad keset võpsikut lagendiku ääres. Murdsime otse sinna sisse ja leidsime sondi paari minuti jooksul maapinnalt sambla seest piiksumas. Igaks juhuks oli kolleeg Veljo sondile lisanud [sumisti](#) ja [LED-tulukese](#), mis hakkasid tööle niipea, kui sond oli maandumise tuvastanud.



Joonis 11. Sondi leidmine metsast maas lebamas.

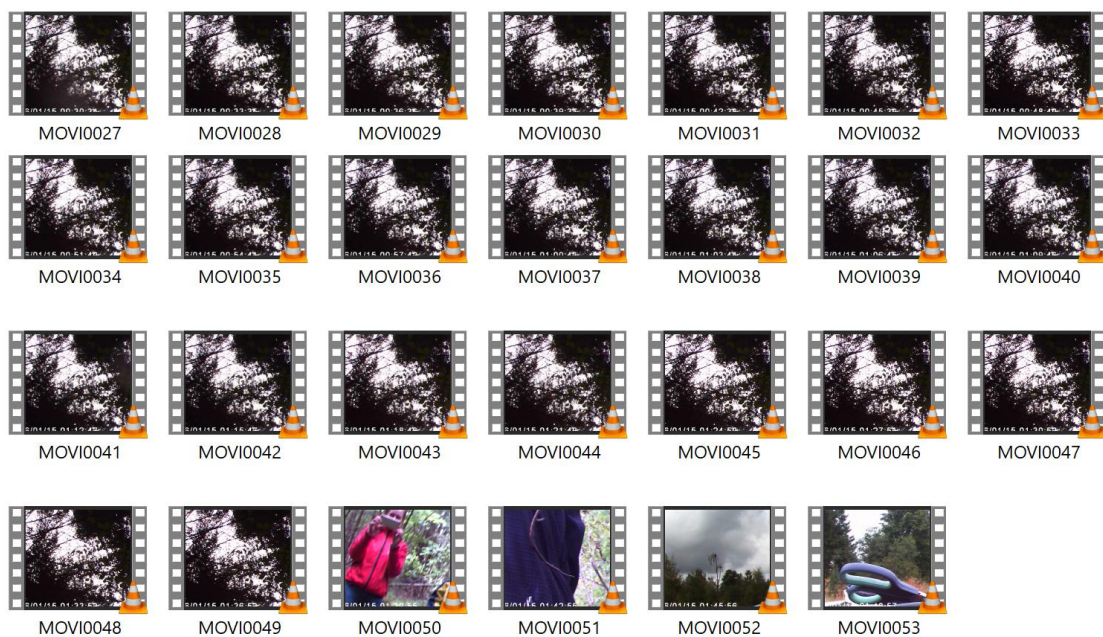
Täiesti hämmastav oli, et sond oli nii tihedas metsas puuderägast läbi tulnud ja maapinnale jõudnud (Joonis 11). Samuti oli läheduses okstel sondi pika nõoriga pisike langevari. Ka see oleks vabalt võinud kõrgete puude otsa kinni jääda. Pikk langevarju nõör saigi valitud selleks, et kui langevari puu otsa kinni jääb, siis ehk jõuab sond madalamale, võimaldades teda kergesti kätte saada.

Märkasime ka õhupalli puudumist. Meil oli nimelt sondi sisse ehitatud õhupalli nõöri põletaja. Veljo oli oma raadiosüsteemi lisanud [geo-aia](#) – ala, mis ümbritses ringina õhupalli lendulaskmise kohta. Geo-aia ülesandeks oli aktiveerida õhupalli nõöri läbipõletamine juhul, kui sond jõuab rannikule ohtlikult lähedale. Kuna sondil ei olnud maandumise ajal õhupalli enam küljes, siis oletasime, et antud juhul võis sondi suhteliselt varajase kukkumise põhjuseks olla viga süsteemi tarkvara häälestuses, mistõttu arvutati geo-aia või sondi asukoht valesti.



Joonis 12. Sondis on näha raadiosüsteem (paremal vastu siseseina), seda toitev patareipakk (äratuntavate DURACELL patareidega), odav seikluskaamera (vasakul siseseina ääres), seda toitev akupank (ülal, roosa), GPS antenn (patareide all) ja õhupalli nõõri hoidik, mis võib vajadusel nõõri läbi põletada (väike trükkplaadiga takisti keskel patareide ees).

Lontsisime autode juurde tagasi ja tegime sondi lahti (Joonis 12). Lülitasime süsteemid välja, võtsime akud tagant ära ja proovisin kohe ka kätte saada videoid sondis olnud seikluskaamerast. Kohapeal panin mälukaardi arvutisse ja tõmbasin failid sisse. Tulemust näete Joonisel 13.



Joonis 13. Sondis olnud seikluskaamera videofailide ikoonid, mis näitavad iga 5 minuti pikkuse video alguskaadri.

Videofailide sisu oli enamuse ajast küllaltki sondist näha olnud metsaalune, sest kahjuks oli seikluskaamera jäänud režiimile, kus mälukaardi täitudes salvestatakse varasemad videod üle. Seega lennust ei olnudki mingit jälge: videotest paistis ainult metsaalune ja siis sondi leidmine

koos autoni toomisega. Sondi raadiosüsteem ei aidanud samuti, sest selles ei olnud programmi, mis oleks loginud kõrguseid, rõhkusid või GPS asukohti.

Kogemused, mida teisest lennust saime:

- Seikluskaamera peaks olema režiimis, kus ta varasemaid videoid üle ei salvesta – ja mälu võiks tal olla niipalju, et piisaks ka väga pika lennu jaoks.
- Kui sondis on geo-aeda kontrolliv süsteem, mis on suuteline nööri läbi põletama, siis see peaks olema väga läbi katsetatud, et tarkvaraviga ei jätaks lendu lühikeseks.
- Raadioside kvaliteeti peaks saama kontrollida enne lendu, meil oli ilmselt antennidega mingi viga, seda oleks saanud märgata enne lendu side kvaliteedi põhjal.

3. Kolmas katse: Keava, 2017. a oktoobris

Seda süsteemi, mis meil eelmine kord lendas ja alla tuli, lennutasime uuesti. Süsteemis ei olnud eraldi GPS-GSM trækkerit, kuna GSM võimekus oli ehitatud nüüd raadiosüsteemi juurde. Lennuametiga koordineerisime vabalennu õhupalli lennu ning ilmajaamast küsisime ka tuulte prognoosi nädal aega ette.

Lennutamise üritus toimus ühe tehnika-Hackathoni käigus, sealt tulid mõned huvilised juurde vaatama. Samuti olid kaasas Väätsa kooli õpilased (Joonis 14). Maa oli lumine, sadas kerget vihma – see ei ole üldse meeldiv ilm lennutamiseks, kuna väljas võib kergesti külma saada. Väga palju on kohapeal ootamist, eriti pealtvaatajatel, ning lõpuks tuleb võibolla minna sondile üle märja maastiku järgi ei-tea-kuhu.

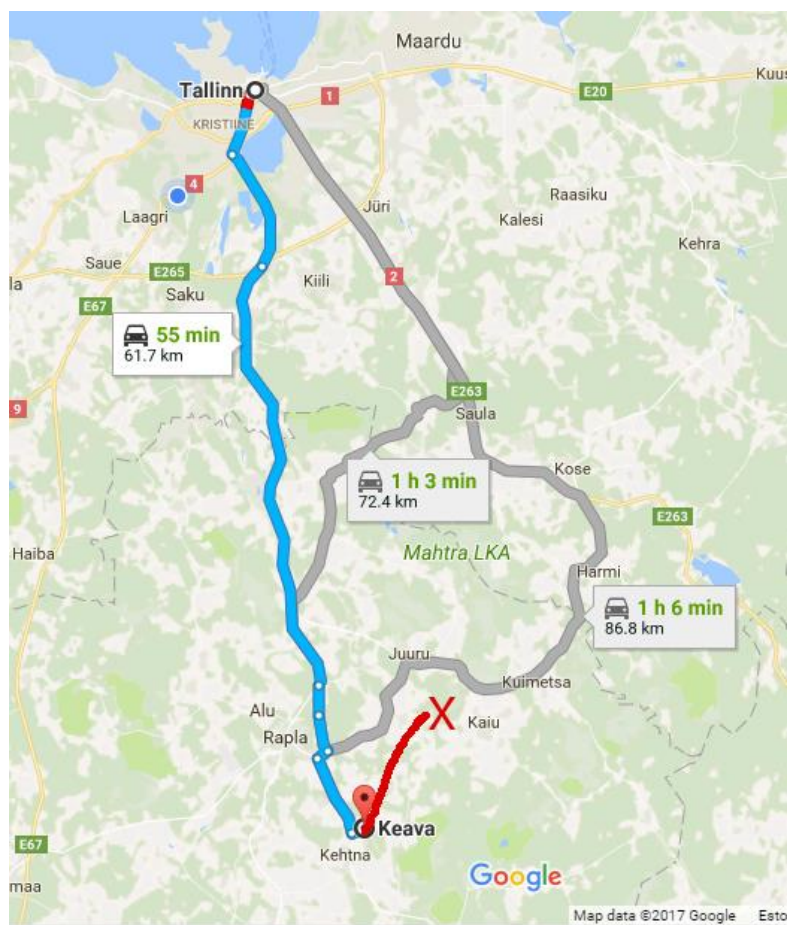


Joonis 14. Õhupalli heeliumiga täitmine oktoobris. Sadas kerget vihma ja paljud seltskonnast said jalad märjaks.

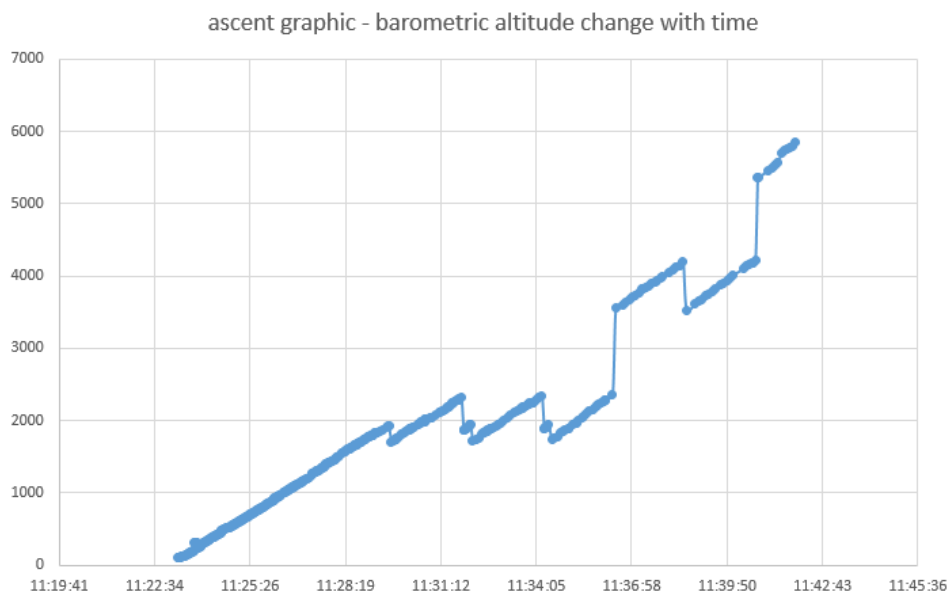
Saime sondi tööle ja lasime õhupalli lendu umbes õigeks ajaks. Kohapeal kerges vihmas püüdsime antenni abil jälgida tema lendu. Esialgu side töötas ning saime sondilt infot kuni peaaegu 6 km kõrguseni (Joonis 15). Siis side kadus. Sonni lennu trajektoori iseloomustab Joonis 16.



Joonis 15. Eiko ja kaks huvilist Hackathonilt jälgivad sondi lendu Yagi antenniga.



Joonis 16. Hommikune sõit Keavasse ja sondi lennu trajektoor. X-ga tähistatud kohas kadus side.



Joonis 17. Sondi kõrguse info, mis jõudis maajaama senikaua, kuni ühendus püsis. Abstsisssteljel on kellaaeg ja ordinaatteljel on rõhuanduri järgi arvutatud kõrgus merepinnast.

Kogemused, mida kolmandast lennust saime:

- Vihm võib tehnika märjaks teha, nii lennu- kui ka maajaama tehnika.
- Sensorid tuleb läbi katsetada – kui saate kasutada vaakumkambrit, siis katsetage rõhusensor läbi, et teaksite tema väärtusi usaldada;
- Täiendav GPS-GSM trækker on alati abiks, eriti kui on uus süsteem, mida ei ole veel korduvalt katsetatud.

4. Neljas katse: Väätsa, 2017. a märtsis ja mais

Planeerisime ühist starti koos Väätsa kooliga. Sõitsime ühel maikuu reedel Väätsale kohale ja seadsime kohalikule staadionile tehnika üles. Väätsa koolist tuli staadionile välja kogu koolipere ja staadionil käis korralik disko. Seadsin üles kolmjala, kus kaamera salvestas sarivõtet sündmusest. Teise kolmjala otsa seadsin antenni. Staadionil jooksvate laste hulk oli selline, et pidime ootama, kuni Väätsa kool oma palli üles lennutas. Siis läks enamus lapsi kooli tundidesse tagasi ja me saime ruumi, et oma sondi käima panna. Meil oli tehnikaga mingi probleem – kasutasime esimest korda Maksim Maljutini poolt arendatud tehnikat, mille raadioside toetus [LoRa](#) tehnoloogiale. Mingil põhjusel ei saanud me seda tööle ja otsustasime sellel päeval katsetamisest loobuda.

Maikuu reedel sõitsime Väätsa staadionile, et vahepeal parandatud ja katsetatud süsteemi uuesti proovida. Sellel päeval oli Väätsa õpilastel teine õhupallikatse ning algul oli plaan jälle kahe sondpalli ühist starti katsetada. Staadionil oli aga nii palju ringi sagivat rahvast, et loobusime oma tehnika ülesseadmisest. Maas lebavale sondile oleks peaaegu peale astunud.

Peale Väätsa palli õhku tõusmist staadion tühjenes ning saime lendu lasta oma sondi (Joonis 18), milles olid kõrvuti LoRa raadiosidesüsteem koos [Pi in The Sky](#) (PITS) süsteemiga. Maksimi ehitatud LoRa süsteemil oli õhupalli lahtilaskmiseks selle nõõri põletav takisti, mis sõltus geoaia. Geo-aed oli suur ring keskpunktiga Väätsas. PITS süsteemil oli hea raadioside jaoks [vertikaalne poollaineantenn](#), Eiko valmistatud. LoRa kasutas saatmiseks pisikest [spiraalantenni](#) –

selle sideomadusi olime eelnevalt katsetanud Tallinna lähel üle paarikümne kilomeetrise vahemaaga.



Joonis 18. Sonni lennu algus Väätsa kooli staadionilt, pildistatud sonni seikluskaameraga. Sonni kaameral kasutati vertikaalset asetust, et peale jääks nii maa kui taevas.

Jälgisime sonni lendu kahe [sidevahendiga](#) korraga – Maksim tahvelarvutis oma LoRa süsteemi ja mina arvutiekraanilt PITS süsteemi. Ühel hetkel nägin logi faili sirvides, et uued read, mis tulevad sondilt, on väiksemate kõrgusväärtustega. Järeldasin, et sond kukub. Kukkumine algas umbes 5 km kõrguselt. Mõne minuti pärast side kadus, ilmselt langes sond madalale ning otsenähtavus kadus, kuna puud tulid ette. Natukese aja pärast proovisin GPS-GSM süsteemile helistada ja ta vastas koordinaadiga. 10 minutit hiljem vastas GPS-GSM süsteem taas sama koordinaadiga – seega oli maandumise koht teada. Maandumise koht oli Laukesoo lähedal, teedest suhteliselt kaugel. Lähim tee oli Virla kandis ja sealt oli GPS-koordinaadiga näidatud kohta umbes 3 km.

Pakkisime asjad Väätsas kokku ja sõitsime Maksimiga Virlasse. Väikese tee ääres leidsime kõrvaltee, mis viis taluni. Sinna talu lähedale jätsime auto ning vaatasime kompassiga suunda. Sonni asukoht oli 3 km kaugusel otse üle mullase põllu ja sealt edasi läbi metsa ja soo. Hakkasime

astuma – võtsin kaamera kotist ja tegin Maksimist pilti kui ta üle põllu otse sondi koordinaadi suunas minema hakkas (Joonis 19).



Joonis 19. Maksim jälgib oma LoRa vastuvõtjast saadud koordinaate ja suundub üle põllu Laukesoo suunas. Sihtmärgini on 3 km.

Peale põllu ületamist ja väikese metsa läbimist muutus tee märjaks. Mitte mingeid radu ei olnud, sumasime läbi märja maastiku, vahepeal lühikestest raba-mändides kinni hoides, et sügavamale ei vajuks. Madalamate mändidega piirkonnas oli kõrge märja rohu sees näha loomade radu, eemal õnnestus isegi põtra jooksmas näha.

Vahepeal toon siia ühe kaadri, mille võtsin sondi videost välja. Kukkudes jäi sond langevarju nõoriga kõrge männi otsa kinni ja kõlkus seal (Joonis 20).



Joonis 20. Kaader sondi videost, kui ta kõlgub männi otsas umbes 5 m kõrgusel maast.

Koordinaatidega määratud kohta jõudes otsisime natuke ringi ja siis nägimegi tuhmkollasest [penoplastist](#) sondi, see oli kõrgest metsast hoolimata maha samblale kukkunud (Joonis 21). Hiljem sondis salvestunud videot vaadates nägime, kuidas sond alguses puu otsa kinni jäi, kiikus 10 minutit seal 5 m kõrgusel ning siis lihtsalt ise alla tuli.



Joonis 21. Maksim ja tema ees maas taevast kukkunud tehisk keha.

Sondiga tagasi auto juurde jõudes võtsime sondi lahti, ühendasime akud küljest ning proovisime kohe materjali arvutisse tõmmata. Selle aja jooksul jõudis kohale selle talu omanik, mille lähedal me auto oli pargitud. Küsis meilt, et tere, mis te siin teete... et tal naine aknast vaatas ja muutus murelikuks, mingid võõrad tulevad nende maja juurde ja jätavad auto pikaks ajaks. Selgitasime oma katset ja näitasime sondi. Tal tuli meelde, et ta on õhupallidest midagi kuulnud, ja kuskilt oli ta saanud ka lateksist õhupalle. Käis toas ära ja tuli tagasi kotiga, kus oli sees mitukümmend 100 g latekspalli, pakituna. Ta küsis, et ega me neid ei taha juhuslikult. Osta. Ma natuke arvutasin, et kui palju ma oleks nõus maksma, siis meenus, et sularaha ei ole kaasas. Maksimil oli 10 € sularaha. Kauplesime. Ma pakkusin, et võime osta 5 palli 10 € eest. See oli päris lõbus seik, et saime kohalikuga õhupallidest rääkida ja lõpuks nalja pärast ka veel natuke äri teha!

Miks jäi lend nii lühikeseks – ainult 5 km? Seda võib selgitada asjaolu, et metsast leitud sondil ei olnud küljes ei õhupalli ega õhupalli nõõri. Selle oli süsteem automaatselt läbi põletanud, kuigi asukoht oli geo-aiast veel kaugel. Kahtlustasime Maksimiga jälle tarkvaraviga, mis arvutab koordinaate mitte kõige paremini. Seekord juhtus tarkvaraviga sondi automaatsel nõõri-põletajal juba teist korda ja hoopis uue süsteemiga, mida arendas teine inimene.

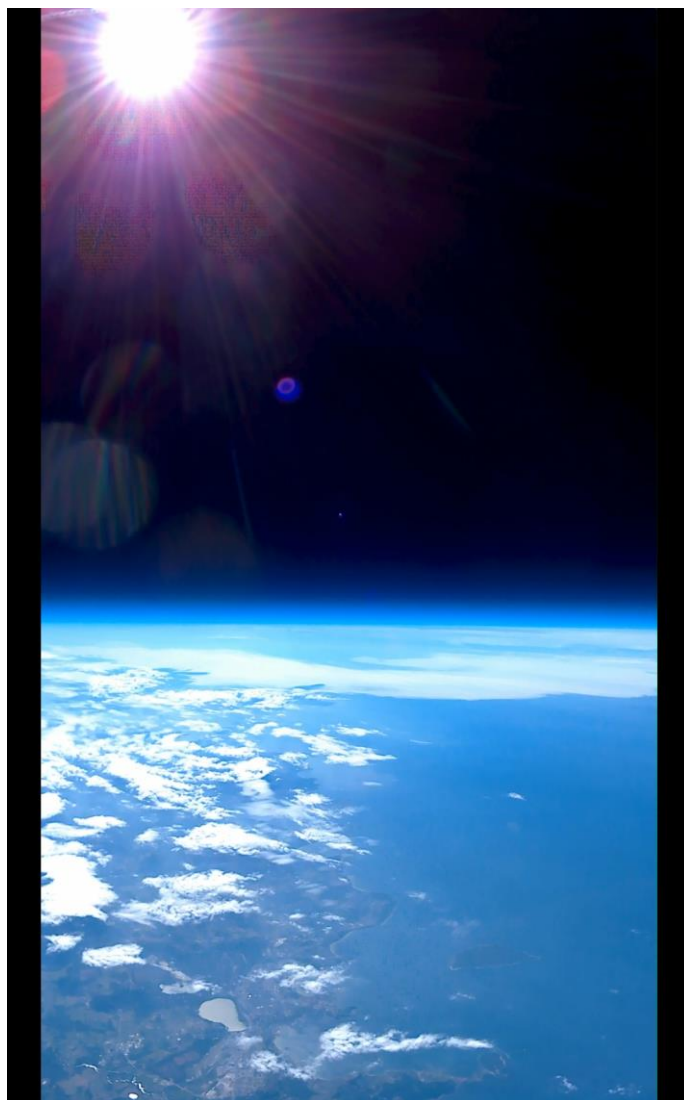
Kogemused, mida neljandast lennust saime:

- Kaasa tuleb võtta teised jalatsid ja/või kummikud – teekond sondini võib kuskohast iganes läbi minna.
- Kindlasti tuleb sondi paigaldada GPS-GSM trækker. Selle abil oleme sonde kõige kindlamini üles leidnud. Trækkerit tuleks enne piisavalt katsetada, et tema töökindlus ja aku kestvus oleks teada ning enne lennutamist tuleb trækkeri aku kindlasti täis laadida.

- Sondil võiks olla sumisti, mis käivitub kohe peale kukkumist või pool tundi hiljem (tõenäoliselt keegi varem sondini ei jõua), sest see lihtsustab sondi leidmist halvasti nähtavast kohast – kõrgelt puu otsast või sügavast metsast.
- Kui autoga ligidale ei saa ja on vaja jala väga kaugemale matkata, siis tuleb läbi mõelda, mida kaasa vaja võtta. Võõras metsas okstesse kinni jäänud sondi kättesaamiseks puud maha võtta ei tohi, tuleb ronida. Järvel aga võib sondi kaldale saamiseks abi olla pisikesest raadioteel juhitud paadist.

5. Viies katse: Keava, 2018. a juuni

Viies katse oli väga edukas, me saime kogu lennu videosse – peaaegu. Puudu jäi viimane kukkumise jupp, kuna kaameral sai mälu täis (kogu lend kestis kaua). Põhilist tulemust, pilti kosmosepiirilt, on näha Joonisel 22.



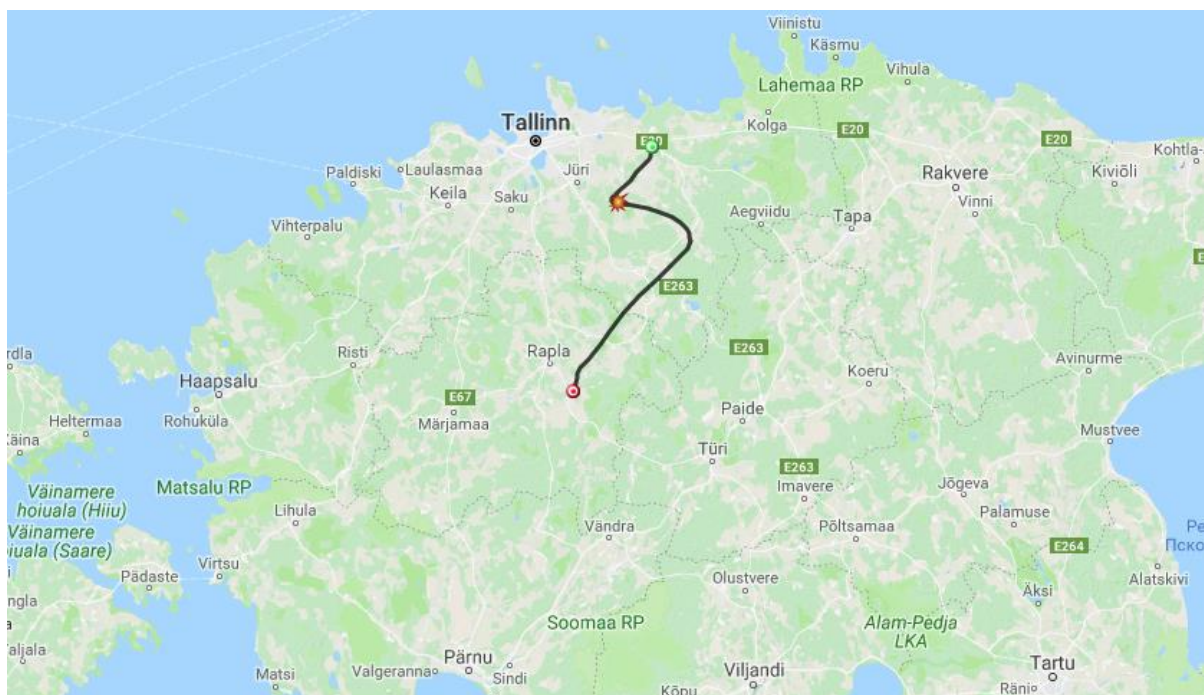
Joonis 22. Kaader stratosfäärisondi viiendalt katselt 34 km kõrguselt. All võib näha Tallinna piirkonda: selgelt eristuvad Ülemiste järv, Kopli poolsaar, Tallinna laht, Aegna saar ja Naissaar.

Kaks nädalat enne starti alustasime lennuloa taotlemise protsessi ja jälgisime hoolsalt tuulte prognoose, mis olid väga head. Vahepeal olime ka avastanud, et Ühendkuningriikide alamad on

teinud [stratosfääri](#)sondi lendude jaoks veebikeskkonna predict.habhub.org/, mis väga mugavalt ennustab sondi trajektoori. Seetõttu ei olnud enam vaja ilmajaamalt tõusuprognooosi küsida.

Selle keskkonna kaudu saime teada, et sond peaks liikuma põhja poole, Lahemaa rahvuspargi suunas. Kui sondi tõusukiirus on piisavalt suur, siis peaks sond maanduma põhjarannikule (Joonis 23). Lasime sondi lendu, igaks juhuks ilma õhupalli nõõri põletajata, mida me kahtlustasime kahe eelneva katse rikkumises. Juba lennu alguses nägime, et tõusukiirus on suhteliselt madal: 2,5 m/s. Tegime uued arvutused sondi kukkumise kohta ja nägime, et ta võib kukkuda rannikule, aga võibolla ka mitte.

Jälgisime sondi tõusu LoRa ja PITS süsteemidega kolm tundi. Alguses kõik süsteemid töötasid, kaasa arvatud GPS-GSM trækker. Mingi hetk lennu ajal LoRa side katkes ja lõpuks kadusid ka PITS-i saadetud andmepaketid. Pakkisime siis Keavas asjad kokku ja hakkasime sõitma Lahemaa poole. Jõudsime välja Juminda poolsaarel asuvasse Tapurla Kaluriühistu sadamasse, seal oli ka kõrge vaatetorn, mis siiski puudest päris üle ei ulatunud. Ronisime Maksimiga koos antennidega vaatetorni otsa, aga mingit signaali kusagilt kinni ei püüdnud.



Joonis 23. Sondi prognoositav lennutrajektoor.

Mingi hetk sain sondilt SMS sõnumi, mille koordinaadid näitasid kohta keset merd. Sond oli maandunud vette ja ühendunud mobiilivõrku. Ühelt poolt oli see väga hea uudis, aga teiselt poolt tekkis küsimus sondi kättesaamisest. Mõtlesime ka loobuda. Proovisime helistada sõpradele, kes teavad midagi kaatriga meresõidust. Sondi asukoht oli 30 km kaugusel rannikust – oli selge, et aerupaadiga sellele järgi ei lähe. Meenus üks sõber, Peep Rada, kes varem ühel Hackathonil sondi teemast huvitus. Samuti teadsin, et ta tegeleb Keri saarel majaka haldamisega ja viib nädalavahetustel sinna saarele inimesi. Ainukeseks kontaktiks oli Facebooki profiil, mille kaudu saatsin sõnumi. Peep reageeris poole tunni pärast, kui olime juba loobunud sondi tagasi saamisest. Ta oli parasjagu inimesi Keri saarele viimas ja oli põhimõtteliselt valmis abistama. Saatsin koordinaadid. Peep vastas, et äratoomine on võimalik, aga sihtmärk on suhteliselt kaugel – see võtab aega ja kütust. Olin nõus kütuse kinni maksma.



Joonis 24. Peep on kaatriga merel ja suundub Juminda poolsaare lähedalt keset merd asuvat sondi otsima.

Kui Peep oli kaatriga juba peaaegu keset Soome lahte hulpiva sondi suunas teel, siis ta helistas ja küsis uusi koordinaate. Saatsin talle viimaseid koordinaate veel mitu korda. Peep ei saanudki otse sondi juurde sõita – pidi tegema tiiru kõigepealt Juminda poolsaare juurest läbi, et saada enda telefon mobiilivõrku, seal sai mu viimased sõnumid ja siis läks nende koordinaatide põhjal sondile järgi (Joonis 24). Sond leiti vaikselt Soome lahel hulpimas ning toodi Keri saarele (Joonised 25 ja 26).



Joonis 25. Sonni merest leidmine.

Peebul olid Keri saarel külas elektroonikutest sõbrad, kes tahtsid ka näha, mis sondi sees on. Nad tegid mulle saarelt videokõne, kus võtsid sondi lahti ja kommenteerisid, et hull tehnika on sees. Palusin neil akud lahti ühendada ja tänasin ohtrasõnaliselt meresõidu eest.



Joonis 26. Värskest merest toodud sond Keri saarel koos musta langevarjuga.

Esmaspäeval sain Tallinnas sondi kätte. Selgus et enamuse tehnikat oli korras. Ainult see üks külg, mis meres allapoole jäi, oli saanud natuke soolakahjustusi. Sellel küljel oli sondi sees [Raspberry Pi](#) A+ koos PITS süsteemiga. Kahjustada oli saanud ainult Raspberry. Õnneks oli Raspberry sees olnud mälukaart korras, sealt sai lennuandmed välja lugeda: kõrgused, GPS koordinaadid ja sondisisesed temperatuurid.

Kogemused, mida viiendast lennust saime:

- Sondi peal peaks olema telefoninumber koos riigi koodiga.
- Suur avatud langevari vähendas tõusukiirust. Kui see on oluline faktor, siis võib mõelda lahendusi teistsuguseks langevarju sidumiseks, optimeerida langevarju suurust, jätta see üldse ära või proovida automaatselt avanevaid süsteeme.
- Osad süsteemid sondi sees võiksid olla veekindlad, antud juhul oli GPS-GSM trækker üks veekindel süsteem. Aga võib proovida ka sondi tervikuna veekindlaks teha.

6. VPK Kosmos II lennu ülevaade: Väätsa, 2017. a mais

VPK Kosmoseprogrammi õpilased tegid 2018. aasta kevade jooksul läbi kaks [stratosfääri](#)starti, mille mõlema missiooni keskseks ülesandeks oli süüdata rekordilisel kõrgusel elektrilise lühisega säraküünal (Joonis 27). Nende lendude käigus koguti ka lennulogi andmeid ja edastati neid raadioside teel maapealsele vastuvõtjale. Lennulogi andmete kogumine oli edukas ning selle põhjal sai koostada lennu temperatuuri ja rõhumuutuste kohta graafikuid.

Väätsal 2017. a mais toimunud lennu korraldamisel tehti aga üks suurem viga, mis väärrib kirjeldamist.



Joonis 27. VPK Kosmos II sondi saraküünla süütamine.

Sondpalli täitmisel heeliumiga on väga oluline silmas pidada vajalikku tõusukiirust. Kui tõusukiirus on liiga suur, lõhkeb pall liiga vara ja lend jääb lühikeseks. Liiga madala tõusukiiruse puhul aga venib lennuaeg pikaks ja tuuled võivad palli viia kaugemale. Tavapäraselt on heeliumpalli täitmisel eesmärgiks lasta sellesse piisavalt gaasi nii, et lennu keskmine tõusukiirus oleks 4 m/s. VPK Kosmos II lennu puhul selleni aga ei jõutud. Suure tõenäosusega oli põhjuseks väikeste õhupallide täitmiseks mõeldud otsiku kinnitamine nii, et katses kasutatud suure, 600 grammise latekspalli suue ei olnud hästi fikseeritud ja täitmise ajal lekkis osa heeliumist välja. Olukorda halvendas samuti see, et stardi hetkel muudeti erinevate lisakinnituste ja detailide lisamisega sondi ennast planeeritust kuni 20% võrra raskemaks ja seda lisakaalu vajamineva heeliumi kalkulatsioonid ei arvestatud.

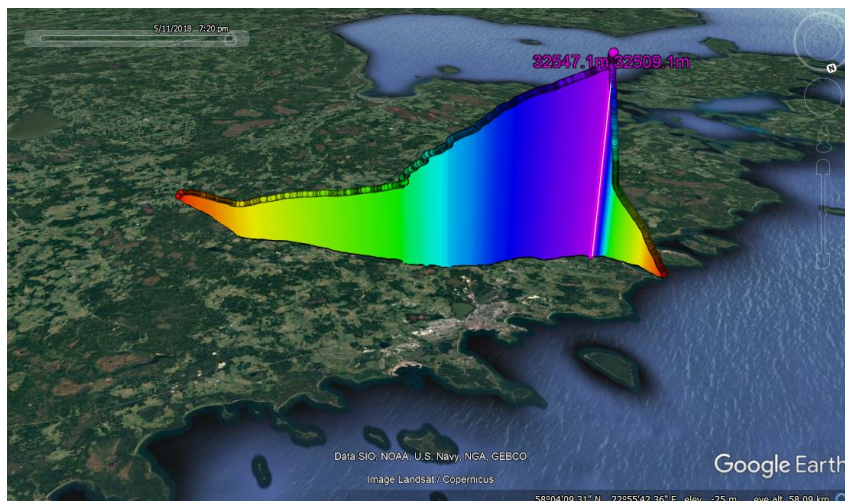
Kui arvestuslik kogus heeliumit oli justkui palli sisse lastud, lasti pall ülesse ning selle reaalne tõusukiirus jäi 2,5 m/s piirsesse. See tähendas, et lend läks väga aeglaselt ja väga kõrgele (32670 m). Kui esialgu oli lennuajaks planeeritud kaks ja poolt tundi, maandumisega Raplamaal, siis tegelik lend kestis peaaegu neli tundi ning sond maandus napilt Lohusaare poolsaare tipust põhja pool, 600 meetrit mererannikust eemal madalas meres (Joonis 28), kuskohast sai selle väikese sõudepaadi abil siiski kätte.



Joonis 28. VPK Kosmos II sond Lohusalu lähistel.

Kogemusest tehtud järelduse tulemusena kasutab VPK Kosmoseprogramm sondpalli täitmisel edaspidi vaid ballooni külge ühenduvat rõhumõõtjat ja sellele kindlalt fikseeritud voolikut, kusjuures suure latekspalli suudme külge on väikese läbimõõduga voolik kinnitatud õhutihedalt plastikust ühenduslülili kasutades. Täiendavalt saab palli [tõstejõudu](#) alati peale täitmist dünamomeetri abil kontrollida.

VPK Kosmos II lennu graafik (Joonis 29) on pärit Google Earth Pro rakendusest, sisestades sellesse kõrguse ja asukohaandmed.



Joonis 29. VPK Kosmos II sondi lennu trajektoor koos kõrgusandmetega.

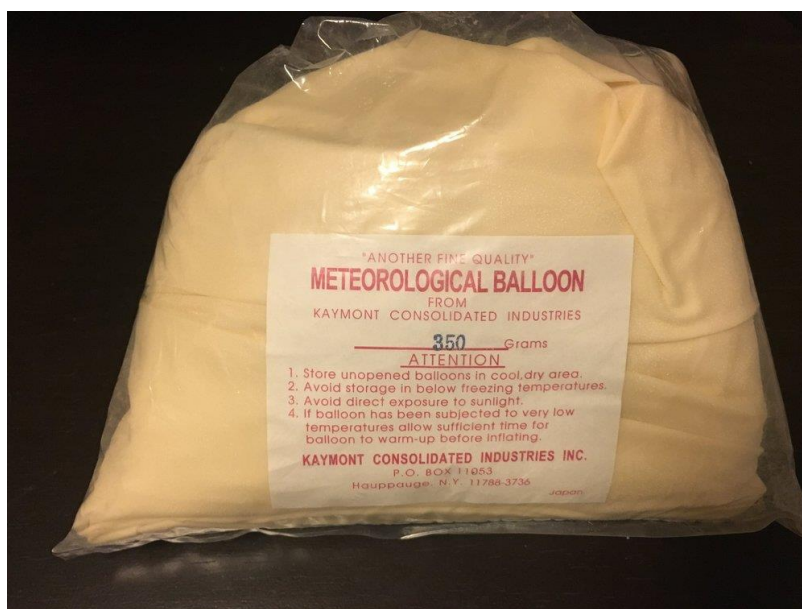
Lennutehnika ettevalmistamine

Rauno Gordon

1. Õhupall

1.1 Sobilik õhupall, selle ostukohad

Alustamiseks on **kõige sobilikum** ja odavam kasutada **lateksist palli** (Joonis 1). Netist otsimiseks sobilikud otsisõnad on: *sounding balloon*, *weather balloon*, *high altitude balloon*. Lateksist õhupalle tähistatakse kaalu järgi (näiteks 100 g, 200 g, 600 g, jne) ning see **kaal tähistab palli enese kaalu** grammides – sisuliselt on tegemist õhupalli valmistamiseks kasutatud lateksi kaaluga.



Joonis 1. 350 grammise kaaluga stratosfäärisondi jaoks sobiv lateksist õhupall, pakendis.

Internetis võib leida mitmeid õhupallide müüjaid. Üks algajaile sobilikke **õhupalle müüv pood** on: www.randomengineering.co.uk. Sealt tellitud õhupallid on autori kogemusel käitunud hästi nii täitmisel kui ka lendamisel. Tellides mujalt, tuleb arvestada, et lateks on vananev materjal – ilmateenistuse ülejäägid võivad olla odavad, kuid teaduskatses kasutamiseks liiga rabadad.

Sobilik on lennutamiseks kasutada õhupalli, mille kaal on sarnane selle külge riputatava raskuse (sondi, kosmoserobot, kaamera, vms) kaaluga. Näiteks 500 g raskuse jaoks sobib 500 g pall jne.

Valitud õhupall tuleb täita õige koguse tõstva gaasiga (heelium). **Sobiva gaasikoguse** leidmiseks tuleks kasutada internetis leiduvaid **kalkulaatoreid** – leiad need märksõnade *balloon performance calculator* abil, näiteks habhub.org/calc/.

Järgnevalt on toodud **näidiskalkulatsioon vajaliku gaasihulga leidmiseks** tüüpilisele kergele sondile, mille sees on Raspberry Pi arvuti ja lisakaamera. Meie näites **kaalub sond 500 g**.

- Valime 500 g palli – randomengineering.co.uk veebilehelt toote *Hwoyee – 500*;
- Tõusukiirus võiks olla vahemikus 3..5 m/s. Tavaliselt on tõusval pallil umbkaudu ühtlane kiirus kuni lõhkemiseni.

- Kiiremini tõusva palli eeliseks on see, et tuul ei vii teda liiga kaugemale ära. Näiteks Harku ilmajaama iga-õiste sondide tõusukiiruseks on 5 m/s. Sellise tõusukiiruse puhul saab 25...30 km kõrgune katse läbi umbes kahe tunni jooksul: pall tõuseb 90 minutit ja seejärel langeb 15...20 minutit (sõltub langevarjust).
- Aeglaselt tõuseb õhupall siis, kui heeliumi kasutatakse vähem. Kuna vähema heeliumiga paisub õhupall tõustes aeglasemalt, siis liigub sondpall üldjuhul kõrgemale – kõige aeglasemalt tõusvate pallidega saavutatakse rekordkõrguseid. Lateksist õhupallidega on niimoodi võimalik kuni 40 km kõrgusele tõusta. Aeglasemat tõusukiirust saab lubada siis, kui ilmaennustus lubab kõigile kõrgustele vähest tuult, mis ei vii sondi liiga kaugemale ära.
- Käesoleva näite puhul valime tõusukiiruseks 5 m/s.
- Kui sondi kaal, palli kaal ja tõusukiirus on valitud, siis arvutab süsteem muud parameetrid. Antud juhul:
 - [Lõhkemiskõrgus](#) (*burst altitude*): 26 906 m
 - [Lõhkemiseni kuluv aeg](#) (*time to burst*): 90 min
 - [Palli tõstejõud](#) (*neck lift*): 1133 g
 - [Õhupalli ruumala](#) (*volume*): 1,59 m³ / 1591 l / 56,2 ft²
 - Kuna heeliumiballoonides on gaasi rõhuks 200 [bar](#), siis vajame õhupalli täitmiseks $1591 / 200 = 7,955$ ehk **8 liitrit heeliumi**.
- Kui saadud tulemused ei sobi, siis võime muuta tõusukiirust – näiteks lähtudes tõusukiirusest 4 m/s. Sellisel juhul tõuseb pall kõrgemale – 28 238 m, aga tõusmine kestab ka kauem: 118 min. Lisaks tõusuajale tuleb arvestada ka [langemise ajaga](#), mis võib 30 km kõrguselt kukkudes olla ligi 20 min.

Kui puudub võimalus lugeda heeliumiliitreid balloonis, siis võib arvutada teisiti. Võtame aluseks 10 liitri heeliumi-ballooni, arvestusega, et tühjendame selle täiesti õhupalli sisse. Sellisel juhul on kalkulaatoris otstarbekas katse-eksituse teel muuta tõusukiirust, kuni õhupalli ruumalaks näidatakse 2000 liitrit (heeliumiballoonis on gaasi rõhk 200 bar ning ballooni mahtuvus oli meil ette antud 10 liitrit). Tõusukiiruseks saame nüüd 5,98 m/s ja lõhkemiskõrguseks 25,2 km.

Kui meil on aga 500 grammise sondi ja 500 grammise õhupalli jaoks ostetud ainult 5 liitrit heeliumi, siis saame kalkulaatori abil tõusukiiruseks 1,2 m/s, mis on Eesti väiksust arvestades liiga aeglane – tuul viib sondi tõenäoliselt piiri taha.

1.2 Heelium

Õhupallide kasutamiseks on võimalik kasutada heeliumi või vesinikku. [Vesinik](#) on neist odavam, kuid selle kasutamine on ohtlik – isegi väike juhuslik leke võib kaasa tuua võimsa plahvatuse. Ohutum **heelium on küll taastumatu loodusvara**, kuid keskkonnahariduse ja teaduse eesmärkidel on selle kasutamine õigustatud. Eestis saab lateksõhupalli täitmiseks sobiliku suurusega heeliumiballooni rentida firmast Eesti AGA, veebilehel www.aga.ee.

Heeliumiballooni rendiks ei ole vaja mingit täiendavat luba. [Sondpalli](#) jaoks sobivad kas 5 l (48 €) või 10 l (75 €) ballooni, mis on oma olemuselt suhteliselt rasked rauast mahutid, mille sees on kõrge surve all heelium (Joonis 2). Ballooni tuleb peale kasutamist tagastada.

Heeliumi kasutamiseks tuleb helistada kohalikku AGA teeninduspunkti ja vajalik kogus eelnevalt broneerida. Mõistlik on rentida katse jaoks piisav kogus balloone nii, et seda märkimisväärselt üle ei jää – pooltäis ballooni eest raha ei tagastata. Kui ballooni on vaja enese käes kauem hoida, siis lisandub rentimisele kuutasu 6 € ballooni kohta.



Joonis 2. Väätsa kooli õpilane täidab lateksõhupalli, kasutades 10 liitrilist heeliumiballooni.

1.3 Õhupalli täitmine

Lateksist õhupalli **käsitlege puhaste, rasva- ja õlivabade kinnastega**. Palli määrdumine õli või rasvaga (näiteks katmata käega katsudes) võib õhupalli pinna muuta selle koha pealt hapraks, mistõttu võib pall planeeritust varem lõhkeda.

Õhupalli **täitmiseks** võib AGA-st täiendavalt juurde rentida tavalise peoõhupallide täitmise **otsiku** (kuid selle puhul võib probleemiks olla õhukindluse tagamine õhupalli täitmisel). Täitmiseks võib vaja olla kolme inimese koostööd, seda eriti tuulisema ilmaga: üks neist täidab otsikuga palli, teised hoiavad ja toetavad seda – ja kõik peaksid seejuures kindaid kandma.

Kui me eelnevalt vaatlesime, kuidas leida õhupalli täitmiseks vajamineva heeliumi ligikaudset kogust, siis õhupalli vahetul täitmisel võib lähtuda ühest kolmest võimalusest:

1. Õhupalli ja selle lasti kaalu kujundamisel on **arvestatud täis balloonidest saadava heeliumi mahuga** (näiteks 5 liitrilisest heeliumiballoonist saab (x200) kokku 1000 liitrit normaalrõhul olevat heeliumi). Sellisel juhul mingit eraldi mõõtmist läbi viia ei tule. Vajadusel saab kasutada mitut ballooni.
2. **Täitmisel mõõdetakse palli tõstejõudu**. Siin on oluline, et eelnevalt oleks arvutatud õhupalli ja selle lasti sobiva kiirusega tõstmiseks vajalik tõstejõud. Täitmisel on vaja kasutada kaalu ning kerget ja painduvat lisavoolikut võimaldavat otsikut. Enne täitma

asumist on soovitatav kogu protsess läbi mõelda – mida ja kuhu kinnitada, et kaal näitaks tõstejõudu õigesti ja et ühendusest ei tuleks lahti.

3. **Täitmisel mõõdetakse heeliumiballooni rõhku** ja selle põhjal arvutatakse õhupalli läinud gaasi hulk. Sobiliku manomeetri olemasolul on seda meetodit lihtne kasutada, kuigi praktikas kipub see mõnevõrra ebatäpseks jääma.

Kui õhupalli täitmise kohas on tugev tuul, siis võib palli paigal hoidmine olla raske. **Abivahendina** võib sellisel juhul kasutada **väga suurt lina**, millega saab täidetava (algselt tühja) õhupalli katta. Kui saabub hetk lennu alustamiseks, siis tuleb õhupall lina alt välja lasta ja paigal hoida pikema nööri abil – nii ei peksa tuul seda vastu maad, kus ta võib viga saada.

Lennutamise stardikoha valimisel veendu, et tegemist ei oleks kõrrepõlluga või muu pinnaga, mis võib palli vigastada. Vajadusel laota palli kaitseks maha koormakate. Samuti on **väga oluline**, et läheduses, eriti allatuult, **ei oleks** puid ega elektriliine.

2. Sondi korpus

Sond võib koosneda ühest või mitmest kastist, näiteks kui katset on vaja korraldada suure meeskonnaga, siis võib ühe palli külge siduda erinevate tööühmade tehtud sonde nii, nagu näidatud Joonisel 3.

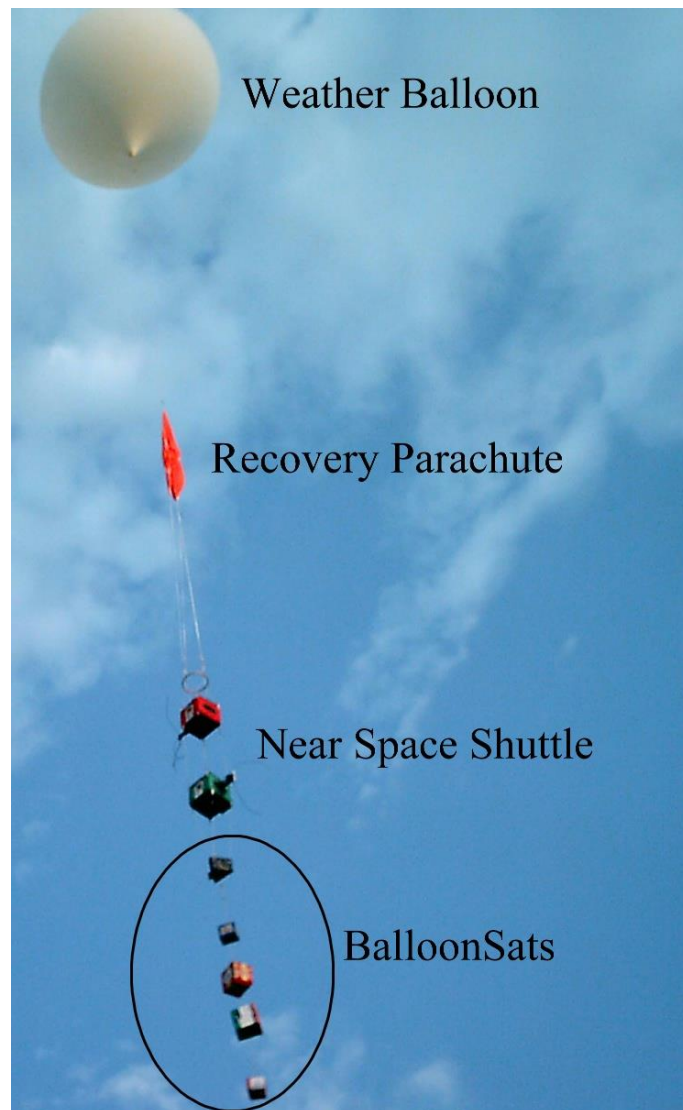
Sondi korpus tuleb kavandada piisavalt suur, et võimalik oleks lennuks vajaliku tehnika paigutamine ja kinnitamine. Jätta tuleb ka pisut lisaruumi võimalike hilisemate muudatuste jaoks. Lisaks võiks sondi teha suure kaanega, et ta avaneks väga laialt, andes sellega ruumi tegutsemiseks: asjade kinnitamiseks, sisse-väljalülitamiseks jne.

Asjade paigutamisel tuleb arvestada komponentide juhtmete pikkusega ja sobivate asukohtadega. Näiteks akud peaksid asuma kõige all sondi sees; [antennid](#) teistest komponentidest eemal; GPS antenn, [rõhu](#)-, [temperatuuri](#)- jms [andurid](#) tuleb viia koos [sumistite](#) ja [LED-tuledega](#) korpuse välisküljele; suurt voolu juhtivad juhtmed tuleb paigutada antennidest ja tundlikust elektroonikast eemale; jne. Lennutehnikat on korpuse sisse lihtne kinnitada kahepoolse teibiga, aga sellest ei pruugi piisata. Lisada võib kaablisidemeid, mis lähevad sondi seinast läbi ja millega tõmmatakse kinnitatav süsteem seina külge kinni.

Sondi kaitsekast ehk korpus võiks olla:

- kerge;
- soojapidav / isoleeriv;
- tugev, aga töödeldav – näiteks noaga lõigatav, saega saetav.

Piisava soojusisolatsiooniga korpuses ei jahtu elektroonika maha. [Stratosfääri](#) hõre õhk ei võimalda suurt soojusülekannet. Suurem jahtumine toimub kõrgusvahemikus 10...15 km, kus õhk on veel suhteliselt tihe, kuid juba külm. Väga hea materjal on soojusmaterjal, näiteks põrandapenoplast (vahtpolüstüreen), mis on piisavalt kerge ja tugev. Vähim vajalik seinapaksus on 1,5 cm, kuid sobib ka kuni 5 cm. Paksemad seinad teevad sondi liiga raskeks. Arvestada tuleb ka sellega, et sondi sees töötavad seadmed soojendavad sondi sisemust täiendavalt. Penoplastist korpuse jaoks saab küljed välja lõigata käsitsi terava noaga või väikese saega. Liimimiseks tuleb kasutada polüstüreeni jaoks sobivaid liime, sobib ka kummiliim.



Joonis 3. Võimalus lennutada korraga mitmeid erinevate meeskondade poolt tehtud pseudo-[satelliite](#) (*balloonsat*). Pildil on NASA Glenn Research Center-i arendajate sond.

Kõik korpuse küljed võiksid olla tehtud selliselt, et küljelt üle libisev nööri ei saaks sinna kinni jääda. Õhupalli lõhkemisel algab vabalangemine, langevarju ja õhupalli hoidmiseks kasutatud nöörid lühenevad tõmbe alt vabanedes ning kogunevad sondi ümber. Allapoole jõudes muutub õhk tihedamaks ja nöörid tõmmatakse sirgeks. Sellel hetkel võivad nöörid kinni jääda iga sondi seinast välja ulatuva anduri, kaamera, kaablisideme otsa, traadijupi või antenni külge. Nii juhtus näiteks Väätsa sondi esimesel lennul (Joonis 4).



Joonis 4. Väätša esimene lend oli väga edukas, sond käis kõrgel ära, leiti üles ja kaamerast sai ka pilte-videot. Pildil on punasetriibuline langevarju nõör jäänud traadi taha kinni. Nõör ei peaks tegelikult kaamera vaateväljas olema.

3. Langevari ja nõörid

Langevarju ülesanne on tuua sond peale õhupalli lõhkemist alla nii, et keegi ei saaks maa peal viga ning et korpuses asuvad seadmed jääks terveks. Kui eelarve on väga piirav, siis alla 500 g kaaluva sondi jaoks võib kasutada 25...30 cm läbimõõduga laste mänguasja langevarju, mis pidurdab sondi kukkumist piisavalt. Turvalisuse huvides tuleks sellist langevarju enne kasutamist katsetada ja veenduda, et kinnitused on tugevad ja terved. Osta saab neid langevarje suurtest Hiina internetipoodidest, kasutades otsimiseks märksõna *parachute toy* (Joonis 5), näiteks:

www.aliexpress.com/af/parachute-toy.html?SearchText=parachute+toy.

Suurema sondi jaoks mänguasja-lahendusest ei piisa. Arvestada võib, et 1 kg sond vajab 1 m laiust langevarju. Sobiliku langevarju suuruse saab leida ka näiteks kalkulaatoriga lehel:

www.randomengineering.co.uk/Random_Aerospace/Parachutes.html.

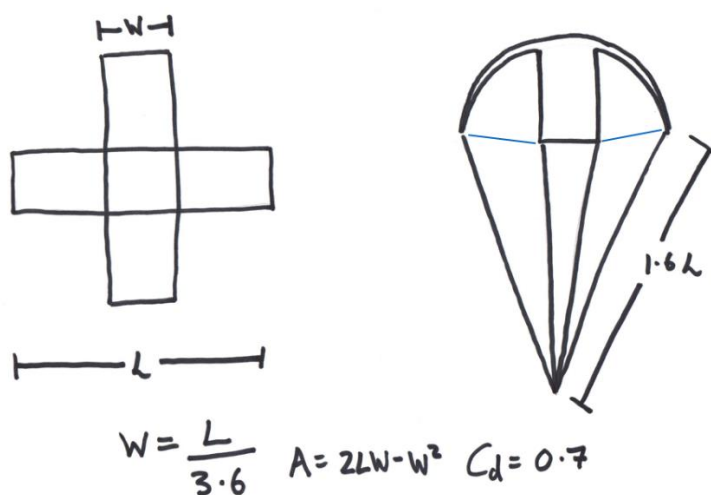


Joonis 5. Odavaim langevarju lahendus Hiinast, sobib alla 500 g sondile.

Langevarjusid saab osta, ise õmmelda või vihmavarjust teha. Langevarju õmblemiseks on lihtne töötav viis lõigata ümmargune kangas ja siduda selle servadesse nööre. Samuti võib võtta ruudukujulise kanga ja siduda selle nurkadesse nöörid. Sellisel viisil saab töötava, aga natuke ebastabiilse langevarju. Ebastabiilsus tähendab seda, et langemise ajal ei lasku sond otse, vaid hakkab kõikumise – langevarju sisse jääb õhku, mida ta ühelt ja teiselt poolt välja püüab kallutada.

Üks hea viis stabiilse langevarju tegemiseks pakuti välja UK hobitegelaste – [UKHAS](http://UKHAS.org) ehk *UK High Altitude Science* meeskonna poolt. Järgnevalt on siia kopeeritud nende pilt, kus on langevarju kokkuõmblemise skeem (Joonis 6). Nende langevarju-teemaline loeng on nähtav ka internetis:

youtu.be/X2egYw8kd3s.



Joonis 6. Langevarju tegemise skeem. Joonisel on näidatud ristikujuulise varju tegemiseks vajalik kanga pikkus ja laius. Kanga riba pikkus L peaks olema 3,6 korda suurem riba laiusest W . Samuti on ära näidatud optimaalne nööride pikkus, mis võiks olla 1,6 korda pikem kangariba pikkusest L . Joonisel on toodud ka langevarju pindala A valem ning aerodünaamiline takistustegur C_d .

Langevarju sondile kinnitamiseks on mitmeid erinevaid viise:

1. Langevari on nõoriga kinnitatud sondi alla, lahtiselt. Sondi ja langevarju vahele võib jätta mitu meetrit nõöri. Pikaks veniva lennu tõttu tuleb tähelepanu pöörata kaamera aku ja mälukaardi kestvusele.
 - a. Hea: Lihtne ja töökindel meetod, sond on langemise ajal suhteliselt stabiilne.
 - b. Halb: langevari on tõusu ajal lahti – see pidurdab tõusu. Lennu aeg võib pikeneda üle poole tunni. Selline paigutus kõigutab tõusmise ajal sondi ja videopilt kaamerast tuleb seepärast kehv.
2. Langevari on seotud palli ja sondi vahele. Täpsemalt: langevari on sondi ülemisse otsa kinnitatud ja langevarju ülemisse keskmisse tippu on kinnitatud õhupall. Nõör sondist langevarjuni võib olla mitu meetrit pikk, samuti võib mitu meetrit pikk olla nõör langevarjust õhupallini.
 - a. Hea: lihtne kinnitamise meetod ei takista tõusu, avaneb langemisel automaatselt. Seda meetodit kasutatakse regulaarselt Ühendkuningriikides, kus müüakse ka tipukinnitusega langevarjusid;
 - b. Halb: on oht, et õhupalli lõhkemisega ei lenda õhupall tükkidena laiali ja raske õhupalli narts jääb langevarju keskele kinnitatud nõöri otsa rippuma. See võib langevarju efektiivsust vähendada või teha kukkumise ebastabiilseks (kõikuvaks).
3. Langevarjule võib ehitada automaatse avaja – väljaviskaja. Kasutada võib väikestele droonidele tehtud elektroonilisi iseavanevaid langevarjusid (netist otsides *drone safety parachute*), kuigi need võivad hinnalt kalliks jääda. Aktiivselt avanevat langevarju võib proovida ka ise teha, nii saab arendada mehaanika ja elektroonika oskuseid.
 - a. Hea: kõik on kasutaja kontrolli all – langevari ei takista tõusu ning pidurdab langemist täpselt siis, kui kasutajal vaja.
 - b. Halb: keerukas ehitada, et see kindlasti õigel ajal avaneks. Soovitav on elektroonselt kontrollitav aktiivse vedruga välja viskav süsteem. Passiivsed süsteemid, mis „peaksid“ avanema kukkumisel, kui tuul kõvemini puhuma hakkab, ei pruugi töötada ning nende töökindlust on raske katsetada.

Langevarju sondile kinnitamiseks ja ka õhupalli sondile kinnitamiseks tuleb valida kerge, piisavalt pikk (kuni 10 meetrit) nõör, mis suudaks kanda 5 kg raskust. Pika nõöri korral võib maa pealt kätte saada ka sondi, mille langevari on puu otsa kinni jäänud. Arvestada tuleb ka lennuohutusega: võimaliku kokkupõrke puhuks propellerlennukiga ei tohi nõör suuta kanda suuremat raskust, kui 22 kg (vastasel juhul võib lennuki propeller kerida nõöri ümber oma telje nii, et mootor seiskub).

4. Raspberry Pi pardaarvuti koos *Pi in The Sky* mooduliga

4.1 Kinnitamine, mälu, temperatuur

[Raspberry Pi](#) pardaarvutile, mille küljes on [Pi in The Sky](#) (PITS) [raadiosüsteem](#), tuleb lisada piisavalt suur mälukaart. Kui arvuti teeb fotosid ja videot, siis peaks mälukaardi maht olema vähemalt 16 GB (arvestage, et katse võib planeeritust kauem aega võtta). Väiksema kaardi korral võib ruumipuudusel osa andmeid kaduma minna. Töötavat süsteemi tuleb katsetada, simuleerides kõige halvemaid olusid – jätke süsteem mitmeteks tundideks õue tööle ja vaadake, mis vead ilmnevad.

PITS mooduli toiteks on kõige mugavam kasutada mooduliga kaasa pandud patareiplokki. Ploki jaoks on vaja nelja AA tüüpi patareid ning lennuks on soovitatav kasutada mõne tuntud firma

värsked [liitumpatareisid](#). Maapealset tavakatsetamist tasub läbi viia odavamate leelispatareidega. Patareisid ärge katse jaoks taaskasutage, sest sellega seate ohtu uue katse tulemused.

PITS-i patareiplokk tuleks täiendavalt kaablisidemega sondi põhja külge kinnitada. Niiviisi on kindel, et sondi maale kukkumisel ei tule rasked asjad sondis lahti, ei rebita juhtmeid ega lõhuta midagi ära.

4.2 Raadioantenn sondil

Võimalikud [antennid](#) on täpsemalt kirjeldatud juhendi [Raadioside](#) peatüki jaotises [3.4 Sondi antenn ja selle ehitamine](#). PITS-i jaoks on sobilik 430 MHz [veerandlaineantenn](#) või [vertikaalne poollaine dipool](#). Sirge antenni sondile kinnitamiseks võib lisada toetuspulga, mille materjal ei moonuta raadiolaineid – sobilik on puit (näiteks bambusest grillvarras), plastik või klaaskiud (aga mitte süsinikkiud või metall). Antenn tuleb sondi välisküljele kõvasti kinnitada vertikaalselt sondi normaalasendi suhtes, kuid nii, et see ei jääks väljaulatuvalt turritama. Vajadusel tuleb antenni jaoks sondi kesta välisküljele uuristada kanal ning see peale antenni asetamist kinni teipida.

4.3 Maajaam

4.3.1 Arvuti ja selle lisatoide

Sondpalli katse pikkus on tavapäraselt 5 kuni 10 tundi arvuti sisse lülitamise hetkest kuni hetkeni, mil arvutit enam tarvis ei ole. Kui õhupallikatse jälgimiseks kasutatakse sülearvutit, siis on väga tõenäoline, et arvuti enese aku saab enne katse lõppu tühjaks. Seega on otstarbekas leida viis **arvuti tööaja pikendamiseks**, kasutades selleks kas sobilikke akupankasid, UPS-seadmeid või [inverterit](#), mille abil auto elektrisüsteemi 12 voldine alalisvool muundatakse 220 voldiseks vahelduvvooluks. Sõltumata arvuti tööaja pikendamiseks valitud süsteemist, tuleb **üle kontrollida kõigi sõlmede töökindlus**: kas akupanga mahtuvusest piisab; kas inverter suudab ära teenindada arvuti vooluvajaduse; kas auto aku on heas korras; ja kas autol on mõni pistik, mis töötab ka siis, kui auto süüde on välja lülitatud.

4.3.2 Suundantenn või tundlik antenn

PITS süsteemi, selle [LoRa](#) versiooni või muude [amatöörside](#) süsteemide signaali vastuvõtuks saab kasutada [Yagi-Uda](#) (ka: Yagi) tüüpi antenni (Joonis 7). Mõistlik on kasutada kas **5- või 7-elementiga Yagi antenni**. Tegemist on [suunatundliku](#) (antenni tuleb signaali vastuvõtuks sondi poole suunata) antenniga, mis võimaldab suunamisel mõningast eksimisruumi. Näiteks 9-elementiga Yagi antenn võib osutuda sondpalli [raadioside](#) jälgimiseks liiga suunatundlikuks (ebatäpse suunamise puhul ei pruugi sondi [signaali](#) enam üles leida).

Yagi antenni võib valmiskujul osta (otsides märksõnu *430 MHz Yagi antenna*, aga ka ise teha (vt [Raadioside](#) peatüki punkti [4.3 Maajaama antenn ja selle ehitamine](#)). Viimasel juhul tuleb silmas pidada, et elementide sobilikud pikkused ja vahekaugused sõltuvad otseselt vastuvõetava signaali omadustest ([sagedus](#), võimsus). Antenni ehituse kavandamisel on võimalik kasutada interneti-kalkulaatoreid, näiteks:

www.changpuak.ch/electronics/Yagi_uda_antenna_DL6WU.php

ja õpetusi, näiteks:

yo4hnp.wordpress.com/2013/04/05/portable-uhf-4-elements-Yagi-antenna/.



Joonis 7. Yagi antenn 5 elemendiga.

Kuna õhupalli lend kestab tunde, siis ei ole mõistlik antenni kogu see aeg käes hoida. Mõnusam on antennile lisada kolmjala kinnitus ja kasutada antenni hoidmiseks tripoodi (Joonis 8). Antenni suunda tuleb katse käigus muuta, kuna tuuled liigutavad sondi eri kõrgustel erinevas suunas. Yagi antenni ise tegemisel võiks antenn jääda võimalikult kergeks ja olla varustatud kerge ja mugava käepidemega.



Joonis 8. Yagi antenni saab panna kolmjalele, kui sellele lisada kinnitus antenni jaoks. Pildil on näidatud kanalisatsioonitorust tehtud tasakaaluga kinnitus, kuhu saab raskema Yagi antenni lihtsalt sisse torgata.

4.3.3 Tehnika ilmastikukindluse tagamine

Katse ettevalmistamine on pikk protsess, sisaldades muuhulgas eelnevat kooskõlastust [Lennuametiga](#) (nädal või kaks enne katset), mistõttu on ebapraktiline seda ära jätta Eesti oludes suhteliselt tavalise nõrga vihma tõttu. Sellest tulenevalt on oluline, et katsetes kasutatav tehnika (sülearvuti, lisaenergia tagamise süsteem, vms) oleks võimalikult ilmastikukindel ning täiendavalt kaitstud ilmastikutingimuste (vihm, tuul, ekraani lugemist segav päike) eest näiteks piisavalt suure telgiga. Telgi asemel on võimalik kasutada ka laua külge kinnitatavat päikesevarju.

4.3.4 SDR raadio

Arvuti ja antenni vahele on vaja lisada [SDR raadio](#), mis digitaliseerib antennist saadava nõrga analoogsignaali. Mõned USB liidesega SDR raadiod on oma olemuselt suhteliselt odavad digiteleviseiooni vastuvõtjad, kuid nende tundlikkusest ei piisa kaugelt sondilt tuleva nõrga signaali püüdmiseks.

Käesolevas juhendis on näitena kasutatud **FunCube Dongle** SDR raadiot, mis on sondpalli katse jaoks piisavalt tundlik. Kasutada on võimalik ka teisi SDR raadioid, näiteks tootja **nooelec** raadio **nesdr smartee**, mida kasutab ka TalTech-i satelliidimeeskond:

www.noelec.com/store/sdr/sdr-receivers/nesdr-smartee-sdr.html.

SDR raadio ühendub antenni-kaabli külge enamasti SMA pistikuga ja kaabel antenni külge kas SMA või N või BNC ühendusega. Õigete pistikutega kaabli tegemiseks on vaja erilisi näpitsaid, mistõttu on mõttekam lasta kaabel teha selleks spetsialiseerunud firmal, näiteks www.tehnotur.ee. Kaabli tellimisel tuleks kaasa võtta nii SDR raadio kui ka antenn, siis saab kohapeal kindlasti õiget tüüpi pistikud õigetpidi külge. Kaabel ei tohiks olla liiga pikk, sest pikas kaablis raadiosignaal sumbub. Sobilik kaabli pikkus välitingimustes töötamiseks on 3 kuni 4 meetrit. Kui töötada majas, kus antenn on eraldi katusele viidud, siis pikema kaabli (näiteks 10 kuni 20 m) tuleb valida kallim kaabel, mis signaali vähem summutab. Loe antennide ja antennikaablite kohta juurde peatüki [Raadioside](#) jaotistest [Sondi antenn ja selle ehitamine](#) ning [Maajaama antenn ja selle ehitamine](#).

5. Sondi leidmine

5.1 Lisaträkker

Kui sondpall on õnnelikult maandunud, tuleb ta üles leida. Üldjuhul saab leidmiseks kasutada sondis olevat PITS süsteemi, kuid selle võimalike häirete puhuks peaks sondi pardal kindlasti olema täiendav sõltumatu süsteem, mis suudab tuvastada oma asukohta GPS-i abil ja seda edastada. Lihtne selline süsteem on SIM-kaardiga GPS-GSM [trækker](#), millega saab suhelda mobiiltelefoni kaudu. Kasutada võib ka sõidukite jälgimiseks mõeldud trakkereid, mis on samas suurus ja kaalus. SIM trækkerid jagunevad laias laastus kahte kategooriasse:

1. **Teaduskatseks sobimatud seadmed**, mida on võimalik tellida suurtest veebipoodidest (Aliexpress, Banggood, EBay) ja mille hinnaklass jääb alla 15 €. Need trækkerid on üldjuhul vähese täpsusega, väikese töökindlusega ja vähese aku tööajaga. Kui mingil põhjusel on otsustatud sellist seadet kasutada, tasub seda katsele eelnevalt põhjalikult järele proovida.

2. **Piisava töökindlusega seadmed**, mille hinnaklass on 30 kuni 50 €. Sellisel seadmel on netis (valdavalt positiivsed) ülevaated, mõned neist seadmetest on ka veekindlad. Üks selliseid seadmeid on näiteks *TKSTAR GPS GSM Tracker*.



GPS-GSM trækkeri kasutamiseks on täiendavalt vaja SIM kaarti, mis saab kõnesid vastu võtta ning millel on lubatud saata välja suuremas koguses (sadu) SMS sõnumeid. Trækkeri soetamisel tuleb veenduda, et selle aku võimaldaks seadet ka külmades tingimustes kasutada mitu päeva.

SIM kaarti kasutava GPS-GSM trækkeri kasutamisel tuleb täiendavalt arvestada, et kuigi Eesti on mobiilileviga suhteliselt hästi kaetud, leidub siiski piirkondi, kus levi on nõrk või puudub. Sellisel juhul on sondi otsimisel abiks PITS süsteemi [raadiosaaja](#) või, kui eelarve lubab, Iridiumi satelliitsidesüsteemi kasutav [satelliittelefoniga GPS trækker](#). Satelliittelefoniga GPS trækkeri hind on ligikaudu 150 € ja ühe-aastase sideliitumise tasu on samuti 150 €.



5.2 Lisaideed sondi leidmiseks

Sondi lihtsamaks tuvastamiseks keerulise nähtavusega kohas, näiteks võsas, võib talle lisada väikeseid vidinaid:

- [Sumisti](#) – Raspberry Pi digiväljundisse võib lisada väheste voolutarbega sumisti (kuni 16 mA, arvestusega, et Pi väljundseadmete summaarne voolutarve jääb alla 50 mA). Pi kosmoseprogrammi koodis peab sellisel juhul olema osa, mis peale sondi langemise algust aktiveerib aeg-ajalt sumisti.
- Vilkuvad [LED-tuled](#) lihtsustavad sondi leidmist hämaras ja öösel. Neid võib sondi väliskülgedele paigutada palju ja neid võib juhtida otse Pi-ga, aga ka sõltumatu süsteemiga.
- Bluetooth-trækker aitab sondi leida kuni 100 m raadiuses. Sellise trækkeri leiab suurtest netipoodidest (võtme-hoidjad, lemmiklooma trækkerid). Valitud trækkeri kasutamise sobilikkuses tuleb veenduda katsele eelneva testimisega.



6. Kaamerad

6.1 Millele tähelepanu pöörata

Sõltumata kosmoselennu jäädvustamiseks valitud kaamerast tuleb enne katse läbiviimist kaamerat katsetada, lastes sellel filmida kogu aja, mis võib katsele kuluda.

PITS süsteem võimaldab piltide tegemiseks või filmimiseks kasutada Raspberry Pi kaamerat. Enne kosmoselendu tuleb sellise kaamera fookus hästi paika seada, keerates (üldjuhul) kaamera objektiivi, kuni õuest võetud pilt jääb terav.

Raspberry Pi kaamerateist laiemat vaatenurgaga on GoPro taolised [seikluskaamerad](#), mis võimaldavad pildile saada korraga nii taevast kui ka maad. Seikluskaamerate vaatenurk võib olla üle 170 kraadi.



Seikluskaamera valikul on oluline kaamera võime töötada välise akupangaga. Kaamerate sisse ehitatud akud tagavad kaamerale tavaliselt kuni kahe tunni tööaja – sellest jääb kosmosekatse puhul väheks, vajalik on, et kaamera suudaks järjest filmida 5 kuni 6 tundi või ka kauem. Muidugi peab kaameras olema selleks piisavalt suure mahtuvusega mälukaart. Mälukaardi ja aku säästmiseks võib vajaduse korral kasutada madalamaid videoresolutsioone, näiteks Full HD (1920x1080).

Mõnedel seikluskaameratel on režiim, mis teeb video filmimise ajal kindla ajavahemiku tagant pilte. Seda režiimi on soovitatav kasutada, sest eraldi võetud pildid on oluliselt parema kvaliteediga, kui videost väljalõigatud kaadrid.

6.2 Aku ja mälukaart

Seikluskaamera vajab eraldi mälukaarti. Üldjuhul piisab lennust Full HD video filmimiseks 32 GB või 64 GB mälukaardist. Võib kasutada ka suurema mahuga kaarte, kui kaamera neid toetab. Kindlasti tuleb proovida, kui kaua suudab kaamera teid huvitava resolutsiooniga videot järjest salvestada.

Kaamera akumahtuvuse suurendamiseks on üldjuhul võimalik kasutada akupanka, mis peaks olema ühest küljest võimalikult kerge, kuid teisalt tagama pikaks filmimiseks vajaliku mahtuvuse, seda ka jahedamates oludes. Vaja on veenduda, et akupanga väljundpistik ühilduks kaamera laadimissisendiga ja et kaamera suudaks salvestamise ajal akupanka kasutada. Kaamera sisseehitatud akut ei saa üldjuhul ilma vajalikke teadmisi omamata iseseisvalt vahetada.

6.3 Pildi stabiliseerimine

Stabiilseks filmimiseks peaks piisama sondi õigest kinnitamisest õhupalli ja langevarju külge. Stabiilse tõusu tagamiseks tuleks õhupall kinnitada sondi ülemisele küljele ja langevari lahtiselt alusküljele. Mõlema kinnitamine sondi ülaossa paneb sondi kiiresti kõikuma vasakule-paremale.

Alternatiivne ja samas lihtne langevarju kinnitamise viis, mis üldjuhul tagab stabiilse videopildi, on langevarju kinnitamine õhupalli ja sondi ülaosa vahele selliselt, et langevari avaneb peale palli lõhkemist ja sondi langema hakkamist. Selline lahendus võimaldab ka sondi kiirema tõusu.

Videopildi stabiilsus sondi langemisel oleneb peamiselt langevarju kujust ja sellest, kas langevari avaneb langemisel korralikult. Kinnine kuppel-langevari pidurdab küll hästi langemise hoogu, aga paneb sondi (ja videopildi) küljelt küljele kõikuma. Stabiilse liikumise tagamiseks soovitakse langevarju tippu keskele teha auk, mille läbimõõt võib olla 1/10 kuni 1/5 langevarju läbimõõdust. Eelnevalt kirjeldatud [UKHAS-e jooniste järgi tehtud langevari](#) peaks langemisel stabiilne olema.

Pöörlemise vältimiseks sondi tõusul võib kasutada ka aktiivseid meetodeid. Väikese tõusukiiruse tõttu peavad stabilisaatorid soovitud efekti saavutamiseks olema väga suured. Kompaktsem oleks kasutada Arduino baasil arendatud välise propelleritega pöörlemise peatamise süsteemi ning katsetada võib ka hooratust.

7. Meeskonna mugavused

Eriti talvisel ajal tuleb suurt tähelepanu pöörata, et kõik meeskonnaliikmed oleks soojalt riidetunud ning et neil oleks igaks juhuks kaasas vahetusriided, eriti –jalatsid. Kuna katse võib kujuneda pikaks, on mõttekas kaasa võtta piisavalt sööki ja jooki. Kuum tee võib abiks olla isegi suvel.

Sondpalli katse staabiks võiks kaasa võtta suurema telgi, kantava laua (Joonis 8) ja mõned väikesed matkatoolid. Nii saab kogu tehnika ja tööriistad asetada lauale, lihtsustades seega sondi ettevalmistamist ja tööd arvutiga.

Katse alustamisel on mugav kasutada koormakatet. Selle peal saab väljas tehnikat kokku panna ja õhupalli täita, kaitstes samas õhupalli teravate okste ja maapinnal oleva niiskuse ja mustuse eest. Kindlasti asetage nurkadesse ja servadesse raskused – väljas on alati mingi tuul, mis võib ootamatult tugevneda.

Stratosfäärilennu organiseerimine

Rauno Gordon

1. Lennutamise koha ja aja valik

Lennu planeerimist tuleb alustada vähemalt 2 nädalat enne [sondpalli](#) starti. Selline ajavaru on vajalik eelkõige [Lennuameti](#) koostöölastuse saamiseks, aga ka sobilike stardikohtade valimiseks ja lennumeeskonna moodustamiseks.

Võimalikke stardikohti peaks olema mitu, erinevates Eesti paikades ning nende seast selle õige valimiseks tuleb lähtuda tuulte suundade prognoosist. Tuuled võivad [sondi](#) viia ükskõik, mis suunas kaugele: 100 – 200 km. Tuulte prognoose tuleks jälgida enne starti pidevalt, sest ilm võib suhteliselt järsku muutuda. Üks hea koht sondpalli [lennutrajektoori](#) prognoosimiseks on predict.habhub.org/.

Üldjuhul on kõige turvalisem valida sondpalli stardiks koht Eesti keskel. Koht peaks olema eemal tihedama liiklusega lennuväljadest ning peaks olema piisavalt privaatne, et pingelistel hetkedel ei peaks suhtlema ootamatult saabunud uudistajatega. Startimiseks on sobilik suur lage plats, sest tuul võib startinud sondpalli viia kiiresti lähedal olevate puudesse või elektriliinidesse.

2. Vabalennu õhupalli koostöölastus Lennuametiga

Lennuameti jaoks liigituvad siin juhendis kirjeldatud sondpallid „vabalennu õhupallideks“. Seega tuleb vähemalt üks (1) nädal enne lendu teavitada Lennuametit soovist lennutada „vabalennu õhupalli“. Vastavasisulise kirja võib kirjutada nende aadressile: ecaa@ecaa.ee. Näitena toon oma vestluse Lennuametiga, mis kulges 2017. aastal niimoodi:

mailto: ecaa@ecaa.ee
vabalennu õhupalli taotlus

Tere,
Soovin lennutada vabalennu õhupalli:
Aeg: 28.oktoober, lennu algus kell 11.00, kestus 2-3 tundi
Lennu alguse koht: Keava, Rapla maakond
Pall: 500g lateks pall, täidetud 10L [heeliumi](#) balloonest
Sond: 500g vahtplast karp tehnikaga
Tõusukiirus: 5 m/s
Nööri katkemise tugevus on 10kg (kindlasti alla 22kg).
Palun andke teada, kui lubate lennata. Ja palun öelge ka vanemlennujuhi telefon, kuhu helistada lendu alustades.

ECAA vastus:

Käesolevaga koostöölastab Lennuamet Teie poolt 28.10.2017 Keavast Rapla maakonnast kerge mehitemata vabalennuõhupalli (sondi) taevasse laskmise järgmistel tingimustel:

- Kerge mehitemata vabalennuõhupalli lennutamine toimub 28.10.2017 ajavahemikus 11:00-14:00 kohalik aeg (08:00-11:00 UTC).
- Kerge mehitemata vabalennuõhupalli lähtestamiseks **tuleb eelnevalt saada luba Lennuliiklusteeninduse AS vahetuse vanemalt telefonil 6 258 254 vähemalt 10 minutit enne** planeeritavat lähtestamist. Loa küsimisel tuleb edastada järgnev informatsioon: algusaeg, arvestuslik kestvus, kõrgus, palli suurus ja värvus ning muu vahetuse vanema poolt küsitud informatsioon.

- Vahetuse vanemal on õigus vastava loa andmisest keelduda, kui lennuliiklusolukord või ilmastikutingimused seda ei võimalda.
- Kerge mehitamata vabalennuõhupalli käitamise eest vastutav isik on kohustatud teavitama vahetuse vanemat telefonil 6 258 254 koheselt, kui õhupalli lennutamine on lõppenud.
- Mehitamata vabalennuõhupalli tuleb käitada nii, et see kujutaks endast võimalikult väikest ohtu isikutele, varale või teistele õhusõidukitele.

Mehitamata vabalennuõhupalli käitamise eest vastutav isik on Rauno Gordon (...kontaktandmed...).

Käesolev kooskõlastus kehtib 28.10.2017.

Tervitades

.....
 Vaneminspektor
 Lennuliiklusteeninduse ja lennuväljade osakond

www.ecaa.ee | Lõõtsa 5, Tallinn 11415
 Lennuamet

Lendu alustades võib parasjagu käimasolevat lennuliiklust jälgida ka Flightradar-i vahendusel: www.flightradar24.com/58.81,24.49/8.

Kui kõik on stardiks valmis ja tehniliselt võiks lennuga alustada, siis **tuleb helistada vanemlennujuhile**, et küsida (10-ne minuti pärast algavaks) stardiks luba. On juhtunud, et lendu palutakse lükata edasi 10 minutit või rohkem.

3. Ilmaprognoos – pilvisus/vihm/lumi ja tuuled

Hea oleks stardiks valida kuiv, vähese tuulega ja mitte eriti külm ilm. Vihm võib kahjustada kasutatavat tehnikat, eriti maapealset. Tuul raskendab starti ja stardiks valmistumist ning väga külma ilmaga jahtuvad sondi akud liigselt maha ja nende töötamise aeg võib oluliselt lüheneda. Kõigi nende probleemidega tasub igaks juhaks mõnevõrra ennetavalt tegeleda: varuda telk, teha sond veekindla(ma)ks, hoida sondi enne starti täiendavalt soojustatuna (juba töötaval sondil ei ole lisasoojustust üldjuhul enam vaja, sest tarbitav elektrienergia muutub piisavalt soojuseks).

Igal juhul tuleb riske võtta ja 1-2 nädalat enne lendu ära otsustada kindel päev, aeg ja koht, kasutades abivahendina HABHUB lehe lennutrajektoori ennustust: predict.habhub.org/. Lisaks saab suhelda ka ilmateenistusega, kellelt on võimalik väikese tasu eest tellida sondi tõusu trajektoori ennustamist. Näitena toon oma suhtluse ilmateenistusega 2017. aastal:

To:

<teenused@envir.ee>

Subject: sondpalli lennuprognoos, laupäev 2.sept

Tere,

Soovin sellist teenust: meteoroloogilise sondpalli lennutrajektoori arvutamine, kui on teada lahtilaskmise koht, aeg ja tõusukiirus.

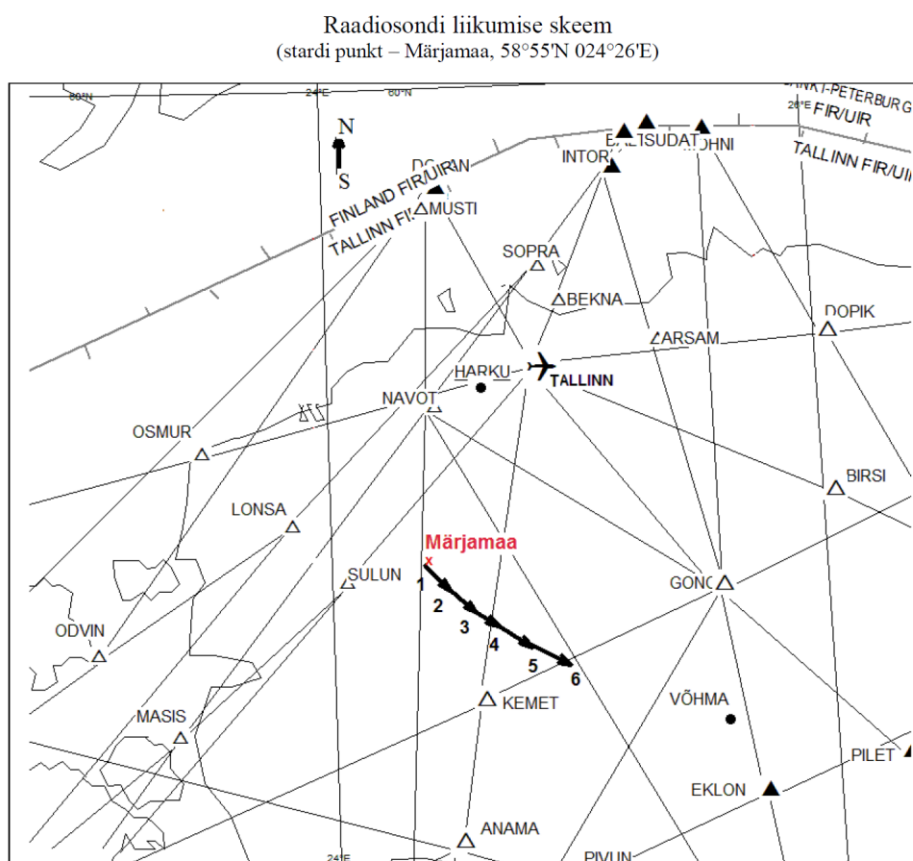
Lahti laskmise koht: Märjamaa

Tõusukiirus: 5 m/s

Lahti laskmise aeg: laupäev 2.09.2017 – kell 11.00

Pall võib tõusta 30 km kõrgusele, seetõttu oleks väga tore, kui teil oleks tuulte andmeid ka kõrgemale, kui 11km.

ENVIR vastas skeemiga:



Kuupäev: 06.05.2017

Väljalaskeaeg: 07.00 UTC

Sünoptik: Potisnaja

Jn.	Kõrgus		Tõusmise aeg (min)
1	FL050	1.5 km	5
2	FL100	3.0 km	10
3	FL180	5.5 km	18
4	FL240	7.3 km	24
5	FL300	9.2 km	30
6	FL390	11.8 km	39

4. Tehnika katsetamine

Sondpalli lennutamine on selles mõttes riskantne tegevus, et kui selle tehnika lendamise ajal ei tööta, võib sond kaduma minna. Jäädavalt. Selle tõttu on vaja tehnika töökindlusega seotud küsimused läbi mõelda ja harjutada nende loovat lahendamist (väljaspool töötoa mugavusi). Soovitav on sondi tööd enne starti korduvalt järele proovida: jätke sond tundideks õue nii, et kõik kaamerad ja asjad töötavad. Sealt saate teada, kui kaua asjad päriselt välitingimustes töötavad – milliste seadmete akud saavad tühjaks või milliste seadmete mälukaardid täis liiga vara. Esimestel lendudel kasutage võimalikult odavat (kuid samas piisavalt toimivat) tehnikat, sest oht tehnika kaduma minekuks on siis suurem.

5. Lennupäeval tegutsemine

Tehke kindlasti kontrollnimekiri asjadest ja tegevustest, mis peavad stardiks korras olema. Hea oleks, kui sondpalli stardil oleks üks meeskonnaliige, kellel on vaid üks ülesanne: kontrollida kõikide vajalike tegevuste sooritust ja tehnika häälestust. Järgnevalt on toodud mõned näidisküsimused:

1. Mõelge läbi, kas kõik eeldused stardiks on olemas:
 - a. Ilm lubab?
 - b. [Lennuluba](#) on olemas?
 - c. Tehnika on olemas, õigesti häälestatud, töötab, akud laetud?
2. Tehke logistika- ja ajaplaan: mis ajal plaanite sondpalli lendu lasta. Seejärel tehke tagurpidi ajaarvestus: millal plaanite kohale jõuda, millal kokku saada inimestega jne...
3. Tegevuste järjekord kohapeal on umbes selline:
 - a. Jõuate kohale ja kui tahate kogu sündmuste käigu jäädvustada, siis võtke kõigepealt kolmjalad välja ja pange sarivõttelekaamerad käima.
 - b. Laud ja tool, vajadusel telk. Koormakate alla, tehnika välja.
 - c. Maajaama tehnika käima.
 - d. Sondis olev tehnika käima, sidekontroll.
 - e. Kõne vanemlennujuhile – „soovime alustada lendu 10 min jooksul“.
 - f. Palli täitmine 10 min jooksul.
 - g. Sondis olevad kaamerad käima, sond kokku, nõõridega pall ja [langevari](#) sondi külge kinnitada ning sondpalli startimine.
4. Võite sondpalli [suundantennidega](#) jälgida stardikohal kuni [side](#) kadumiseni.
5. Võite aga ka kohe järgi sõita:
 - a. Piirkonda, mida predict.habhub.org näitab prognoositud maandumiskohana – kuigi õhupalli lõhkemise täpset kõrgust ja asukohta ei tea paraku ette.
 - b. Kui auto katusel on pidevalt töötav [antenn](#) ja kõrvalistuja jälgib (ohutusreegleid järgides!) raadiosidet, siis saab väga elava ja spontaanse seikluse.

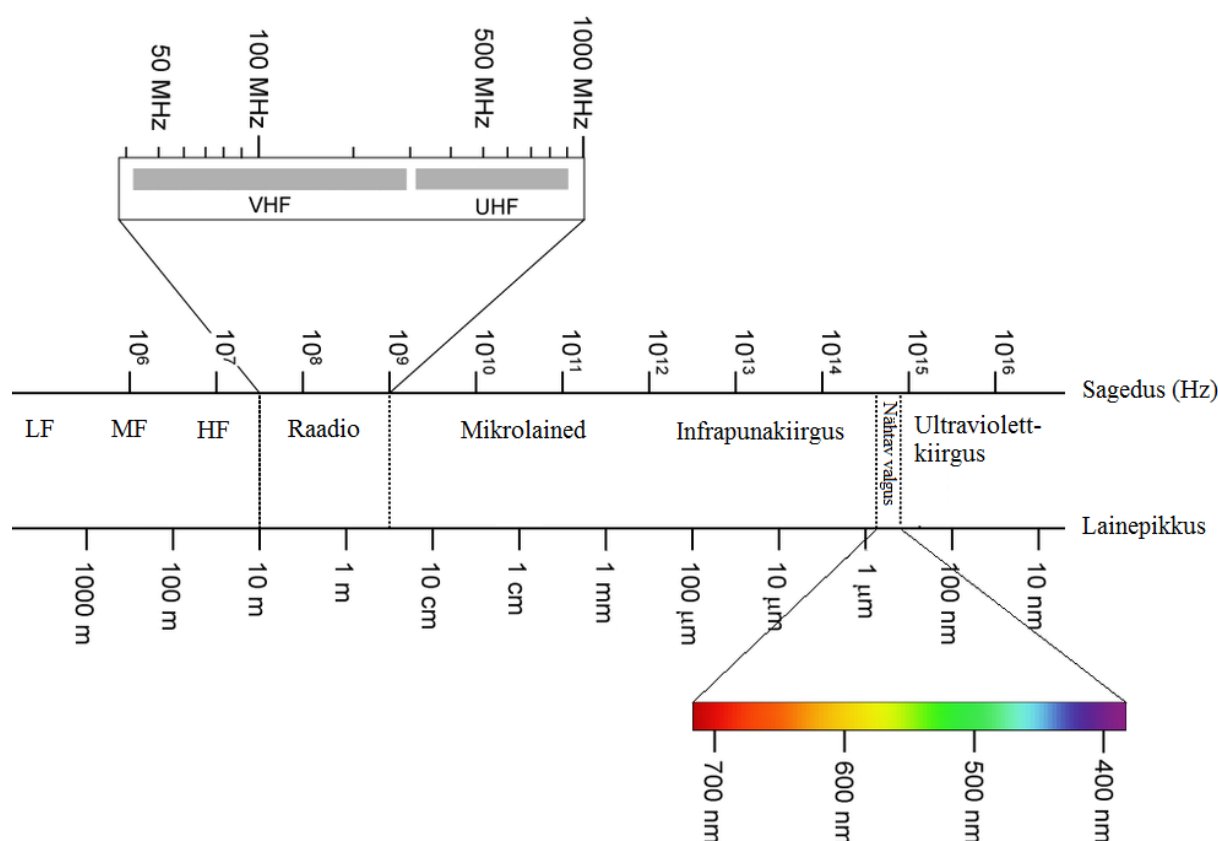
Väga oluline on **meeles pidada**, et kui mingi asi on väga **valesti** (näiteks on õues lumetorm või oluline [andur](#) ei toimi korrektselt), **siis tuleb start edasi lükata**.

Raadioside

Eiko Priidel

1. Elektromagnetlainetest raadiosaatja ja -vastuvõtjani

Raadiosideks nimetatakse informatsiooni edastamist elektromagnetlainete abil. Elektromagnetlained levivad läbi keskkonna, mis võib olla näiteks vaakum, õhk, puit, vesi jne. Keskkond mõjutab oluliselt elektromagnetlainete levi – [signaal](#) sumbub erinevates keskkondades erinevalt, hajub, muudab suunda, peegeldub. Elektromagnetlaine levi omadused on seotud [sageduse](#) ja [lainepikkusega](#) (Joonis 1), st erineva sagedusega raadiolained sumbuvad, peegelduvad ja painduvad eri keskkondades erinevalt. Raadiosideks kasutatakse väga laiades piirides varieeruvaid sagedusi, alates mõnekümnest hertsist (nt side allveelaevadega) kuni giga- ja terahertsideni ulatuvate sagedusteni (nt kosmoseside ja radarid). Kommertsiaalses raadiosides kasutatavad sagedused jäävad tavaliselt vahemikku mõnest megahertsist kuni mõne gigahertsini.



Joonis 1. Elektromagnetlainete jagunemine sageduse/lainepikkuse järgi.

Vaakumis levib elektromagnetlaine valguse kiirusega ehk ligikaudu 300 000 km/s. Lisaks sagedusele võime kasutada ka lainepikkuse mõistet – kaugust kahe samas faasis võnkuva punkti vahel. Lainepikkus näitab, kui kaugule levib elektromagnetlaine ühe võnkeperioodi jooksul. Lainepikkuse λ (m) saame arvutada jagades laine levimiskiiruse v ($3 \cdot 10^8$) laine sagedusega f (Hz):

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Kommertskasutuses olevate raadiosageduste sagedusribad on toodud Tabelis 1.

Tabel 1. Kommertskasutuses olevate raadiosageduste sagedusribad.

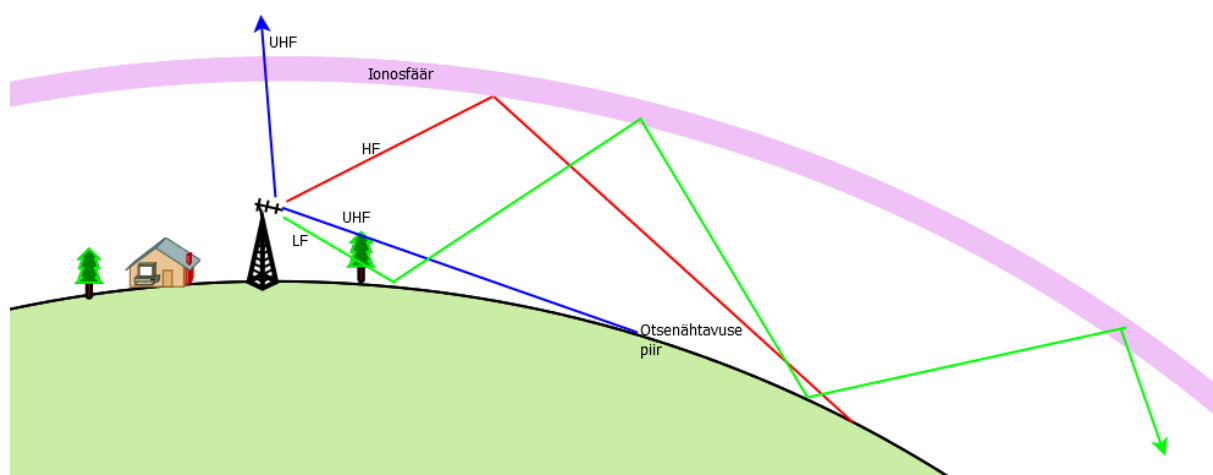
Sagedusriba	Lainepikkus		Sagedus		Kasutusvaldkond
	alates	kuni	Alates	kuni	
LF (<i>low frequency</i>) pikklaine	1 km	10 km	30 kHz	300 kHz	AM-raadio
MF (<i>medium frequency</i>) kesklaine	100 m	1000 m	300 kHz	3 MHz	AM-raadio
HF (<i>high frequency</i>) lühilaine	10 m	100 m	3 MHz	30 MHz	AM-raadio
VHF (<i>very high frequency</i>) meeterlaine	1 m	10 m	30 MHz	300 MHz	FM-raadio, televisioon
UHF (<i>ultra high frequency</i>) detsimeeterlaine	10 cm	1 m	300 MHz	3 GHz	televisioon, mobiilside, WLAN, BT

Pikk- ja kesklained levivad maapinna ja ionosfääri vahel, peegeldudes maapinnalt ning ionosfääri kihtidelt (Joonis 2). Seetõttu levivad nad ka maapinna kumeruse taha ning tungivad maapinna sisse, võimaldades ülipikki sidekaugusi (kümned tuhanded kilomeetrid) ja sidepidamist näiteks kaevandustega.

Lühilained enam maapinnalt ei peegeldu, vaid neelduvad maapinnas, kuid peegelduvad veel ionosfääri kihtidelt. Ülipikki sidekaugusi see sagedusdiapasoon ei võimalda, kuid sõltuvalt ionosfääri omadustest on võimalik side pidamine ionosfääri peegelduste kaudu tuhandete kilomeetrite kaugusele.

Meeterlained ning detsimeeterlained ionosfääri kihtidelt ei peegeldu ning maapinna kumeruse taha oluliselt ei paindu ehk toimub otsekiireline levi, mistõttu sidekaugus on vaid natuke suurem kui otsenähtavus.

Detsimeeterlained läbivad ionosfääri juba väga väikeste kadudega, mistõttu kasutatakse kosmosesides just detsimeeter-, sentimeeter- ja millimeeterlaineid.



Joonis 2. Elektromagnetlainete levimadused.

Kuna pikk-, kesk- ja lühilaine[saatjad](#) vajavad väga suurt [antenni](#), siis portatiivsetes seadmetes on sidepidamiseks kasutusel kõige sagedamini meeter- ja detsimeeterlaineala sagedused.

Maksimaalne sidekaugus detsimeeterlainealas ja veel kõrgematel sagedustel otsekiirelise levi korral on määratud antenni kõrgusega, reaalne sidekaugus sõltub suuresti saatja võimsusest, vastuvõtja tundlikkusest, müradest, antennide omadustest ning looduslikust keskkonnast (mäed, mets, niiskus jne) ning võib olla oluliselt lühem kui otsenähtavus. Otsenähtavuse kauguse r (km), juhul kui vastuvõtuantenn asub maapinnal, sõltuvalt saatja antenni kõrgusest h (m) saab arvutada valemiga:

$$r = 3.57 \cdot \sqrt{h}$$

Elektromagnetlaine iseenesest informatsiooni edasi ei kanna, informatsiooni edastamiseks tuleb elektromagnetlaine (kandevsagedus) mingit parameetrit vastavalt edastatavale informatsioonile muuta (moduleerida). Raadiosaatjad edastavad informatsiooni, muutes kandevsageduse amplituudi, sagedust või faasi või keerulisema modulatsiooni puhul mitut parameetrit korraga. Modulatsiooni meetodina on üldjuhul kasutusel amplituud-, sagedus- või faasimodulatsioon. Vastuvõtja omakorda demoduleerib signaali, taastades niiviisi informatsiooni. Saatja modulatsioonimeetod peab kokku sobima vastuvõtja demodulatsioonimeetodiga, st kui saatja kasutab amplituudmodulatsiooni, siis ei saa me vastuvõtjas kasutada sagedusdemodulaatorit.

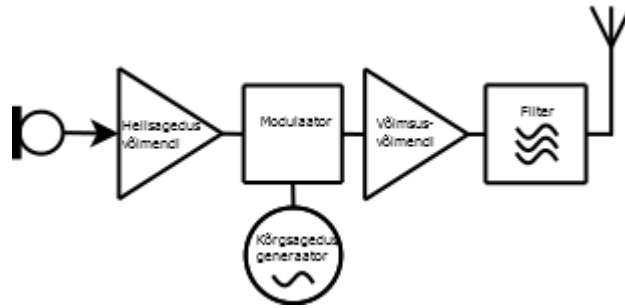
Raadiosaatja väljundis oleva kõrgsagedusvoolu energia muundamiseks elektromagnetlaineteks ning nende kiirgamiseks soovitud suunas on vaja antenni. Raadiovastuvõtja puhul muundab antenn ruumis leviva elektromagnetlaine kõrgsagedusvooluks, mis suunatakse kaabli kaudu vastuvõtja võimendisse. Sama antenni omadused jäävad samaks sõltumata sellest, kas antenn töötab saate- või vastuvõtuantennina. Saatja puhul antenn kiirgab elektromagnetlaineid ja vastuvõtu puhul püüab ruumist elektromagnetlaineid, muundades need elektriliseks signaaliks. Antenni mõõdud on otseses sõltuvuses lainepikkusest, mida me sidepidamisel kasutame ehk antenni sagedus-karakteristik peab sobima meie töösagedusega. Seega mida madalamat sagedust sidepidamisel kasutatakse, seda suuremate mõõtmetega on antenn. Kui antenni sageduskarakteristik ei sobi saatja sagedusega, ei suuda antenn efektiivselt kõrgsagedusvoolu elektromagnetlaineteks muundada. Selle tulemusena ei saa saatja kogu võimsust ära kasutada ning sidekaugus kahaneb. Ka vastuvõtu puhul ei muunda antenn siis elektromagnetlaineid kõrgsageduslikuks signaaliks efektiivselt ning vastuvõtja tundlikkus kahaneb, mis omakorda tähendab lühemat sidekaugust.

Antenne võib iseloomustada paljude erinevate parameetrite kaudu nagu [suunadiagramm](#), töösageduse vahemik, polarisatsioon jne. Seetõttu on ka antennide tüüpe väga palju – erinevatel antennitüüpidel on erinevad omadused ja parameetrid optimeeritud. Ei eksisteeri sellist antenni, mis sobiks tööks kõikidel tingimustel ja vastaks kõikidele vajadustele. Sõltuvalt vajadustest tuleb valida ka õige antennitüüp. Näiteks kitsa suunadiagrammiga antenn, mis kiirgab energia kitsa vihana ühes suunas nagu taskulamp, erineb oluliselt antennist, mis nii nagu lihtne lambipirn peab kiirgama kõikides suundades samapalju energiat.

Raadio teel ühesuunaliselt (simpleksside) informatsiooni edastamiseks ja vastuvõtuks piisab ühest raadiosaatjast (*radio transmitter*) ja ühest vastuvõtjast (*radio receiver*). Kahesuunalise side korral peab mõlemas sidepunktis olema nii saatja kui ka vastuvõtja. Seadet, mis võimaldab nii saata kui ka vastu võtta, nimetatakse [transiiveriks](#) (*radio transceiver*). Sellisel juhul saame eristada kahte sidepidamisviisi – [pooldupleks](#) ehk üks pool saadab ja teine võtab vastu, misjärel pooled vahetuvad, ning [täisduplekssidet](#), kus mõlemad pooled saavad saata ja vastu võtta samal ajal. Dupleksside lisab sidesüsteemile keerukust, täisdupleksside korral on sageli vaja ka kahte eri sidepidamise sagedust. Kui sageduste erinevus ei ole suur, piisab saate/vastuvõtujaama kohta ühest antennist. Igal juhul peavad saatjad ja vastuvõtjad olema omavahel ühtesobivad, st kasutama sama sagedust ja modulatsiooni.

Saatja (Joonis 3) ülesandeks on muundada sisendsignaal, milleks võib olla digitaalne või analoogsignaal, kõrgsageduslikuks raadiosignaaliks, mis antenni kaudu elektromagnetlainena

välja kiiratakse. Kõige lihtsamal juhul koosneb raadiosaatja kõrgsagedusliku signaali generaatorist, modulaatorist ning võimendist ja väljundfiltrist.

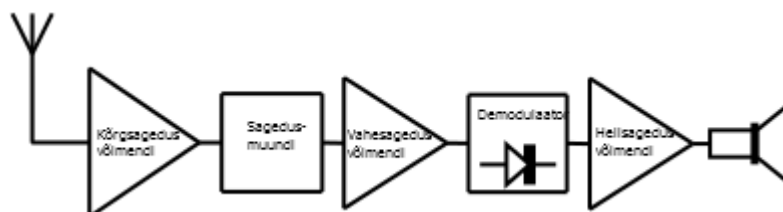


Joonis 3. Raadiosaatja.

Kõrgsagedusgeneraator määrab sageduse, millel sidet peetakse (kandevsageduse). Tavaliselt ei ole see sagedus konkreetse saatja tüübi puhul laias vahemikus reguleeritav, st saate- või vastuvõtumoodulit valides tuleb arvestada, milline on töösagedus ja kontrollida, et saatja/vastuvõtja sellel sagedusel töötab. Modulaatori ülesandeks on kõrgsagedusliku signaali moduleerimine – informatsiooni lisamine kandevsagedusele. Selleks manipuleeritakse ühte või mitut signaali parameetrit – sagedust, amplituudi või faasi. Kõige lihtsam ja odavam on kasutada amplituudmodulatsiooni (AM), kuid samas on see modulatsioonitüüp ebaefektiivne ja kõige vähem häirekindel. Pigem tuleks eelistada sagedusmodulatsiooni (FM). Edasi võimendatakse moduleeritud kandevsagedust võimsusvõimendiga ning filtreeritakse signaali enne antenni juhtimist. Filtreerimine on väga oluline, et mitte segada teiste sidesüsteemide tööd. Saatja väljundvõimsus valitakse sõltuvalt soovitud töökaugusest.

Üldjuhul on saatja kasutamiseks vajalik litsents ja sagedusluba. Erandiks on saatja kasutamine litsentsivabadel sagedustel (sagedusloata sagedused), kuid seejuures tuleb arvestada väljundvõimsuse ja töösükli piirangutega. Sõltuvalt sagedusest jääb üldjuhul väljundvõimsuse piirang vahemikku 10-25 mW ning töösükkel mitte üle 10%. Arvestades levi iseärasusi ning sobilike antennide mõõtmeid, on [stratosfäärilendudeks](#) sobilikud sagedusvahemikud 433,05-434,79 MHz ning 863-868 MHz. Täpsemat infot konkreetsetel sagedustel lubatud väljundvõimsuste ja modulatsiooni laiuste ning töösükli kohta leiab [Eesti raadiosagedusplaani](#)st. Samuti tuleb silmas pidada, et saatja oleks sertifitseeritud ja lubatud kasutada tööks Euroopa regioonis. Nende nõudmiste eesmärk on tagada, et madala kvaliteediga raadiosaatjad ei segaks teiste sidesüsteemide tööd.

Raadiovastuvõtja ülesanne on muundada antenni poolt vastu võetud elektromagnetlained digitaalseks või analoogväljundsignaaliks, millest on edasi võimalik saadetud informatsioon kätte saada. Väga lihtsustatud kujul koosneb raadiovastuvõtja tavaliselt kõrgsagedusliku signaali võimendist, sagedusmuundist, vahesagedusvõimendist, demodulaatorist ning madalsagedusvõimendist.



Joonis 4. Raadiovastuvõtja.

Kõrgsagedusvõimendi on vajalik antennist tuleva nõrga signaali võimendamiseks. Kui vastuvõetav signaal on väga nõrk, nt signaalid [satelliitidelt](#), kasutatakse lisaks vastuvõtjast

eraldiseisvat madala müraga [eelvõimendit](#) (LNA – *low noise amplifier*), mis on otstarbekas ühendada võimalikult lühikese kaabliga antenni külge. Eelvõimendi väljundist tuuakse signaal edasi pikema kaabliga raadiovastuvõtjasse. Peale signaali võimendamist muundatakse kõrgsageduslik signaal madalama sagedusega vahesagedussignaals, kuna madalamaid sagedusi on lihtsam võimendada ning filtreerida. Edasi demoduleeritakse vahesagedussignaal demodulaatoris ning saadakse madalsageduslik signaal, milles sisaldub saatja poolt saadetud digitaalne või analoogsignaal. Informatsiooni ja andmete kättesaamine demoduleeritud signalist toimub juba arvutis ning sisaldab endas signaali dekodeerimist, veaparandust ning saadetud parameetrite eraldamist andmepakettidest.

2. Raadioside regulatsioonid ja head tavad

Eestis on raadiosageduste kasutamine reguleeritud raadiosagedusplaani ja järelvalvet teostab Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve amet. Täpsemat informatsiooni leiab leheküljelt www.ttja.ee/et/ettevottele-organisatsioonile/sideteenused/raadioside/raadiosageduste-kasutamise. Raadiosagedusplaan määrab, milliseid sagedusi, mis otstarbeks, millistel tingimustel ja milliste lubadega või lubadeta võib kasutada. Sõnade side tarbeks pakuvad eelkõige huvi 433 MHz ja 868 MHz vabakasutuse sagedusvahemikud. Täpsemalt määratakse sageduste kasutustingimused Euroopa Komisjoni Rakendusotsusega (EL) 2017/1483 (eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2017/1483/oj?locale=et). Sagedusplaan ning kasutustingimused muuduvad pidevalt – tuleb järgida kõige uuemat sagedusplaani ning rakendusotsust.

Raadiosaatjate kasutamisel tuleb rangelt jälgida, et:

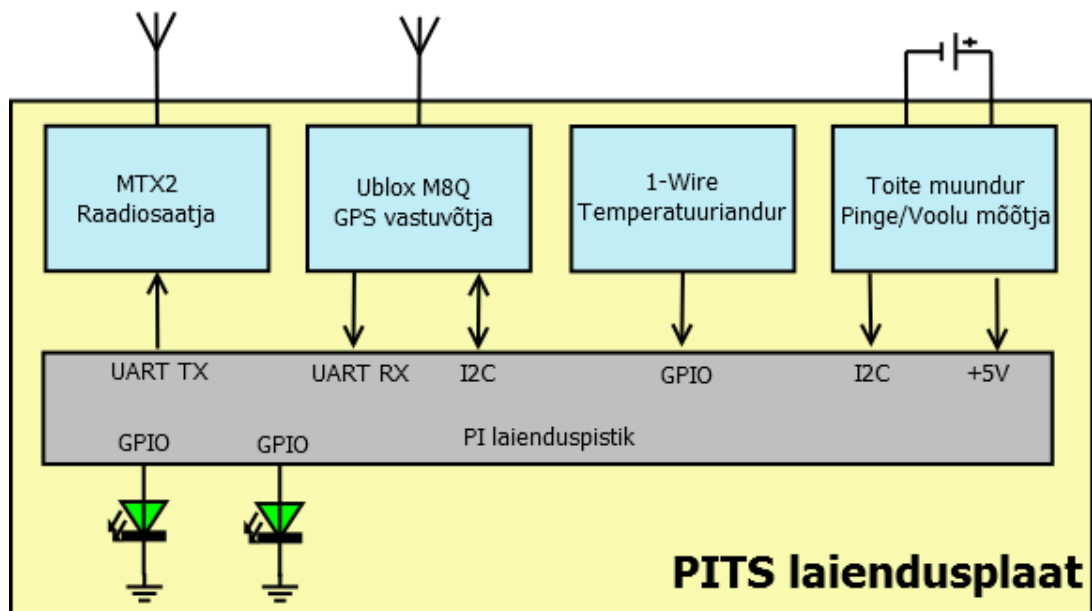
- raadiosaatja kasutab sagedust, kus sagedusluba ei ole nõutud;
- raadiosaatja vastab standardile ETSI ja seda on lubatud kasutada Euroopa Liidus;
- raadiosaatja võimsus ei ületa lubatud piire;
- järgitakse töösükli piiranguid (pidev edastus on lubatud piiratud sagedustel ja piiratud võimsusega).

Vabad sagedused on suhteliselt koormatud ning selleks, et kõik huvilised saaksid raadioetri ressursi kasutada, tuleks raadiosaatjaid kasutada vastutustundlikult. Saatevõimsus tuleks valida nii suur kui vajalik ning mitte kasutada alati maksimaalset lubatud võimsust. Peaks olema veendunud, et saatja on töökorras, vastab standarditele ning ei kiirga lisaks töösagedustele ka teistel sagedustel või laiemas ribas kui lubatud. Saatjat ei tohiks hoida pidevalt töös – raadiokanalit tuleks ajaliselt kasutada nii palju kui vajalik ja nii vähe kui võimalik.

3. Sõnde saatja

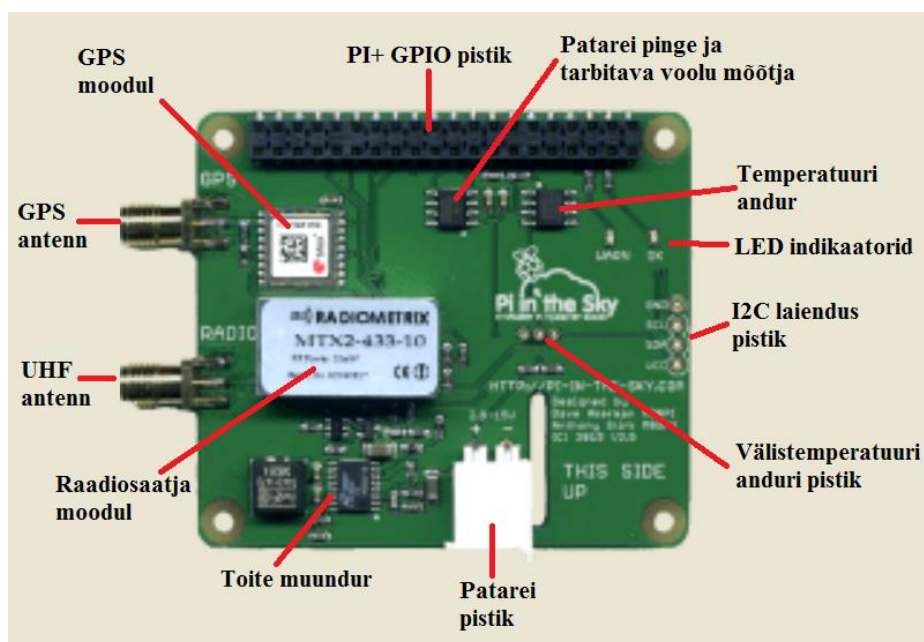
3.1 PITS raadioside moodul

Stratosfäärilendude raadiosideks on [Raspberry Pi](#) platvormile võimalik lisada erinevaid raadioside lahendusi. Üks paremaid ja enamlevinuid on PITS moodul ([Pi in The Sky Board](#)), välja töötatud firma Uputronics poolt. PITS moodulisse (Joonised 5 ja 6) on integreeritud lisaks raadiosaatjale ka GPS vastuvõtja, [temperatuuriandur](#) ning efektiivne [toitemuundur](#).



Joonis 5. PITS mooduli skeem.

PITS ühendatakse Pi laiendusplaatikusse ning PITS moodulile võib omakorda lisada teisi laiendusplaate nagu näiteks [LoRa](#) või [APRS](#) moodulid. Moodul võimaldab mõõta ka patareide pinget ning tarbitavat voolu ja ühendada süsteemi lisaks erinevaid [andureid](#) nt välistemperatuur, [õhurõhk](#), niiskus, ultraviolettkiirguse mõõtja jne, kasutades [1-Wire](#) või [I2C](#) laiendusplaatikuid. Plaadil olev toitemuundur võimaldab efektiivsemalt ära kasutada patareide energiat – muundur hoiab süsteemi töös patareide pingevahemikus 15 V kuni 2,7 V. Pi enda toitemuundur nii laias vahemikus ei tööta ning võib suure saatja võimsuse juures ka üle kuumeneda. Paremini on kasutada Pi toiteks PITS-i, nii saame paremini ära kasutada patareide energiat ning hoiame süsteemi kauem töös.



Joonis 6. PITS laiendusplaat.

PITS moodulil on kaks antenni ühendamise pistikut, millest üks on [UHF](#) antennile andmete maajaama saatmiseks ning teine GPS antenni jaoks. GPS moodul võimaldab määrata geograafilist asukohta ja kõrgust (töötab kuni 50 km kõrguseni). GPS antennina saab kasutada nii passiivset kui

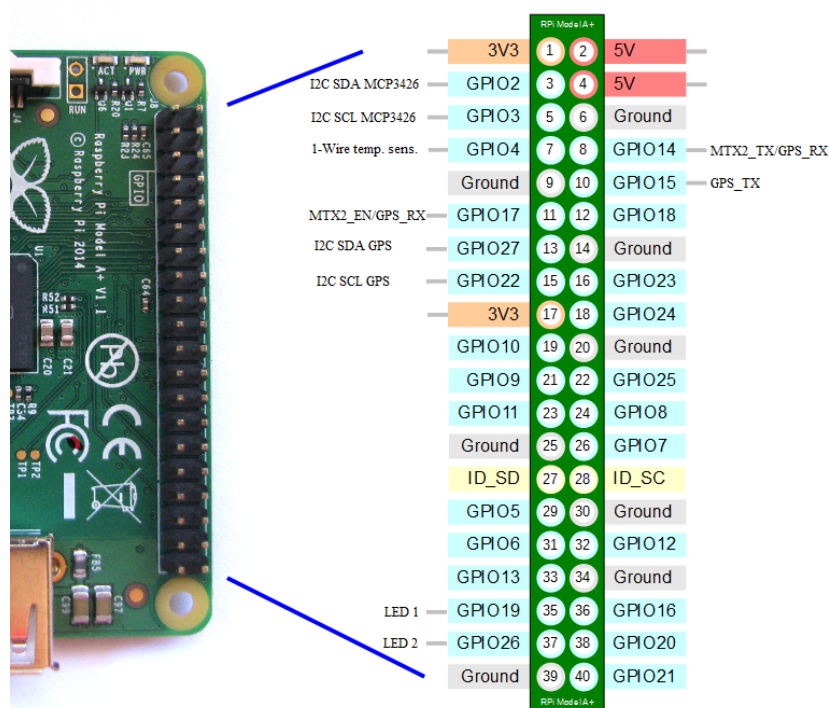
ka [aktiivantenni](#). Aktiivantenni kasutamine on vajalik siis, kui signaal on väga nõrk. Stratosfäärilendudel seda probleemi ei ole, kuna GPS satelliitide ette ei jää signaali takistavaid objekte ning patareide eluea pikendamiseks oleks mõistlikum kasutada passiivset antenni.

Moodulil on ka kaks [LED indikaatorit](#) – OK ja Warn. **OK** LED vilgub, kui GPS vastuvõtja otsib satelliitidelt tulevat signaali ning jääb põlema, kui asukoht on määratud. **Warn** LED vilgub, kui GPS ei ole suutnud määrata asukohta ja kellaaega. GPS-i käivitamisel võib esialgne asukoha määramine võtta aega mitu minutit.

PITS kasutab raadiosaatjana Radiometrixi moodulit MTX2, mis töötab sagedusvahemikus 433,875-434,65 MHz ning kasutab sagedusmodulatsiooni, maksimaalne andmeedastuskiirus on 10 kb/s. Saatja väljundvõimsus on 10 mW. Andmeid edastatakse saatjamoodulile jadaliidese kaudu. Sama liidese kaudu toimub ka saatja konfigureerimine.

Pi kasutab PITS-ga suhtlemiseks erinevaid andmesiine (Joonis 7), suhtlemiseks on kokku kasutusel 11 erinevat signaali: GPS mooduliga suhtlemiseks on I2C ja jadaliides, temperatuurianduri ning LED-de tarbeks [GPIO](#) liinid ning ping ja voolu mõõtmiseks I2C liinid. Saatjamoodul on ühendatud Pi-ga jadaliidese ning GPIO liinide kaudu.

Andmeside protokollina on kasutusel [UKHAS protokoll](#), mis võimaldab vastuvõtjaama siduda [UKHAS jälgimisvõrguga](#). Andmed saadetakse saatjast 7- või 8-bitiste ASCII sümbolitena ([RTTY](#) – *Radioteletype*). Piltide ülekandmiseks tükeldatakse JPEG pildid 256-baidisteks pakettideks, iga paketi saadetakse lisaks informatsioon saatja, pildi ja paketi ID kohta ning pildi resolutsioon. Piltide saatmisel on kasutusel ka veaparanduskoodid, mis võimaldavad parandada pakettide saatmisel tekkinud vigu.



Joonis 7. Raspberry Pi andmesiin PITS-i kasutuses.

Saadetava paketi struktuur on järgmine:

```
$$CALLSIGN,sentence_id,time,latitude,longitude,altitude,optional
speed,optional bearing,optional internal temperature*CHECKSUM\n
```

3.2 APRS pakettside võrk

Lisaks [UKHAS võrgustikule](#) on stratosfäärilende võimalik jälgida ka [APRS](#) (*Automatic Packet Reporting System*) võrgustiku kaudu. APRS võrgustik toimib [amatöörraadiotel](#) põhineval süsteemil ning on mõeldud pakettsideks amatöörjaamade vahel. APRS võrk ei ole otseselt loodud seadmete ja sõidukite jälgimiseks, kuid analoogselt UKHAS võrgustikuga on standardset andmeedastusprotokolli kasutades võimalik [sondi telemetriaandmeid](#) vastu võtta võrgustiku vastuvõtjaamade kaudu isegi siis, kui sond on enda vastuvõtjaama ulatusest väljaspool. APRS sagedused on standardiseeritud ja neid ei ole vaja erinevalt UKHAS võrgust enne lendu kokku leppida, võrk kasutab andmete saatmiseks keerukamat protokoll – AX.25. Modulatsiooniks on [AFSK](#), mis on erinev UKHAS võrgus kasutatavast [FSK modulatsioonist](#). Seetõttu ei võimalda PITS moodul APRS võrku ilma APRS saatjamoodulita (Joonis 8) kasutada.



Joonis 8. Raspberry Pi laiendusplaat HX1 (APRS saatjamoodul).

APRS võrgus on võimalik kasutada ka VHF sagedusriba, mis laiendab oluliselt vastuvõtjaamade arvu. VHF sagedusriba kasutamine eeldab paljudes riikides [amatöörjaama](#) tööloa ning saatja kasutamine õhus võib olla keelatud. UHF sagedusribas on lubatud litsentsivabade sageduste kasutamine saatja maksimaalse võimsuse piirangut järgides. APRS võrk toimib globaalselt, erinevalt UKHAS võrgust on pidevalt töös kümned tuhanded maajaamad, seda võrgustikku kasutades on võimalik jälgida globaalselt ka väga pikki stratosfäärilende, mille käigus õhupall ei lõhke, vaid jääb hõljuma päevadeks. APRS võrku kasutavad näiteks ka veesõidukid AIS (*Automatic Identification System*) süsteemis aluste identifitseerimiseks ja asukoha määramiseks. APRS-i infot saab vaadata interneti leheküljel [aprs.fi](#).

3.3 LoRa

Kolmas alternatiiv andmesideks on kasutada LoRa standardit. LoRa kasutab andmete edastuseks [CSS](#) (*Chirp Spread Spectrum*) modulatsiooni ning vajab seetõttu vastavat [transiiverit](#). LoRa moodul on saadaval PITS laiendusplaadina (Joonis 9). Moodulil võib olla üks või kaks transiiverit. Kahe transiiveri puhul on võimalus pidada sidet kahel erineval sagedusel.

LoRa eelised RTTY ja APRS-i ees on suurem tööraadius ning kiirem andmeside. Erinevalt PITS mooduli raadiosaatjast võimaldab LoRa lisamoodul kahe-suunalist andmesidet, st me võime sondile saata käsklusi. UHF sagedusribas võib LoRa mooduleid kasutada kahes sagedusvahemikus: 433,05-434,79 MHz ja 863-868 MHz. 434 MHz vahemikus on võimalus kasutada pidevat andmeedastust, töötükkel 100%, kuid kanali laius ei tohi ületada 25 kHz ja maksimaalne võimsus 10 mW. See võimaldab pidevat andmeedastust, kuid kuna LoRa sobilik modulatsioonilaiused oleks 20,8 kHz, siis jääb andmeedastuskiirus suhteliselt madalaks.



Joonis 9. Raspberry Pi LoRa raadiosidemoodul.

Suurema kanali laiusel oleks võimalik saavutada suuremaid andmeedastuskiirusi, kuid töötuskiir piirang oleks sellisel juhul 10%. 868 MHz sagedustel on võimalik kasutada 500 mW võimsusega saatjat kanali laiusel 200 kHz, kuid töötuskiir 2,5%. Suurem võimsus lubaks saavutada oluliselt pikemaid sidekaugusi, kuid töötuskiir piirangu tõttu jääks andmeedastuskiirus madalaks. 868 MHz sagedustel oleksid ka antenni mõõtmed kaks korda väiksemad võrreldes 434 MHz sagedustega.

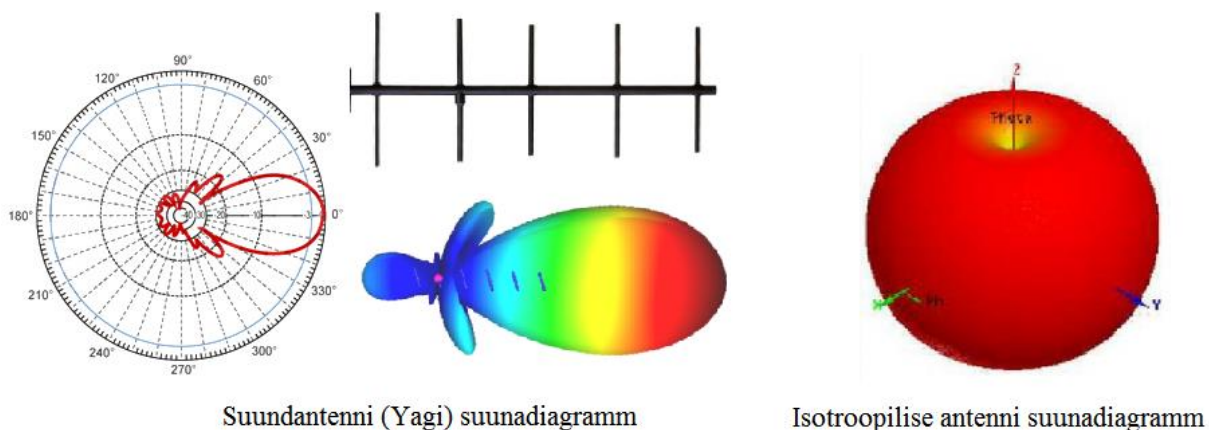
Vastuvõtjana on võimalik kasutada samasuguseid LoRa transiivereid ning ehitada vastuvõtujaam Pi baasil ilma PC-ta. Raspberry Pi kaudu saab ka telemeetria-andmeid edastada UKHAS võrku.

3.4 Soni antenn ja selle ehitamine

Soni antennide valikul tuleb arvestada seda, et sõltuvalt kasutatavast sagedusest ning suunadiagrammist on antennide mõõtmed väga erinevad. VHF-i puhul on antenni mõõtmed suurusjärgus 0,5-1 meeter, UHF 434 MHz puhul 16-35 cm ja 868 MHz korral 8-16 cm. On võimalik teha ka väiksemamõõdulisi antenne, kuid nende efektiivsus jääb oluliselt madalamaks. Selliste antennide kasutamine tuleb kõne alla lühematel siledistsididel ja soni puhul, kui signaali tahetakse vastu võtta ka rohkem kui 100 km kauguselt, ei ole nende kasutamine otstarbekas.

Antennide üheks oluliseks parameetriks on suunadiagramm (Joonis 10), mis näitab, kui efektiivselt ja millistes suundades antenn kiirgab. Suunadiagramme võib esitada kahemõõtmelisel tasapinnal või kolmemõõtmelise visulisatsioonina.

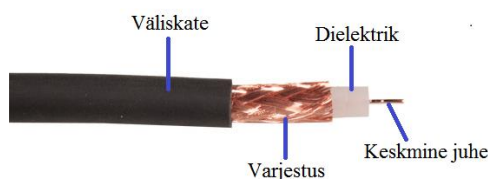
Näiteks [suundantenni](#) suunadiagramm kahemõõtmelise esitusena ja [isotroopilise antenni](#) (kiirgab kõigis suundades samaväärselt) sfääriline suunadiagramm kolmemõõtmelise:



Joonis 10. Suunadiagrammide näiteid.

Sondi antenni suunadiagramm peaks olema sfäärilise kujuga, kuna sond pöörleb ja sondi asend ja asukoht maajaama suhtes ei ole statsionaarne, vaid muutub sõltuvalt tuulest. Seetõttu ei ole sondil võimalik kasutada suundantenne, mis võimaldaksid oluliselt paremat sidekvaliteeti ning töökaugusi. Isotroopilise antenni puhul ei sõltuks signaali tugevus sondi liikumisest. Isotroopiline antenn on ideaalne antenn, tegelikkuses sellist antenni ei ole võimalik valmistada. Ligilähedaselt sfäärilise suunadiagrammiga antenn on võimalik valmistada, aga nende ehitus on suhteliselt keeruline.

Sondi lennu ajal piisaks ka poolsfäärilisest suunadiagrammist, kuna elektromagnetlaineid peab kiirgama ainult maa suunas. Poolsfäärilise suunadiagrammiga antenn on üks lihtsamaid valmistada, kuid see peab asetsema sondi all suunaga maa poole. Kui sond maandub, on tema asend maapinnal ettearvamatult, tõenäoliselt kukub sond antenni peale ning poolsfäärilise suunadiagrammi puhul võib juhtuda, et antenni asend jääb selliseks, et vastuvõtja suunas on levi väga nõrk. Suurema sondi puhul on võimalik antenn mahutada sondi sisse, sellisel juhul on maandudes antenn kaitstud ning antenni asend vastuvõtuks soodsam. Tüüpiline poolsfäärilise suunadiagrammiga antenn on [veerandlaine antenn](#) ehk varrasantenn. Sellisel antennil on kiirgav element veerandi lainepikkuse pikkune traat. Kui me kasutame sagedust 434 MHz, on antenni pikkus 0,25 lainepikkust ehk umbes 16,5 cm. Veerandlaine antenn vajab tööks maapinda – kuna sond on maapinnast kaugel, tuleb luua kunstlik maapind kolme või nelja radiaalsuunalise traadiga, mille pikkus on 0,28 lainepikkust. Antenni elementide arvutamisel tuleb arvesse võtta, et signaal levib vasktraadis umbes 5% aeglasemalt kui valguse kiirus. Ilma kunstliku maapinnata on antenni efektiivsus madal ning suunadiagramm moonutatud – sondi elektroonika ja ühendustraadid hakkavad täitma maapinna rolli ning kuna nende suurus ning asend antenni suhtes ei ole optimaalne, ei saa antenn efektiivselt töötada. Sellist lahendust, kus antennina kasutatakse veerandlaine pikkusega varjest puhastatud [koaksiaalkaabli](#) (Joonis 11) juppi ilma radiaaltraatideta (kunstlik maa puudub) võib kasutada lühematel sisedistantsidel, kui signaali tugevus on hea. Maksimaalne sidekaugus tuleb sellisel juhul iga sondi puhul erinev ja sõltub sondi muu elektroonika ning juhtmete paigutusest sondi sees. Koaksiaalkaablist antenni valmistamiseks tuleb kaablilt maha koorida väline [isolatsioon](#) ning varjestus veerandlaine ulatuses.



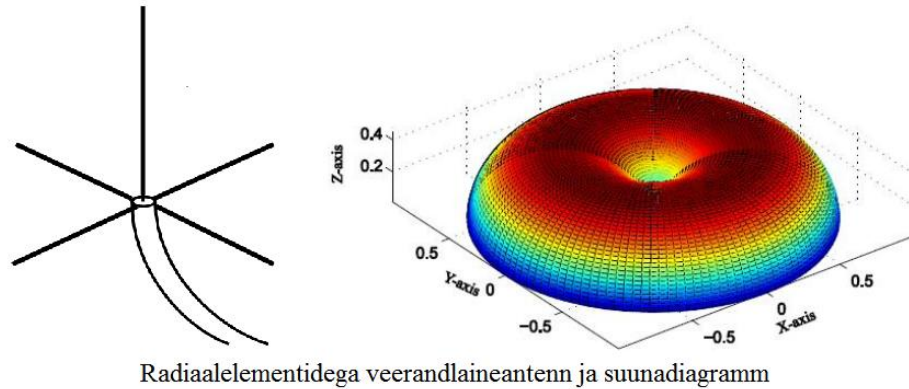
Joonis 11. Koaksiaalkaabli ehitus.

Isolatsiooni ja varje eemaldamiseks tuleb noaga ettevaatlikult lõigata katki esmalt isolatsioonikiht ning see kaablilt maha tõmmata, seejärel lõigata varjestus läbi nii, et ei kahjusta dielektrikut ning seejärel varje dielektrikult maha tõmmata. Tulemus peaks välja nägema nagu Joonisel 12.



Joonis 12. Koaksiaalkaablist antenni näide.

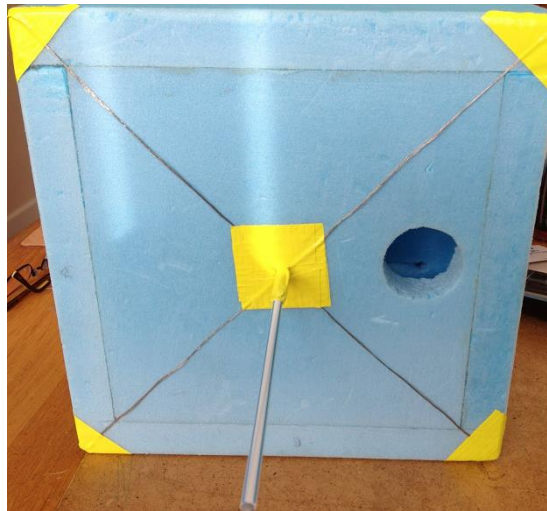
Nagu eelnevalt öeldud, ei tööta selline antenn efektiivselt. Tulemuse parandamiseks tuleks lisada „kunstlik maa“ ehk neli radiaalset elementi, mis joodetakse koaksiaalkaabli varje külge nagu näha Joonisel 13.



Radiaalelementidega veerandlaineantenn ja suunadiagramm

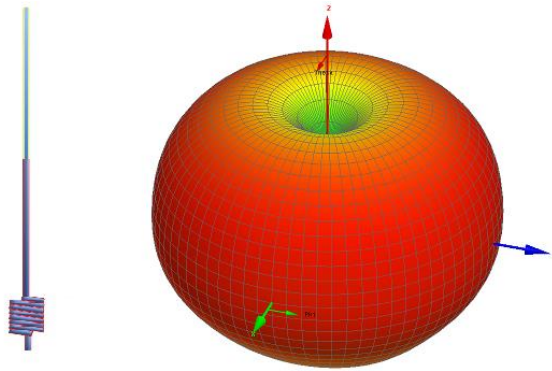
Joonis 13. Täiustatud koaksiaalkaablist antenni näide.

Suunadiagrammilt on näha, et **veerandlaineantenni** suunadiagramm on poolsfääriline ja antenn kiirgab radiaalelementide tasapinnast vertikaalelemendi suunas, seetõttu tuleb selline antenn kinnitada sondi põhjale nii, et radiaalelement on suunaga maa poole. Üks võimalikke lahendusi on näha Joonisel 14, radiaalelementidena võib kasutada ka vaskfooliumi ribasid.



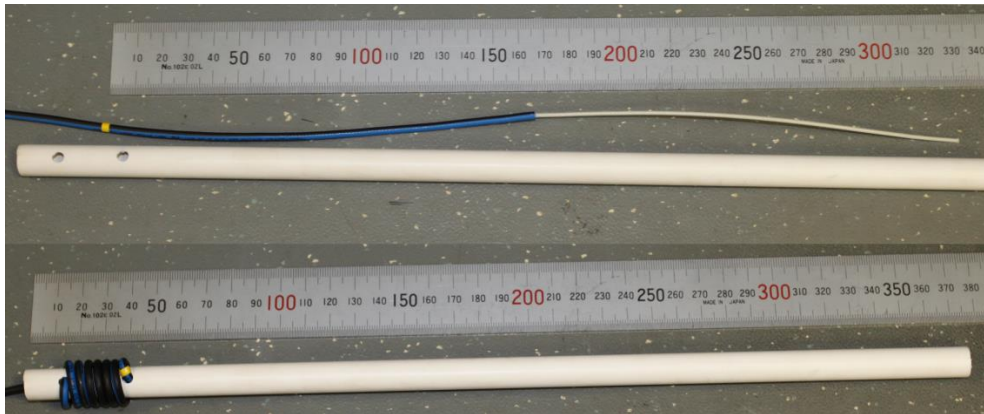
Joonis 14. Veerandlaineantenni sondile kinnitamise näide.

Teine antenni tüüp, mida sondil võib kasutada, on **vertikaalne poolaine dipool** (Joonis 15). Dipool ei vaja „kunstlikku maad“ ning sellel puuduvad radiaalsed elemendid. Antenni puuduseks on suurem pikkus – nagu ka antenni nimi ütleb, on selle antenni kogupikkus pool lainepikkust, mis 434 MHz sagedusel oleks umbes 33 cm. Eeliseks on võimalus monteerida antenn sondi ülemisele poolele, mis vähendab tõenäosust, et sond maandub antennile. Antenni on osaliselt võimalik viia sondi sisse, mis vähendab sondist väljaulatuva osa pikkust. Teine eelis on antenni suunadiagramm – see on sõõriku kujuline ning sarnaneb isotroopilise antenni suunadiagrammile, mis parandab sidevõimalusi maandunud sondiga.



Joonis 15. Poollaine dipoolantenn.

Vertikaalse poollaine dipoolantenni (434 MHz) ehitamiseks tuleb koaksiaalkaablist eemaldada [isolatsioon](#) ning varjestus 16,5 cm pikkuses ning varjestuse otsast 16,5 cm kauguselt kerida koaksiaalkaablit 6 keerdu poolile nagu vedru. Antenni kogupikkuseks jääb umbes 35 cm. Antenni jäikuse tagamiseks võib koaksiaalkaabli panna plastmasstoru sisse ning kerida kaabel toru peale (Joonis 16).



Joonis 16. Vertikaalse poollaine dipoolantenni ehitamise näide.

Kõik antennid on tundlikud elektrit juhtivast materjalidest objektidele, mistõttu tuleb sondi elektroonika, juhtmed ning aku hoida antennist võimalikult kaugel. Juhtivast materjalist objektid moonutavad antenni suunadiagrammi ning antenni sobitust raadiosaatjaga. Veerandlaine antenni puhul võivad elektroonika ja juhtmed olla radiaalelementide läheduses.

GPS antennidena kasutatakse tavaliselt väiksemõõdulisi keraamilisi [planaarantenne](#), mis võivad olla ka plastmassist korpuse sees (Joonis 17).



Joonis 17. GPS antennide näited.

GPS antenn tuleks monteerida sondi ülaosasse horisontaalses asendis ning kontrollida, et antennil oleks vaba vaateväli taevasse ning horisondini. GPS antenni kõrval ega kohal ei tohi olla juhtivast materjalidest komponente, antenni all olevatele komponentidele antenn tundlik ei ole. [Penoplast](#) on raadiolainetele läbipaistev ning antennide tööd ei sega, seega võib GPS antenni monteerida sondi sisse.

4. Maajaam

Maajaam koosneb vastuvõtuantennist (Joonis 21), raadiovastuvõtjast ning arvutist koos tarkvaraga signaali demoduleerimiseks ning dekodeerimiseks. Arvuti võib asendada ka Raspberry Pi-ga, millel on piisavalt arvutusvõimsust signaali töötlemiseks.

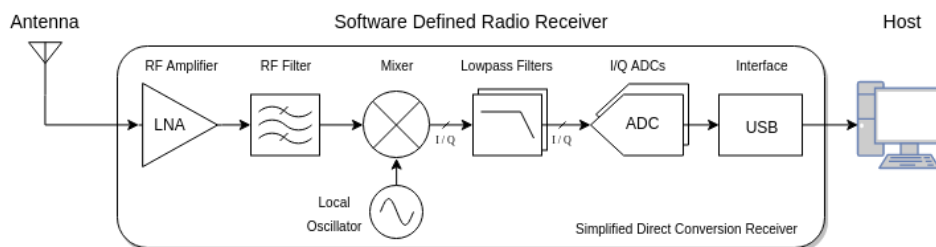
4.1 SDR vastuvõtja

Sondiga sidepidamiseks on kõige parem vastuvõtja amatöörraadio või skanner. Need seadmed on kõige tundlikumad ja häirekindlamad muude eetris olevate tugevate signaalide suhtes, kuna signaalitöötlus on teostatud riistvaras. Odavam ja lihtsam lahendus on kasutada [tarkvaralist raadiot](#) (SDR, *software-defined radio*, Joonis 18). SDR-i puhul muundatakse kõrgsagedussignaali madalamaks vahesagedussignaali ning signaalitöötlus toimub tarkvara abil. Kahjuks on odavad SDR raadiod suhteliselt madala kvaliteediga, nende tundlikkus ning häirekindlus on madal. Tugevamate signaalide vastuvõtuks on see lahendus hinna tõttu siiski igati otstarbekas. Kõige lihtsamad SDR raadiod on väikesed ja mahuvad USB pulga sisse ning selliste vastuvõtjate hind jääb tavaliselt mõnekümne euro piiresse. Suurem osa sellistest vastuvõtjatest baseeruvad firma Realtec RTL2832U kiibil – need vastuvõtjad olid algselt disainitud digitaaltelevisiooni (DVB-T) vastuvõtuks. Peale kiibi lahti muukimist 2012. aastal sai võimalikuks nende vastuvõtjate kasutamine ka teiste signaalide ja standardite vastuvõtuks ning tarkvaraline raadio hakkas massiliselt levima. Kiibi nimest tulenevalt kutsutakse selliseid odavaid USB porti käivaid tarkvaralisi raadiovastuvõtjaid RTL-SDR. Vastuvõtjat ostes tuleks veenduda, et see baseerub just RTL2832 kiibil, kuna see platvorm on tarkvaraliselt kõige laialdasemalt toetatud. Teistel kiipidel baseeruvaid raadioid ei pruugi olla võimalik sondi signaalide vastuvõtuks kasutada. RTL-SDR vastuvõtja töötab sõltuvalt raadio kiibist üldjuhul sagedusvahemikus 24-1800 MHz, mis võimaldab vastu võtta signaale alates FM raadiost kuni GPS-ni.



Joonis 18. SDR vastuvõtja.

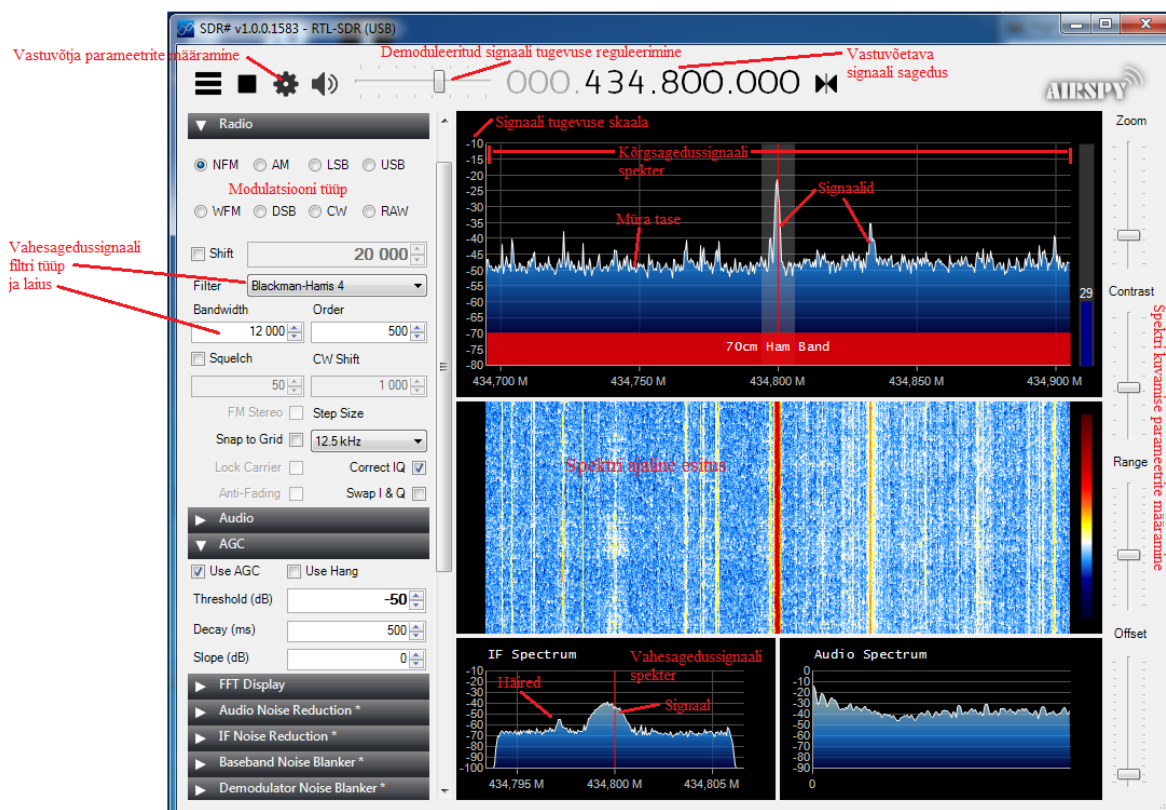
SDR vastuvõtja koosneb kõrgsagedusvõimendist, sagedusmuundist, vahesagedusvõimendist ning analoog-digitaal muundurist (Joonis 19). Peale signaali muundamist digitaalsele kujule saadetakse signaal digitaalselt üle USB pordi arvutisse, kus toimub signaali edasine töötlemine – filtreerimine, demoduleerimine ja dekodeerimine.



Joonis 19. SDR vastuvõtja skeem.

4.2 SDR raadio tarkvara, selle häälestamine

SDR raadio tarkvara leidub erineva keerukuse ja võimalustega, nii tasulisi kui ka vabavara programme. Kõige laiemalt kasutatav programm on SDR# (Joonis 20). Programmi aknas on võimalik määrata vastuvõtu parameetreid, millest kõige olulisemad on vastuvõtu sagedus, modulatsiooni tüüp, vahesagedusfiltri laius ning signaali võimendus. Lisaks on programmi aknas näha vastuvõetava sagedusvahemiku spektrit ja selle ajalist esitust. Spektripildilt võib välja lugeda [signaali ja müra](#) võimsuse, mida on vaja selleks, et reguleerida võimendust ning korrigeerida antenni suunda.



Joonis 20. SDR# tööaken.

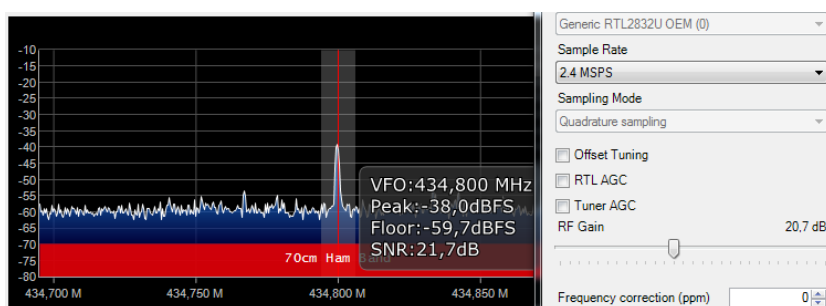
Oma lihtsa ehituse tõttu ei suuda odavad SDR vastuvõtjad toime tulla liiga tugeva signaali ja segavate sagedustega. Seetõttu tuleb jälgida, et võimendus oleks optimaalne. Automaatne võimenduse reguleerimine on optimeeritud tööks digitaalse TV signaalidega ning ei tööta sondilt tulevate kitsaribaliste signaalide puhul korrektselt, seetõttu annab parema tulemuse võimenduse käsitsi reguleerimine.

Programmi käivitades tuleks sondi jälgimiseks ära määrata järgmised parameetrid:

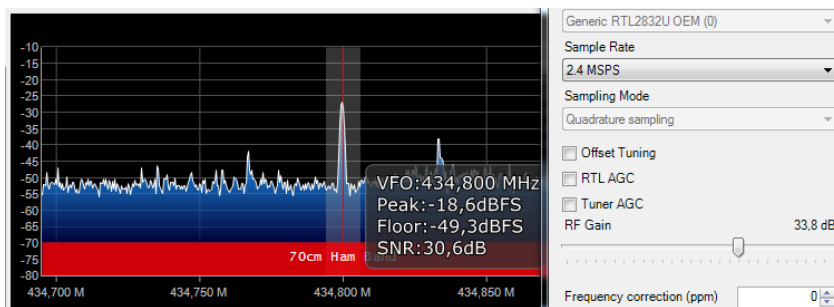
- **Pea-aknas:** vastuvõetava signaali sagedus vastavalt saatja sagedusele
- **Raadio menüüs:**
 - Modulatsiooni tüüp **USB**
 - Vaheagedussignaali filtri tüüp **Blackman-Harris 4**, filtri riba laius **12000**. Kui vaheagedussignaali spektris on näha häireid, siis võib proovida vaheagedusfiltri [ribalaiust](#) vähendada nii, et häired välja filtreeritakse, kuid filter ei tohi olla nii kitsas, et hakkaks juba lõikama saatja signaali.
 - **Correct IQ** sisse lülitatud
 - **Snap to grid** välja lülitatud
- **Vastuvõtja parameetrite menüüs:**
 - **Offset Tuning**, **RTL AGC** ja **Tuner AGC** välja lülitatud
 - RF gain reguleeritud suuremaks kui **20 dB**
 - Sample Rate **2.4 MSPS**

Side kvaliteedi määrab [signaali ja müra suhe](#) ehk SNR (*Signal to Noise Ratio*). Mida väiksem müra ning mida suurem signaal, seda parem vastuvõtu kvaliteet. Sõltuvalt modulatsiooni tüübist, andmeedastuse kiirusest ning kodeerimise meetodist ei ole teatud signaali-müra suhtest vastuvõtt enam võimalik. Seetõttu ei ole kõige tähtsam mitte signaali tugevus, vaid just see, kui palju signaal mürast tugevam on. Signaali tugevust saame suurendada võimenduse lisamisega, kuid kahjuks suurendab see ka müra tugevust ja teatud võimenduse piiri ületades hakkab müra suurenema rohkem kui signaal. Alates sellest võimenduse väärtusest hakkab võimenduse suurendamisega vastuvõtukvaliteet halvenema.

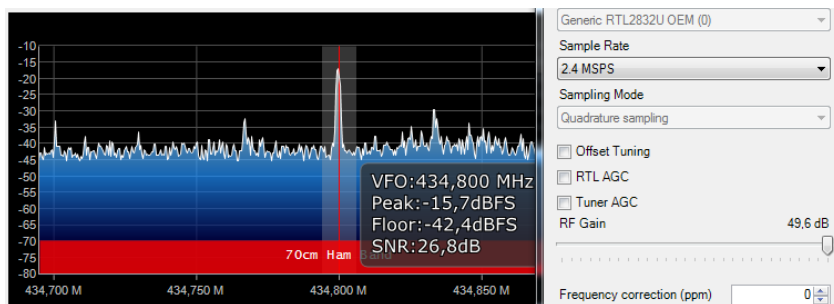
SNR väärtust näeb, kui hiire kursor liigutada spektri aknas signaali kohale, selle peale avaneb signaali ja müra tugevuse indikaator. Parima SNR saavutamiseks tuleb avada vastuvõtja parameetrite häälestamise aken ning **RF Gain** nuppu liigutades leida selline asend, kus SNR on maksimaalne. Võimenduse optimaalne väärtus sõltub paljudest vastuvõtusüsteemi, antenni ja keskkonna teguritest, see tuleks leida iga lennu korral uuesti ning seda peaks reguleerima lennu vältel vastavalt sidekauguse suurenemisele. Juhul kui võimenduse reguleerimine on liiga keerukas, võib sisse lülitada võimenduse automaatse reguleerimise režiimi – **Tuner AGC** sisse lülitades. Aga nagu eelnevalt märgitud, et tööta see kitsaribaliste signaalidega kuigi hästi.



Juuresoleval pildil on näha, et võimenduse 20,7 dB juures on müra tase umbes -60 dBFS ning signaali tugevus -38 dBFS, mis teeb signaali-müra suhteks 21,7 dB. Raadiotehnikas kasutatakse signaalide mõõtmisel üldjuhul logaritmilist skaalat – 20 dB vastab sajakordsele erinevusele. Antud juhul on siis signaali võimsus mürast 148 korda tugevam.



Suurendame võimendust 33,8 dB-ni. Näeme, et SNR väärtuseks on 30,6 dB, mis tähendab, et signaali võimsus on müra juba üle tuhande korda suurem. See tagab oluliselt parema sidekvaliteedi. Võimenduse edasisel suurendamisel hakkab müra võimsus kasvama kiiremini kui signaali võimsus ning SNR muutub väiksemaks.



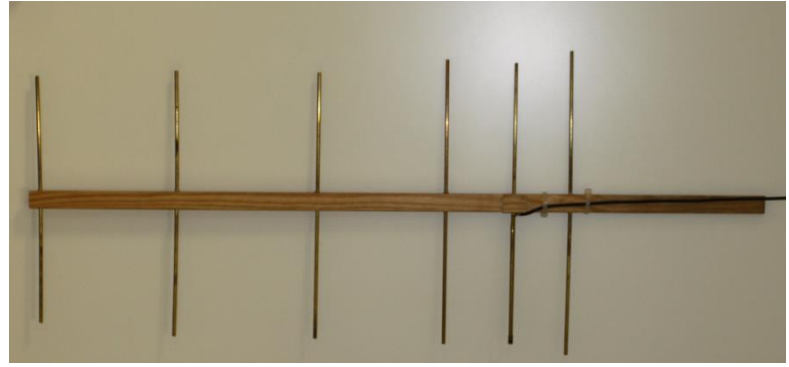
Nagu spektri pildilt näha, tõusis võimendusega 49,6 dB signaali väärtus, kuid SNR kahanes umbes 3 dB võrra. See tähendab, et signaali-müra suhe läks kaks korda kehvemaks ning vastuvõtu kvaliteet halvenes.

Demoduleeritud signaali tugevust ehk audiosignaali tugevust reguleerides saame seada signaali nivoo sobivaks demoduleerimis- ja dekodeerimisprogrammile. Dekodeerimisprogramme on erinevaid ning üldjuhul on need tehtud spetsiifilise standardi vastuvõtuks. Soni telemeetriat saame vastu võtta näiteks programmiga **dl-fldigi**, kuupsatelliitide vastuvõtuks sobib näiteks demodulaator **soundmodem**.

4.3 Maajaama antenn ja selle ehitamine

Erinevalt sondist on maajaama antennina võimalik kasutada ka suundantenni (tavaliselt [Yagi tüüpi antenn](#)), mis parandab side kvaliteeti ning kaugust kordades. Suundantenni puuduseks on vajadus antenni soni suunas hoida, sest suurteil sidekaugustel katkeb vastuvõtt juba antenni mõnekümne kraadise suunamisvea juures. Suundantenniga vastuvõtuks tuleb seega antenni asimuuti ning nurka maapinna suhtes reguleerida. Selleks tuleb teada soni asukohta, mille saame soni [telemeetria](#)-andmetest.

Laia suunadiagrammiga maajaama antenni puhul ei pea antenni asendit korrigeerima, kuid sidekaugus on võrreldes suundantenniga märgatavalt lühem. Laia suunadiagrammiga antenniks sobib väga hästi veerandlaineantenn, kuid erinevalt sondile monteeritust peab antenni vertikaalne element olema suunatud taeva poole (Joonis 21). Pikemate sidekauguste jaoks on soovitatav kasutada antennivõimendit. Soni jälitamisel ning otsimiseks on veerandlaineantenn hea variant, kuna see on väike ja magnetjala abil ka väga lihtsasti kasutatav auto katusel.



Joonis 21. Vastuvõtuantennide näited. Vasakul on veerandlaineline antenn magnetjalal, paremal on Yagi suundantenn

Antennide väljatöötamine ja ehitamine on väga keeruline ja täpne töö. Parimate tulemuste saavutamiseks projekteeritakse antennid tavaliselt konkreetseid tingimusi ja vajadusi silmas pidades. Antennide ehitamise juures on täpsus väga oluline. Sõltuvalt töösagedusest võivad juba kümnendiku millimeetri suurused ebatäpsused antenni parameetreid oluliselt mõjutada. Siiski on teatud antennitüübid ebatäpsustele vähem tundlikud ning neid on võimalik suhteliselt lihtsalt ka kodus valmistada, eriti arvestades seda, et sondiga ja satelliitidega sidepidamisel on töösagedused suhteliselt madalad. Selles peatükis tutvustame lihtsaid maajaama antenne ja anname juhised nende kodus valmistamiseks:

- Laia ja kitsa suunadiagrammiga antennid sondi ja satelliitide vastuvõtuks sagedusel 435 MHz.
- Laia suunadiagrammiga antenn meteosatelliitide vastuvõtuks sagedusel 137 MHz.
- Laia suunadiagrammiga antenn lennuliikluse jälgimiseks sagedusel 1090 MHz.

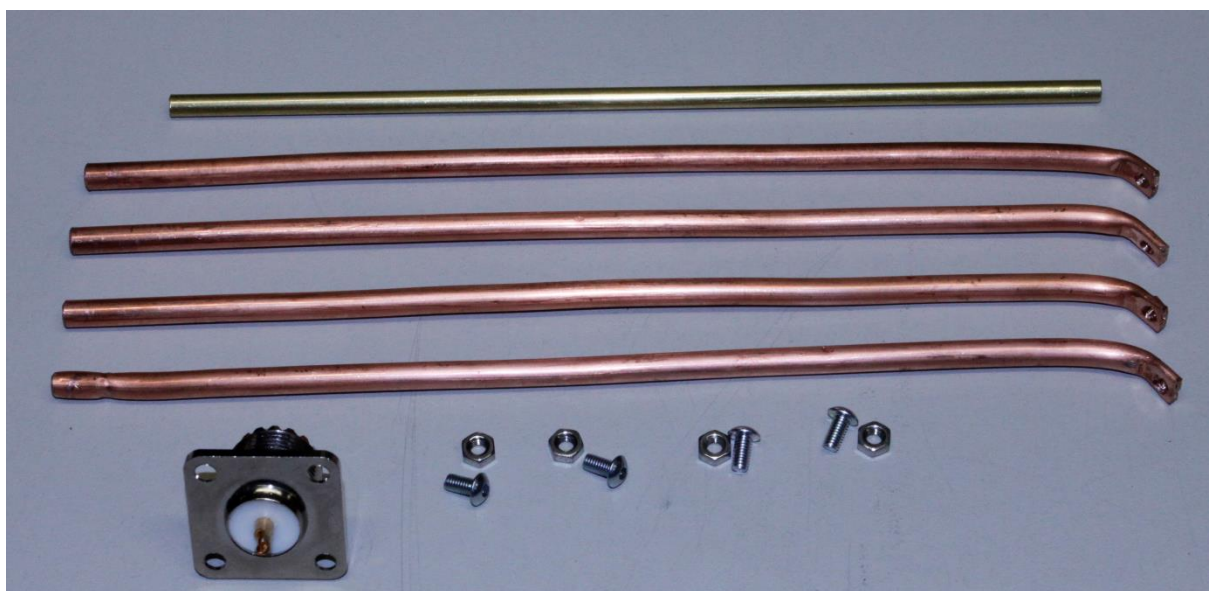
4.3.1 Poolsfäärilise suunadiagrammiga veerandlaineline monopole antenn sagedusele 435 MHz (vertikaalne polarisatsioon)

Antenn sobib hästi tugeva sondisignaali vastuvõtuks ning oma väikeste mõõtmete tõttu võib seda kasutada auto katusel sondi jälitamiseks. Koos hea antennivõimendiga sobib see ka tugevamate signaalidega kuupsatelliitide vastuvõtuks. Antenni ehitamiseks on vaja UHF või N tüüpi RF pistikupesa, vasktoru ning nelja M3 polti ja mutrit. Pistikupesi leiab elektroonikakomponentide poest ning vasktoruks sobib näiteks 5mm läbimõõduga auto pidurivoolik, mida saab osta autotarvete poest. Antenn koosneb neljast radiaalelemendist ning ühest aktiivelemendist.



Antenni valmistamiseks lõigake vasktorust neli 19,3 mm pikkust juppi (radiaalelemendid). Lööge toru üks ots alasil haamriga 10 mm ulatuses lapikuks ning painutage kruustangide vahel 45-kraadise nurga alla. Edasi puurige lapiku osa otsa 3,3mm puuriga auk – see võimaldab radiaalelemendid kruvidega pistikupesa külge kinnitada. Aktiivelement tuleb joota pistiku keskmise väljaviigu külge.

Aktiivelemendina võib ka kasutada väiksema läbimõõduga messingitoru, mida leiab ehitustarvete poest. Aktiivelemendi pikkus on 16,4 cm. Antennikaabel ühendatakse vastavalt pistikupesa tüübile kas N või UHF pistikuga antenni külge. Antennile võib valmistada ka magnetjala, millega saab seda edukalt auto katusele kinnitada.

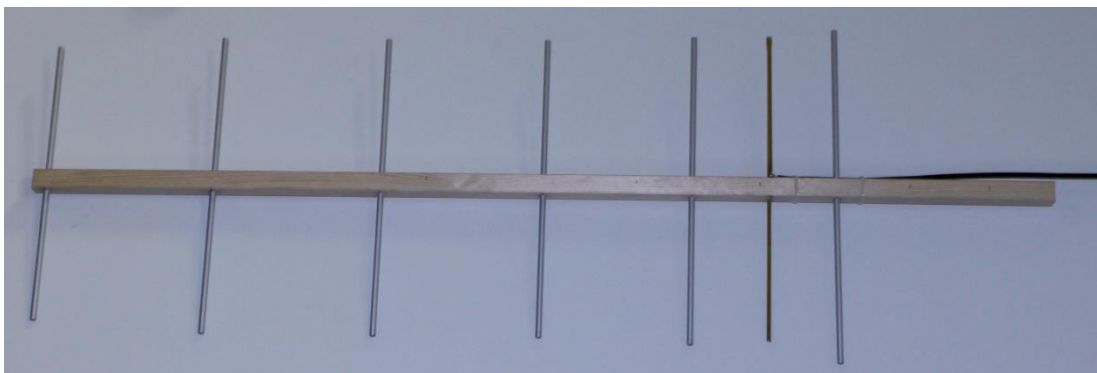


4.3.2 Kitsa suunadiagrammiga Yagi antenn sagedusele 435 MHz

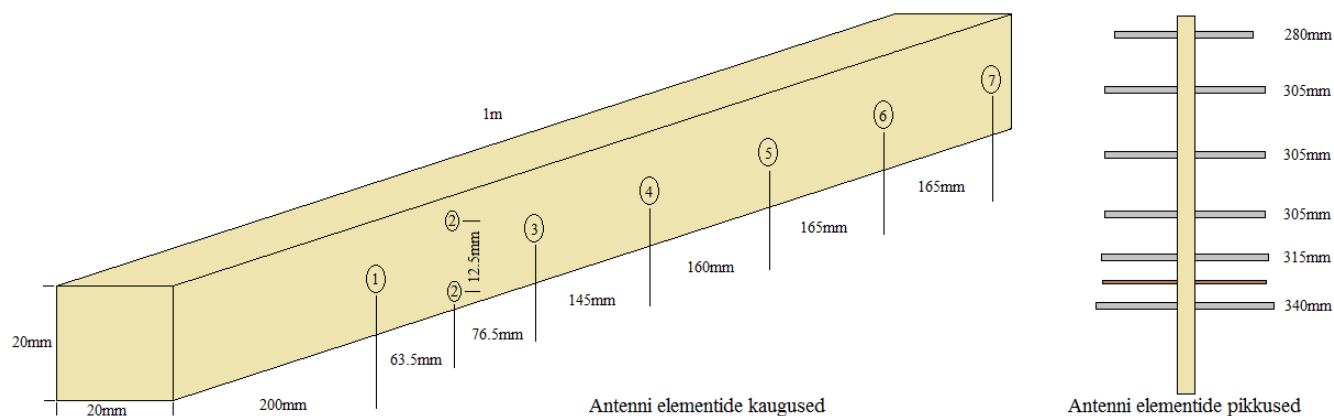
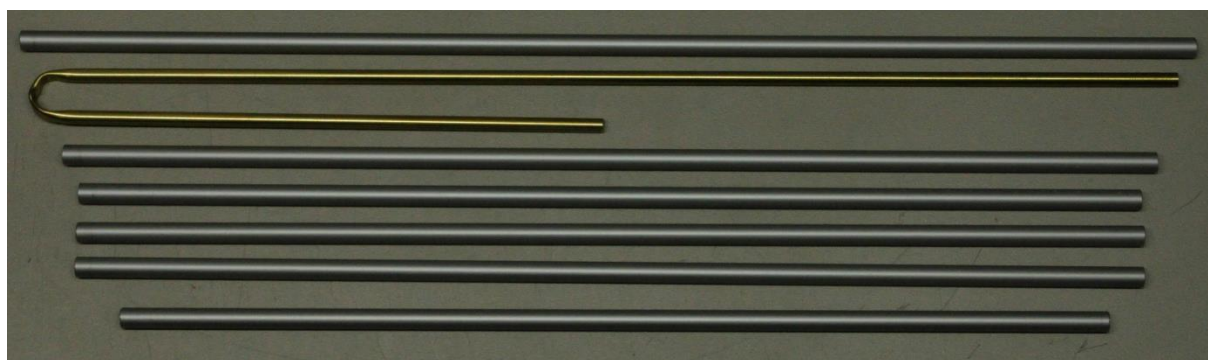
Kitsa suunadiagrammiga antennid sobivad nõrgemate signaalide vastuvõtuks, kuid selliseid antenne tuleb hoida pidevalt saatjale suunatuna. Seitsme elemendiga Yagi suunadiagrammi laius on umbes 45 kraadi, seega võib suunamisviga olla +/- 22 kraadi. 22-kraadise vea korral langeb signaali võimsus umbes kaks korda. 7-elemendilise Yagi antenni võimendus on umbes 12 dBd,

mis tähendab, et võrreldes dipoolantenniga on vastuvõetava signaali võimsus üle 10 korra suurem. Kuna antud antenn ei ole valmistamise lihtsuse huvides optimaalselt sobitatud, on selle võimendus natuke suurem kui 9 dBd, mis vastab heale 6-elementilisele Yagi antennile.

Sondi signaalide vastuvõtuks tuleb antenn suunata sondile nii, et antenni elemendid on maapinna suhtes vertikaalsed. Antenniga saab edukalt vastu võtta ka kuupsatelliitide signaali. Juhul kui satelliit ei kasuta vastuvõtul ringpolariseeritud signaali, tuleb leida antenni pöörates selline nurk, kus signaali tugevus on maksimaalne (antenn peab kogu aeg olema suunatud satelliidile).



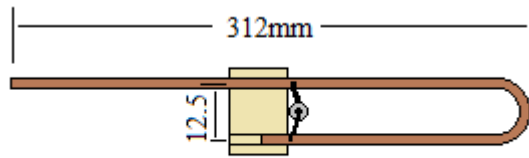
Antenni valmistamiseks on vaja puidust liistu mõõtmetega 20x20x1000 mm, 8 mm diameetriga alumiiniumtoru ning 4 mm diameetriga messingitoru. Puitliistu tsentrisse tuleb puurida 8 mm läbimõõduga avad suunajatele ja reflektorile ning kaks 4 mm ava aktiivelemendile. Antenni elementide pikkused ning asukohad on märgitud järgnevale joonisele.



	1	2	3	4	5	6	7
	Reflektor	Aktiivelement	Suunaja	Suunaja	Suunaja	Suunaja	Suunaja
Pikkus, mm	340	312	315	305	305	305	280

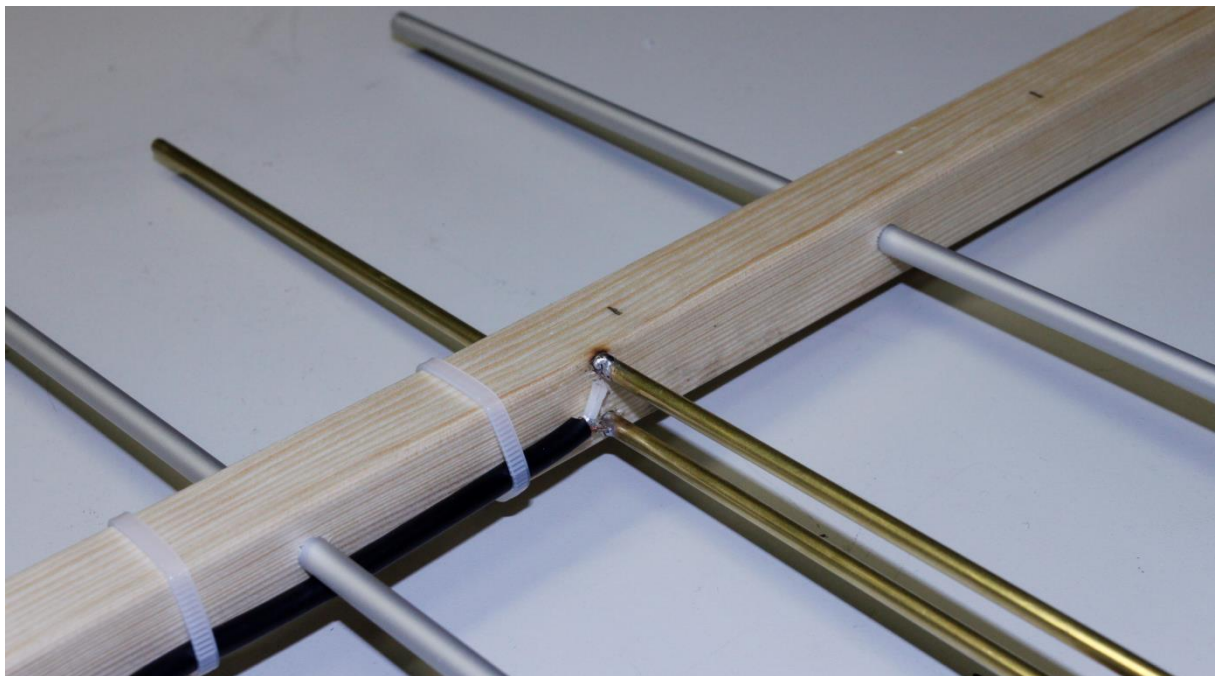
Kaugus liistu otsast, mm	200	263,5	340	485	645	810	975
--------------------------	-----	-------	-----	-----	-----	-----	-----

Aktiivelemendi valmistamiseks tuleb 4 mm messingтору painutada J tähe kujuliseks, mille pikem ots on 312 mm pikkune ning lühem 156 mm pikkune. Antenni elemendid torgake läbi puuritud aukude nii, et need jäävad puitliistule sümmeetriliselt. Aktiivelemendi pikem pool torgake samuti läbi puitliistu ning lühem pool jääb poole puitliistu sisse. Aktiivelemendi J kujuliseks painutamisel



vajutage messingтору painutamise kohas pöörderaadiuse ulatuses lapikuks – ümarat toru ei ole võimalik poolringi kujuliselt painutada.

Antennikaabel tuleb joota võimalikult puitliistu lähedale, varje pikema õla külge ning keskmine soon



lühikese õla otsa. Messingi jootmisel on vaja kasutada happelist rübustit, tavaline rübustiga tina ei nakku messingiga. Antenni materjalide maksumus jääb alla 20 euro ning kõiki materjale on võimalik osta ehituspoodidest. Antennikaabliks kasutatakse 50-oomist koaksiaalkaablit.

4.3.3 Poolsfäärilise suunadiagrammiga veerandlaineline monopole antenn sagedusele 1090 MHz (vertikaalne polarisatsioon)

Lennuliikluse sidet saab vastu võtta [punktis 4.3.1](#) tooduga sarnaneva antenniga, kuid kuna sagedus on kõrgem, siis on antenni mõõtmed oluliselt väiksemad. Antenni ehitamiseks võib kasutada SMA kõrgsageduslikku pistikupesa. Kuna antenni elemendid on väiksemad ja kergemad, võib vasktoru asemel kasutada vasktraati ja elemendid pesa külge joota. Elementide läbimõõt peaks olema suurem kui 2 mm.



Antenni radiaalelementide valmistamiseks lõigake 80 mm pikkused vasktraadi jupid ning painutage need 7 mm kauguselt 45-kraadise nurga alla. Aktiivelement tuleb joota pistikupesa keskmise kontakti külge. Aktiivelemendiks võib kasutada peenemat traati, kuid tuleb jälgida, et traat oleks kuni pistikupesast väljumiseni isoleeritud – traat ei tohi kokku puutuda pistikupesa korpusega. Teine võimalus on kasutada peenema koaksiaalkaabli keskmist soont, mis on kogu ulatuses kaetud isolatsiooniga. Aktiivelemendi pikkus palja traadi korral on 65 mm, isolatsiooniga koaksiaalkaabli keskmise soone korral 61 mm mõõdetuna pistikupesast väljumise kohast. Radiaalelementide jootmine pistikupesa külge nõuab kannatlikust, traadid ja pesa peaks eelnevalt fikseerima ning jootma kõik radiaalelemendid korraga. Ühekaupa jootes sulavad eelnevalt joodetud traadid lahti. Radiaalelementide fikseerimiseks võib kasutada näiteks krokodillidega „kolmandat kätt“. Jootmiseks on vajalik suure võimsusega jootekolb ning palju räbustiga tina.



Antenn ühendatakse vastuvõtjaga SMA pistikuga 50-oomise koaksiaalkaabli abil.

4.3.4 Laia suunadiagrammiga antenn ringpolarisatsiooniga signaalide vastuvõtuks sagedusel 137 MHz

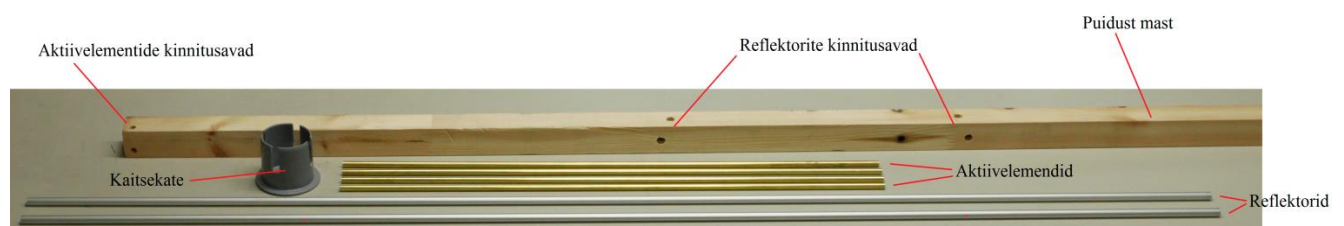
Seda antenni on eelmistega võrreldes kõige keerulisem valmistada. Kuna satelliitide orientatsioon maajaama suhtes muutub, siis kasutatakse satelliitide puhul sageli ringpolarisatsiooniga antenne, kuna sellised antennid ei ole tundlikud satelliidi orientatsiooni suhtes. Enamlevinud antennitüüpideks on spiraalantennid, Helix antennid, rist-Yagi antennid ja *turnstile* (pöörd-uks) antennid. Kuna ilmasatelliitide sagedus on suhteliselt madal, siis on ka antenni mõõtmed suhteliselt suured.

Turnstile antenni valmistamiseks on vaja kuut metallist varrast ning antennimasti. Antennimasti võib valmistada puidust, plastmassist või metallist, kuid metallmasti puhul peab antenni aktiiv-elementid mastist isoleerima. Antenni elementid peavad olema metallist: tavaliselt alumiinium, vask või messing. Reflektorvardad on passiiv-elementid ning nende külge kaableid ei ühendata, kõige odavam on sellisel puhul kasutada alumiiniumit. Aktiiv-elementide külge tuleb ühendada koaksiaalkaablid ja kuna alumiiniumi jootmine on tülikas ning keerukas, siis sobib materjaliks nt vask. Sellise antenni materjalide hind jääb alla 30 euro. Antenni valmistamiseks vajalikke materjale leiab ehituspoodidest:

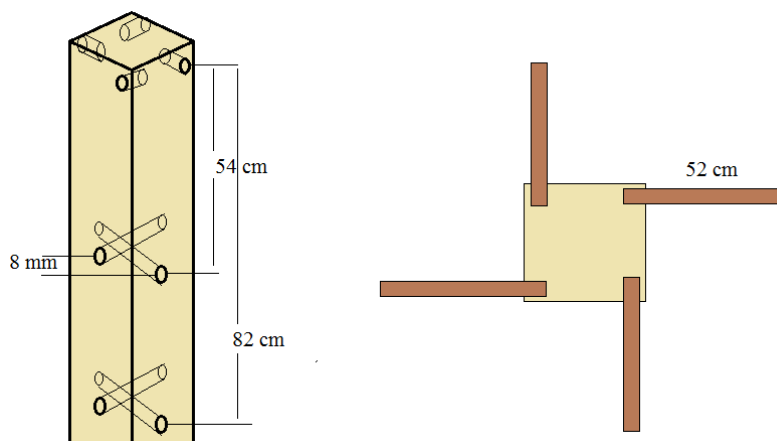


- antennimast – 30x30x2400 mm puitliist;
- reflektorvardad – 8 mm läbimõõduga 2 m pikk alumiiniumtoru (2 tk);
- aktiiv-elementid – 6 mm läbimõõduga 1m pikk messingtoru (4 tk).

Alumiiniumtoru tuleb lõigata 102 cm pikkuseks ning messingtorud 52 cm pikkusteks tükkideks. Puidust masti tippu tuleb puurida aktiiv-elementide kinnitamiseks neli ava sügavusega umbes 10 mm ning kaks läbivat ava reflektorite jaoks, mille kaugus aktiiv-elementidest on 82 cm ($3/8 \lambda$) või 54 cm ($1/4 \lambda$). Sellest, kas me paigaldame reflektorid 82 cm või 54 cm kaugusele aktiiv-elementidest, sõltub antenni suunadiagramm – antenn on rohkem tundlikum horisontaal- või vertikaalsuunas. Lisaks on vaja teha aktiiv-elementide kaitsekate, mis kaitseks masti otsa ja aktiiv-elemente vihma eest – selle võib teha näiteks 50 mm kanalisatsioonitoru plastmassist korgist.

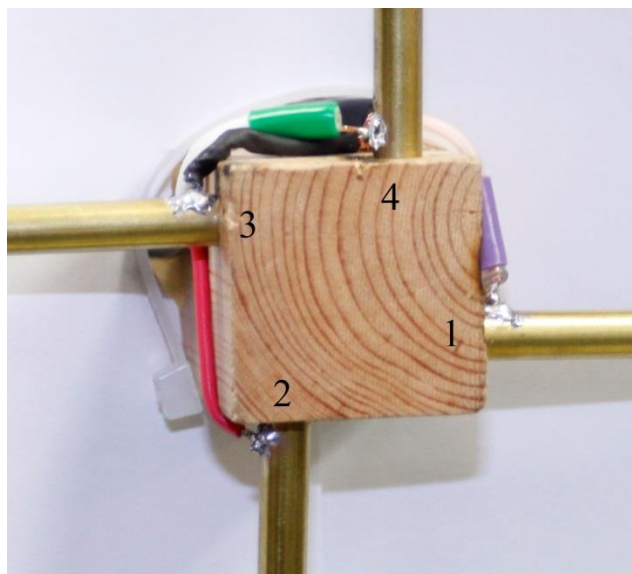
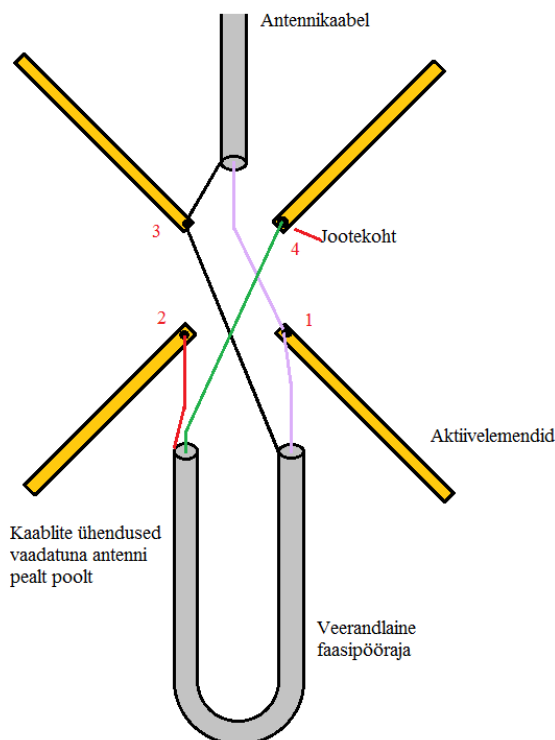
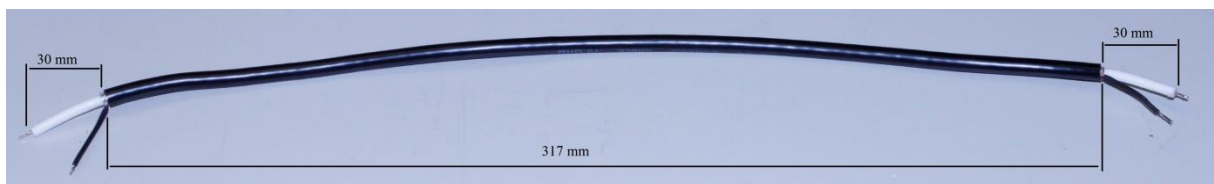


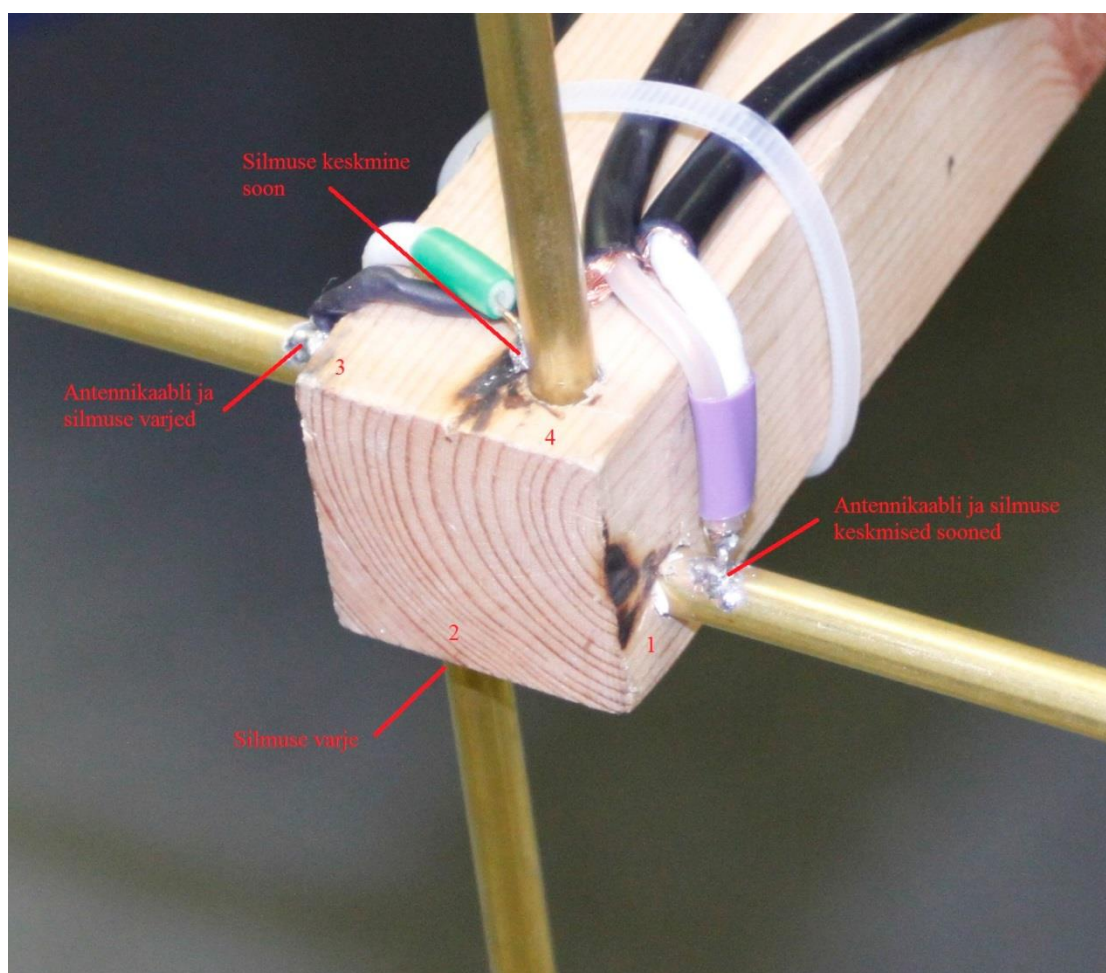
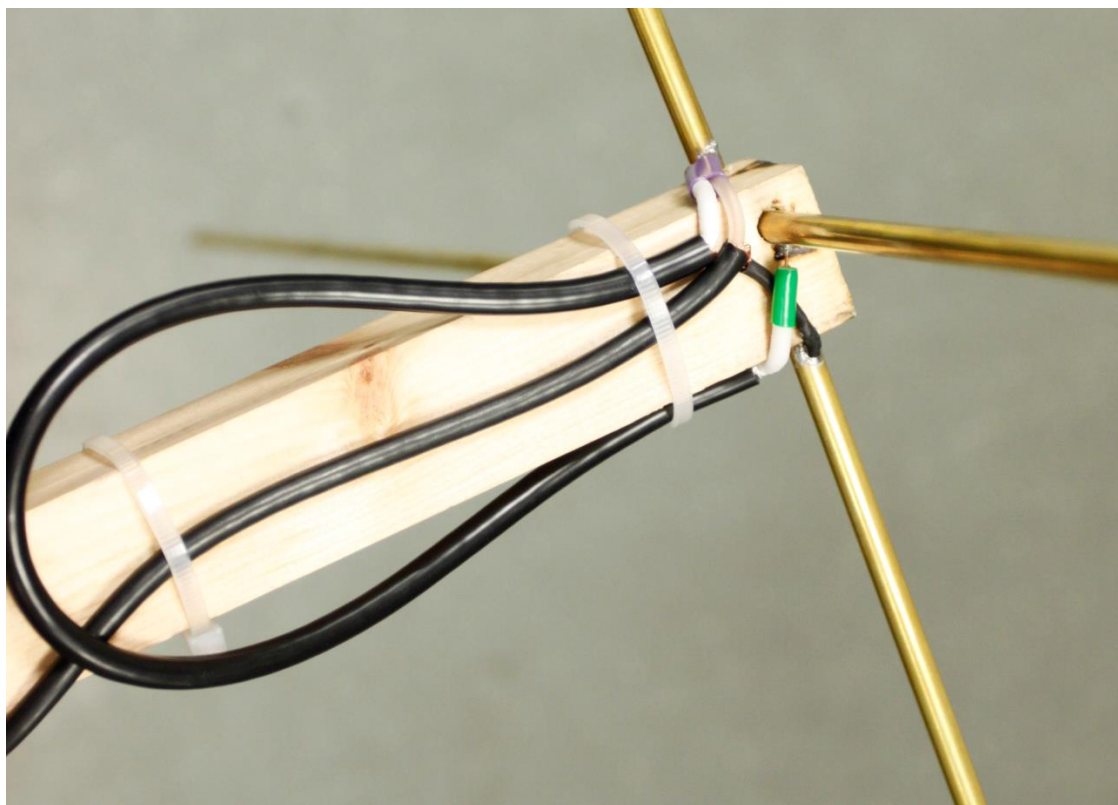
Aktiiv-elementid tuleb suruda masti avadesse; kui avad ei ole piisavalt täpsed ja elementid võivad välja tulla, võib need ka avadesse liimiga fikseerida. Reflektorvardad tuleb torgata läbi masti avade nii, et pikkused mõlemal pool masti oleks samasugused, vajadusel fikseerida liimiga.



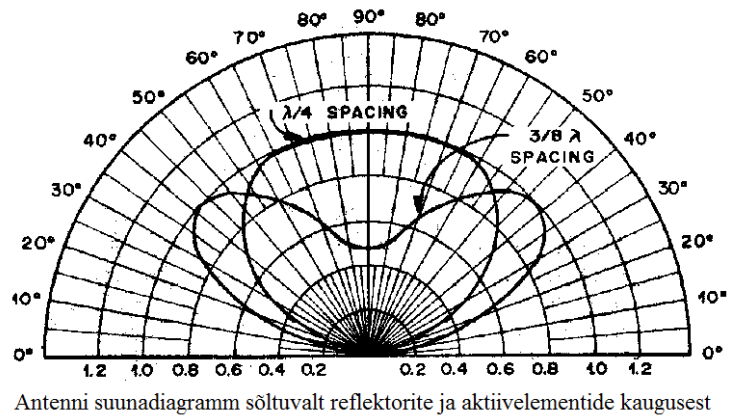
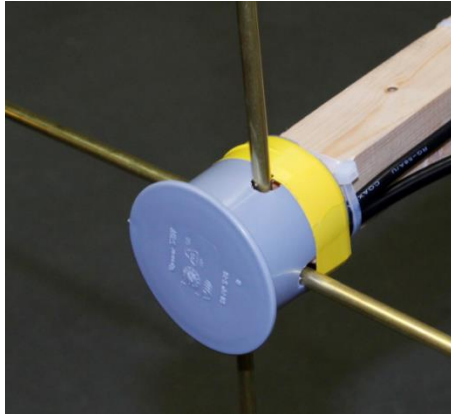
Kõige keerulisemaks tööks selle antenni juures on aktiiv-elementide ühendamise. Ring-polarisatsiooni saavutamiseks tuleb aktiivelementide paarid omavahel ühendada koaksiaalkaabli lõiguga, mis hilistab signaali veerandlainepikkuse võrra – selleks kasutame 377 mm pikkust RG59 tüüpi 75-oomist koaksiaalkaablit, millelt on mõlemast otsast 3 cm jagu isolatsiooni eemaldatud. Lisaks

peame ühendama aktiivelementidega 50-oomise antennikaabli, milleks võib kasutada RG58 tüüpi kaablit. Vastavaid antennikaableid müüakse elektroonikakomponentide poodides. Kaablite keskmiselt juhtmelt eemaldame 5 mm ulatuses isolatsiooni ning joodame koaksiaalkaablite varjed ning keskmised sooned vastavalt joonisele aktiivelementide külge.





Aktiivelemendid juhivad hästi soojust – jootmiseks peab kasutama suure võimsusega jootekolbi ~100...200 W. Juhul kui elemendid on vasest, võib kasutada tavalist rübustiga jootetina, aga messingvarda jootmiseks tuleb kasutada tugevat happelist rübustit, muidu tina ei nakku. Vastavat rübustit leidub tööriistapoodides. Peale kaablite jootmist kinnitage kaablid masti külge ning pange peale veekaitse.



5. Raadioetri jälgimine SDR vastuvõtjaga

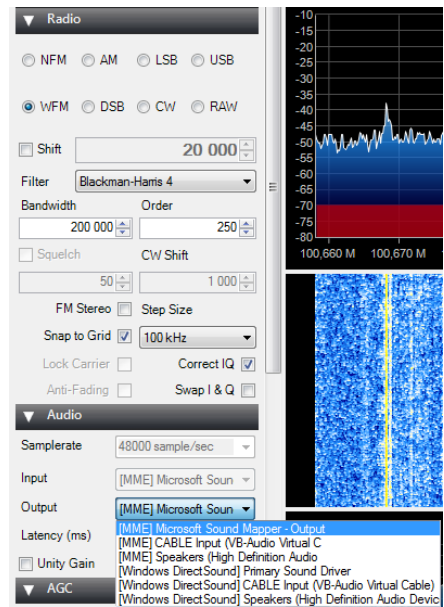
Kuna SDR raadio töötab väga laias sagedusribas, siis on sellega peale sondide jälgimise võimalik kuulata paljusid erinevaid teenuseid ja andmesidet. Tarkvaralise raadio üks eeliseid võrreldes ühele konkreetsele teenusele projekteeritud vastuvõtjaga on see, et erinevaid dekodeerimisprogramme kasutades on võimalik erinevat andmesidet vastu võtta ilma riistvara välja vahetamata. Paljud andmesideprotokollid ei ole avalikud ning nende vastuvõtuks puuduvad vahendid, kuid selliste teenuste jaoks, mille standardid on teada, on enamalt jaolt ka dekodeerimisprogrammid saadaval. SDR raadio abil on võimalik kuulata amatöörraadiosidet ja morset, jälgida lennukite ning laevade liiklust, võtta vastu pilte meteoroloogiasatelliitidelt, jälgida ilmateenistuse sonde, võtta vastu kuupsatelliitide telemeetriat ning pilte.

Kõike seda saab teha, kasutades sama USB porti käivat SDR vastuvõtjat ning SDR# programmi. Lisaks tuleb arvutisse insalleerida vastav dekodeerimistarkvara. Kuna erinevad sideteenused kasutavad erinevaid modulatsioonitüüpe ning ribalaiusi, tuleb ka SDR# programm vastavalt häälestada. Samuti ei ole võimalik vastuvõtt samasuguse antenniga – vastavalt töösagedusele tuleb kasutada ka selleks sobivat antenni (vt [4.3 Maajaama antenn ja selle ehitamine](#)).

5.1 FM ringhääling

Kõige lihtsam on SDR raadiot kasutada FM ringhäälingu vastuvõtuks. Selleks ei ole vaja eraldi programmi – SDR# suudab ringhäälingus kasutatavat sagedusmodulatsiooni demoduleerida. Samuti ei ole probleemi antenniga, kuna saatjate võimsused on suured ning antenniks sobib ka 75 cm pikkune traadijupp. Tavaliselt on SDR raadioga kaasas ka vastuvõtuantenn, mis sobib suure võimsusega signaalide vastuvõtuks laias sagedusribas.

FM ringhäälingu vastuvõtuks tuleb meil seadistada SDR# modulatsiooni tüübiks WFM ning vahesagedusfiltri ribalaiuseks 200 000 Hz. Kui sondi vastuvõtuks tuli juhtida audiosignaal läbi virtuaalse helijuhtme dekodeerimise, siis selleks, et arvuti valjuhääldist raadiot kuulata, tuleb audio väljund ümber lülitada. Seda saab teha audio menüüst, määrates väljundiks (*Output*) **Microsoft sound**. Nüüd tuleb veel häälestada vastuvõtusagedus meid huvitavale radiojaamale. Euroopas on FM ringhäälingu sagedused vahemikus 87,5 - 108 MHz.

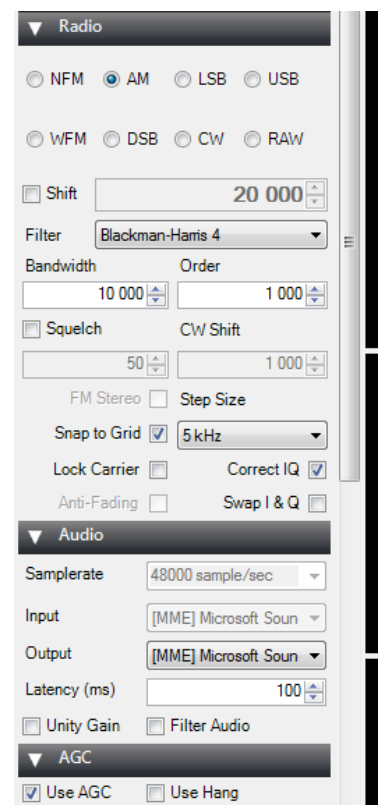


5.2 Lennuliiklusteeninduse side

Lennuliiklusteeninduse side on kuuldav lennujaamade läheduses ning pilootide side torniga lennukitelt üle kogu Eesti. Lennuliikluste sagedused jäävad vahemikku 118-137 MHz ning kasutatakse amplituudmodulatsiooni. Seega tuleb SDR#-s seadistada modulatsioon **AM**, vahesagedusfiltri ribalaius **10 000 Hz** ning lülitada sisse **AGC** menüüst **Use AGC**. ATIS edastab lähenemis- ja ilmainfot pidevalt, muu side intervallid võivad sõltuvalt liiklusest olla suhteliselt pikad. Lennukid peavad sidet erinevate üksustega:

- TWR (*Tower Control Unit*) ehk lähilennujuhtimisüksus teostab lendude juhtimist lennuväljade vahetus läheduses ning stardi/maandumisrajal ja ruleerimisteedel. Tallinna lennujaama sagedus 135,9 MHz.
- APP (*Approach Control Unit*) ehk lähenemislennujuhtimisüksus tegeleb nii saabuvate kui lahkuvate õhusõidukite juhtimisega lennuväljade lähenemisalades. Tallinna lennujaama sagedus 127,9 MHz.
- ACC (*Area Control Centre*) ehk piirkondlik lennujuhtimisüksus teostab peamiselt ülelendude juhtimist kogu Eesti õhuruumis. Sagedused 127,175 MHz ja 134,325 MHz.
- ATIS (*Automatic Terminal Information Service*) edastab pidevalt lennujaama ja meteoroloogilist infot. Sagedus Tallinnas 124,875 MHz.

Teiste Eesti lennujaamade sagedusi leheküljelt eaip.eans.ee/, AERODROMES sektsioonist.



5.3 Amatöörraadioside

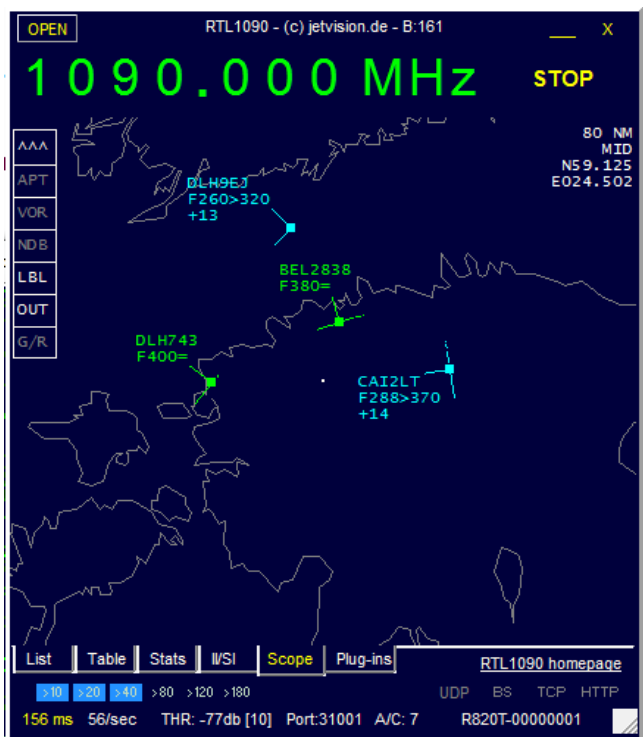
Amatöörraadiosides kasutatavad VHF ja UHF sagedusvahemikud on 50-53 MHz, 70-70,5 MHz, 144-146 MHz, 430-440 MHz. Modulatsioonina kasutatakse nii amplituud (AM, USB, LSB) kui ka sagedusmodulatsiooni (NFM).

Morset kasutatakse sidepidamisel väga pikkadel kaugustel, modulatsiooni tüübiks SDR#-s CW. Vastuvõtuks on olemas väga palju erinevaid programme – näiteks **CWSkimmer** või **CW Decoder**. **DL-fldigi** dekodeerib samuti morset, kuid kvaliteet on kehvem kui eelmainitudel. Dekoodrite kasutamiseks peab audiosignaali suunama läbi virtuaalse helijuhtme.

5.4 Lennuliikluse jälgimine

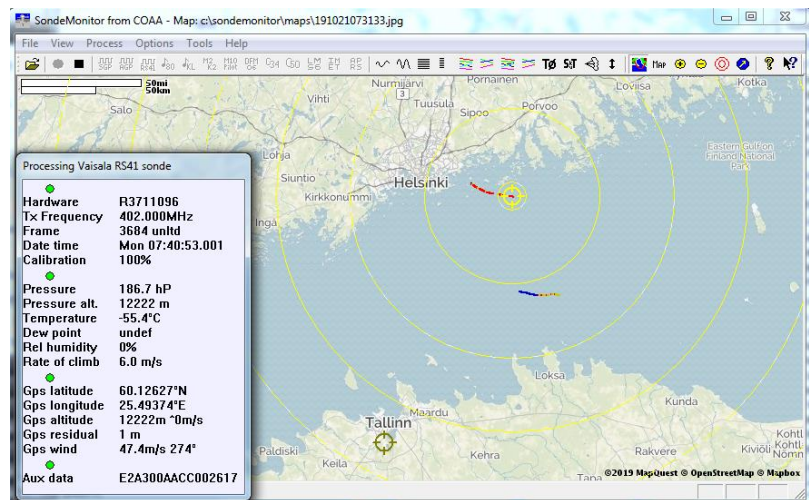
Lennukid edastavad pidevalt informatsiooni asukoha, kõrguse ning lennusuuna kohta, kasutades selleks ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*) transponderit. Süsteem võeti kasutusele lennuohutuse parandamiseks – varem kasutati lennukite asukoha määramiseks ainult radareid. Transponder määrab lennuki asukoha, suuna ja kiiruse GPS järgi ning edastab informatsiooni maale sagedusel 1090 MHz. Hea antenni ning antennivõimendiga on võimalik ADS-B signaale vastu võtta kuni umbes 500 km kauguselt. Ilma võimendita ja kehvema antenniga jääb vastuvõtu kaugus mõnekümne kilomeetrini. Vastuvõtuks sobivad lihtsad programmid on näiteks ADSB# ja RTL1090.

RTL1090 ei vaja tööks SDR# programmi, vaid kasutab otse SDR vastuvõtjat. Faili **rtl1090.beta3.zip** (RTL1090 „SCOPE“) saab alla saab laadida aadressilt www.jetvision.de/manuals/rtl1090.beta3.zip ning seejärel selle lahti pakkida. Lisaks on vaja alla laadida zip fail aadressilt sdr.osmocom.org/trac/raw-attachment/wiki/rtl-sdr/RelWithDebInfo.zip, see lahti pakkida ning kopeerida kataloogist **rtl-sdr-release**x32\ failid **rtlsdr.dll**, **msvcr100.dll** ja **libusb-1.0.dll** samasse kataloogi kuhu **rtl1090** ning käivitada **rtl1090.beta3.exe**. Vajutage **Start** nuppu ning valige leheküljel **Scope**. Kaarti suumides ning liigutades otsige üles Eesti piirkond. Signaali kätte saades ilmuvad kaardile lennukid. Täpsemat informatsiooni lennukite kohta näeb erinevatelt interneti lehekülgedelt, nt <http://www.flightradar24.com/>.



5.5 Ilmateenistuse sondide vastuvõtt

Ilmateenistused saadavad prognooside tegemiseks õhupalliga stratosfääri ilmasonde (*radio-sonde*), mis edastavad maale informatsiooni temperatuuri, niiskuse, kõrguse ning tuule kiiruse kohta. Eesti ilmajaam saadab igal öösel ühe sondi, Soome jaamad saadavad ööpäevas sonde iga mõne tunni tagant. Ilmajaama sondid kasutavad sagedusi 400-406 MHz ning NFM modulatsiooni. Sondi telemeetria vastuvõtuks

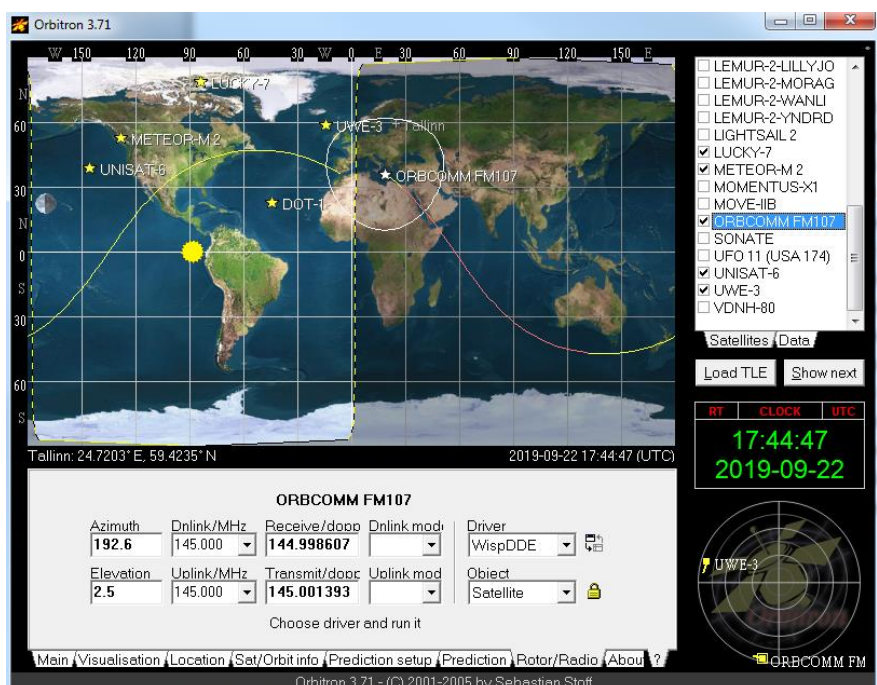


tuleb SDR# seadistada sondi sagedusele, valida NFM modulatsioon ja seadistada vahesagedusfiltri laius. Filtri laius sõltub sondi tüübist. Eesti ilmajaama poolt kasutatava sondi Meteomodem M10 puhul peaks filtri laius olema umbes 30 000 Hz. Soome sondide Vaisala RS41 puhul 15 000 Hz. Telemeetria dekodeerimiseks sobivad programmid on **Sonde Monitor**, mis võimaldab dekodeerida mitmeid erinevaid sonde või **RS41 Tracker**, mis dekodeerib ainult RS41 sondi signaali. Teine võimalus on ehitada sondide dekooder Raspberry Pi baasil. Selleks vajaliku projekti leiab aadressilt: github.com/projecthorus/radiosonde_auto_rx/.

Raspberry projekt saadab sondi telemeetria ka HABHUB võrgustikku. Ilmateenistuse sondide sagedus on natuke madalam kui sagedus, kus meie 434 MHz antenn töötab, kuid lühema, mõnekümne kilomeetrise kauguse juures saab seda antenni vastuvõtuks kasutada. Hea antenniga saab kõrgel olevaid sonde jälgida paarisaja kilomeetri kauguselt.

5.6 Satelliitide vastuvõtt

Satelliitidelt signaali vastuvõtmisel pakuvad eelkõige huvi ilmasatelliitide pildid ja kuupsatelliitide telemeetria, kuid on võimalik kuulata ka rahvusvahelise kosmosejaama ISS amatöörside. Satelliitide vastuvõtt on mõnevõrra keerukam kui maapealse side ja lennuliikluse jälgimine. Eelkõige on probleemiks see, et satelliitide signaal on väga nõrk ning selle vastuvõtmine nõuab sageli suundantenni ning head madala müraga antennivõimendit. Teine probleem on satelliitide kiire liikumise tõttu tekkiv sagedusnihe ehk doppleri efekti



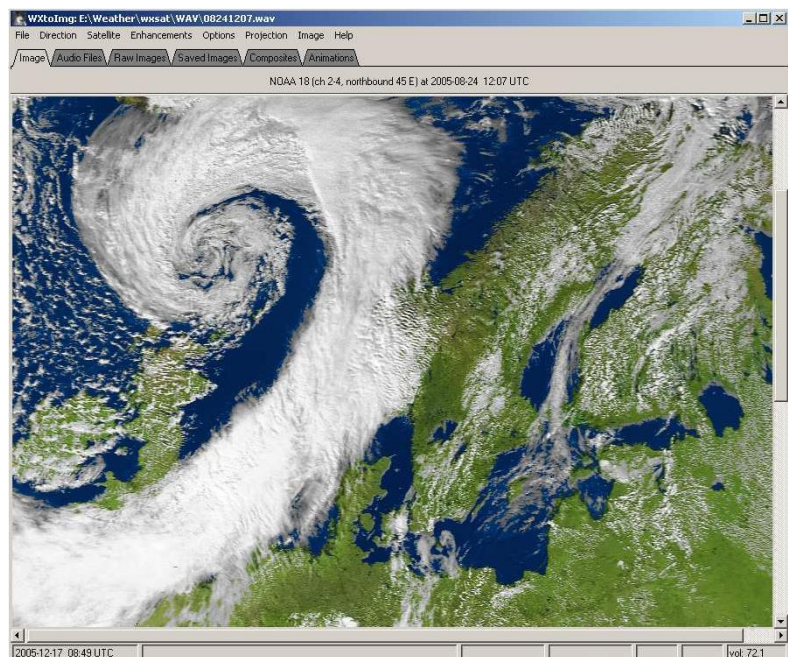
tõttu tekkiv doppleri nihe. Kuigi satelliit saadab signaale konstantsel sagedusel, on doppleri efekti tõttu meie poole liikuva satelliidi saatja sagedus kõrgem ja meist eemalduva satelliidi sagedus madalam. Kui me oma vastuvõtja sagedust vastavalt satelliidi kiirusele ja asukohale ei korrigeeri, ei saa me satelliidilt andmeid kätte. Kuna sagedus muutub pidevalt, siis on selle käsitsi häälestamine väga keeruline. Suundantenni kasutades peame me pidevalt muutma ka antenni nurka horisondi suhtes ning antenni asimuuti. Nende probleemidega toimetulekuks on vaja kasutada programmi, mis SDR# sagedust automaatselt häälestaks ning meile antenni suunamiseks vajalikku informatsiooni annaks. Üheks enamkasutatavaks programmiks on **Orbitron**. Programmis saame valida satelliidi ning programm edastab vastavalt satelliidi orbiidile ning meie asukohale sageduse häälestamiseks vajaliku informatsiooni SDR#-le. Orbitron võimaldab ka arvutada, millal satelliit vastuvõtujaama leviulatusse saabub.

Orbitroni kasutamiseks tuleb SDR#-i paigaldada plugin, mis võimaldab Orbitronist andmeid kätte saada. Lisaks on arvutisse vaja paigaldada programmid, mis satelliitide signaale demoduleerivad ning dekodeerivad.

5.7 Ilmasatelliitide vastuvõtt

Ilmasatelliidi pilte on võimalik vastu võtta Ameerika NOAA ja Venemaa METEOR-M satelliitidelt. Need satelliidid kasutavad erinevaid andmeedastusstandardeid ning seetõttu on vaja nende vastuvõtuks ka erinevaid programme. Venemaa satelliitide pildid on oluliselt kvaliteetsemad, kuna erinevalt NOAA analoogsignaalist kasutatakse neil digitaalset andmeedastust ning piltide resolutsioon on METEOR-M puhul 12 korda kõrgem kui NOAA satelliitidel. NOAA saatjate sagedused on:

- NOAA 15 – 137,62 MHz
- NOAA 18 – 137,9125 MHz
- NOAA 19 – 137,1 MHz



METEOR-M kasutab sagedust 137,1 MHz

NOAA piltide vastuvõtuks on vaja programmi **WXtoImg**. Juhised programmi installeerimiseks leiab aadressilt www.rtl-sdr.com/rtl-sdr-tutorial-receiving-noaa-weather-satellite-images/.

METEOR-M satelliite on praegu orbiidil kaks, viimane saadeti orbiidile 2019. aasta suvel. Piltide vastuvõtuks tuleb installeerida **SDR#-i Meteor Demodulator** plugin ning arvutisse programm **M2 LRPT Decoder**. Juhised installeerimiseks leiab aadressilt www.rtl-sdr.com/meteor-m-demodulator-sdr-plugin-and-lrpt-decoder-updated/

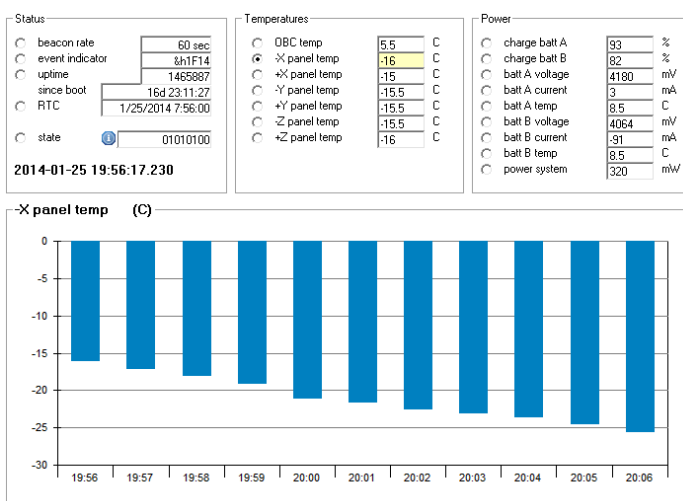
5.8 Kuupsatelliitide vastuvõtt

Enamus kuupsatelliite töötavad sagedustel 435-428 MHz ning kasutavad väga tihti kitsaribalist sagedusmodulatsiooni NFM ja andmeedastusprotokoll AX.25. Informatsiooni kuupsatelliitide sageduste ja modulatsiooni ning telemeetria dekodeerimisprogrammide kohta leiab aadressilt www.dk3wn.info/p/?page_id=29535 ning www.pe0sat.vgnet.nl/decoding/tlm-decoding-software/dk3wn/.

Satelliitide signaali demoduleerimiseks on üks lihtsamaid programme **Soundmodem**. Vastavalt modulatsiooni

tüübile tuleb kasutada programmi Soundmodem või High-speed soundmodem, mille saab alla laadida aadressilt uz7.ho.ua/packetradio.htm. Soundmodem edastab demoduleeritud andmevoo telemeetria dekooderile, mille võib leida satelliitide projektide kodulehtedelt või siis aadressilt dk3wn.info/blog/digital/, kuhu satelliidientusiast Mike Rupprecht on üles pannud enda poolt tehtud dekodeerimistarkvara. Kuupsatelliidid edastavad telemeetriainformatsiooni temperatuuride, aku oleku, pinge, tarbimise ja laadimisvoolude, nurkkiiruste, asendi jne kohta. Samuti on võimalik vastu võtta pilte ja muud kogutud informatsiooni. Ülal on toodud näitena lehekülj satelliidi UWE-3 telemeetria kohta.

Vastuvõtul on lihtsam alustada satelliitidest, mis edastavad pakette tihti ning mille signaal on tugev. Üheks lihtsamini vastuvõetavamaks satelliidiks on näiteks Unisat-6.



Raspberry Pi pardaarvuti programmeerimine

Janika Leoste, Karl Leoste

1. Vajalikud füüsilised seadmed ja üldised juhised

1.1 Vajalikud füüsilised seadmed

1. Arvuti Windows (10, 8 või 7) operatsioonisüsteemiga.
2. [Raspberry Pi](#) (ver 1, mudel A+), koos [Pi in The Sky](#) (PITS) plaadiga **või** Raspberry Pi ver 3, mudel A+, koos PITS plaadiga (vaata ka selle peatüki [punkti 4.6](#)).
3. Mikro-SD kaart, mille maht on 8 kuni 32 GB.
4. USB klaviatuur (võib kasutada arvuti klaviatuuri). Vajame seda vaid Pi alghäälestuse teostamisel.
5. HDMI monitor. Vajame seda vaid Pi alghäälestuse teostamisel.
6. USB WiFi pulk (ei ole vaja Raspberry Pi ver 3 puhul).
7. FunCube Dongle Pro+ (või mõni teine USB [SDR raadiopulk](#)).
8. Mikro-USB telefonilaadija Raspberry Pi kasutamiseks katsetamise ajal, võib olla ka vaid mikro-USB kaabel, kasutades vooluallikana arvuti USB pesa.

NB! See juhend on kirjutatud arvestusega, et kasutatakse Raspberry Pi ver 1 mudelit A+, sest see on kõige väiksema voolutarbega Pi, mis võimaldab **PITS** (*Pi in The Sky*) plaadi kasutamist. Kasutada saab ka Pi ver 3 ja 2 mudeleid A ja B, aga arvesta, et need tarbivad rohkem voolu ning teha tuleb täiendavad seadistusi (vaata käesoleva peatüki [punkti 4.6](#)).

1.2 Üldised juhised

NB! Enne tegevustega alustamist loe kogu peatüki tekst algusest lõpuni hoolikalt läbi.

NB! Raspberry Pi on üldjuhul avatud trükkplaadiga miniarvuti – tal puudub kaitsev kest. Seepärast on väga oluline luua selle arvutiga töötamiseks sobilik töökeskkond. Veendu, et laual ei oleks elektrit juhtivaid esemeid (foolium, kirjaklamber, võtmed, kruvid, vms) ning et kõigi meeskonnaliikmete käed oleks enne tööle hakkamist pestud ja kuivatatud. Vajadusel kuivatage käsi ka töö käigus. Hoidke tee, kohvi või muud joogid võimalusel eraldi laual.

NB! Enne tarkvara allalaadimise alustamist veendu, et näed arvutis failide laiendeid. Windows 10 puhul tee selleks nii: klõpsa nuppu **Start**. Ava **Juhtpaneel**. Vali jaotises **Ilme ja isikupärastamine** valik **Kaustasuvandid**. Klõpsa suvandite ikooni lindi paremas servas. Vali dialoogiboksis **Kaustasuvandid** menüü **Vaade**. Vali **Kuva peidetud failid, kaustad ja draivid**. Tühista valik **Peida tuntud failitüüpide laiendid** ja klõpsake nuppu **OK**.

2. Vajalikud arvutiprogrammid ja failid

Sinu tulevase [sondpalli](#) pardaarvuti ja raadiojaama ülesseadmiseks ja kasutamiseks on tarvis kasutada kaheksat erinevat tarkvara. See juhend lähtub eeldusest, et kasutad arvutit, mille operatsioonisüsteemiks on **64-bitine** Windows 10 (või Windows 7, Windows 8).

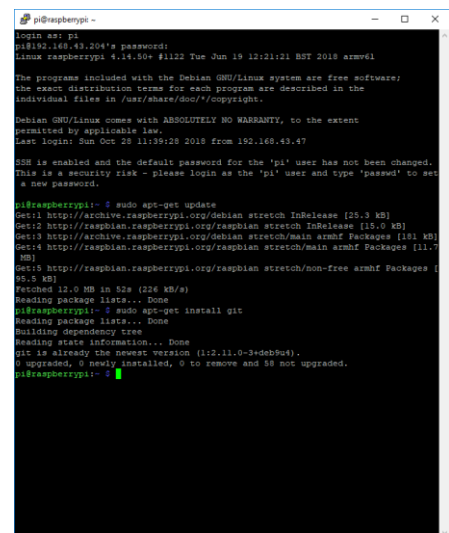
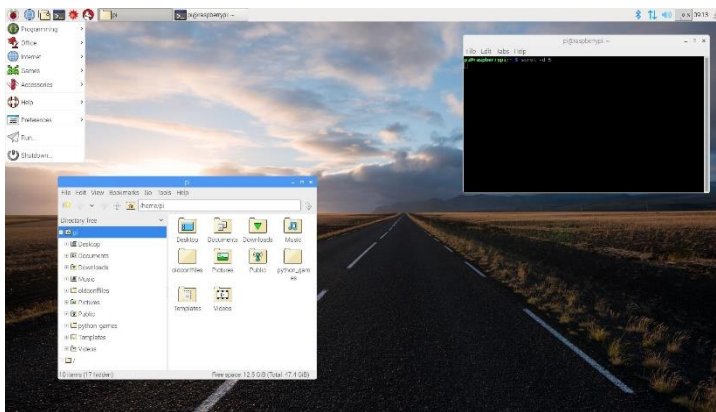
NB! Laadi tarkvara juhiseid järgides alla ja paigalda see oma arvutisse! Järgi juhiseid samm-sammult. Kogu protsess võtab kõige kauem aega ühe tunni (**1 tund**).

2.1 Raspbian Stretch Lite

Kasutusala:

Raspbian on ametlik Raspberry Pi Linuxil põhinev operatsioonisüsteem. Sellest on kaks versiooni:

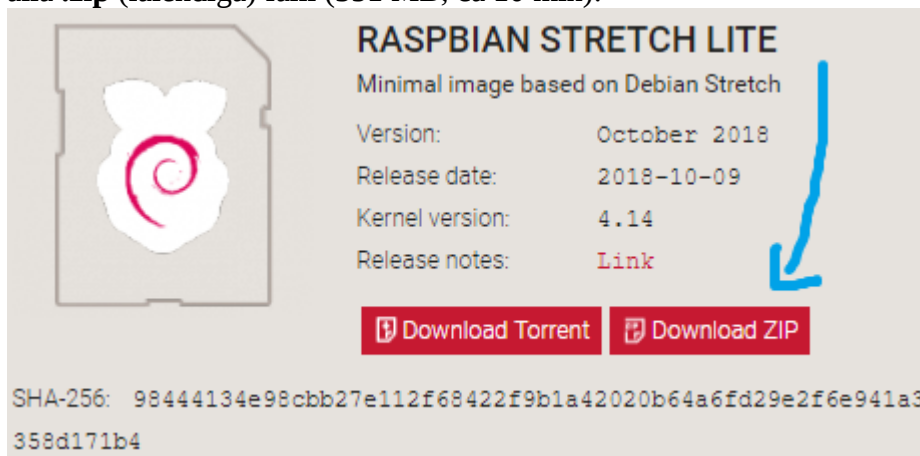
- Graafiline, mis on üsna sarnane Windowsile või MacOS-le. Siin saad kasutada harjumuspärast graafilist vaadet ja töölauda.
- Konsoolivaatel põhinev, kus kogu suhtlus arvutiga käib ainult tekstiliselt.



Meie kasutame neist teist, konsoolivaatel põhinevat operatsioonisüsteemi, sest see on väiksema mahuga, lihtsam ja tarbib vähem elektrit. See on meile väga oluline, kuna iga lisapatarei lisab meie sondpallile tarbetut lisakaalu.

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: www.Raspberrypi.org/downloads/raspbian/
- 2) Leia seksioon **RASPBIAN STRETCH LITE** ja vajuta [**Download ZIP**] nuppu. See laeb alla **.zip** (laiendiga) faili (351 MB, ca 10 min):



- 3) **.zip** faili sees on **.img** fail. Paki see lahti kuhugi, kus sa selle hiljem üles leiad. Selles juhendis eeldame, et oled teinud Töölauale (**Desktop**) kausta **KOSMOS** (vajadusel tee selline kaust).

2.2 Etcher

Kasutusala:

Etcher on tarkvara sihtotstarbeliste mälukaartide loomiseks. Meie kasutame seda tarkvara Raspberry Pi jaoks operatsioonisüsteemiga mälukaardi loomiseks.

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: www.balena.io/etcher/
- 2) Vajuta nuppu [**Installer, Download for Windows x64**]. See laeb alla **.exe** faili (66,9 MB, 3 min). Tõsta allalaetud fail (**.exe**) samasse kataloogi, kuhu pakkisid lahti Raspbiani (**Töölaud → KOSMOS**).
- 3) Ava **.exe** fail ning läbi paigaldamisprotsess.

2.3 PuTTY

Kasutusala:

PuTTY on üle võrgu toimiv [SSH](#) konsool. Sellega saab teistele arvutitele kaugelt ligi, et jooksutada neis arvuteis erinevaid käsklusi jne. Meie kasutame PuTTY-t selleks, et kontrollida Raspberry Pi-d oma arvutist.

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/latest.html
- 2) Leia **Package files → MSI ('Windows Installer')** ja vajuta nuppu [**putty-64bit-0.70-installer.msi**] (numbrid faili nimes võivad olla veidi erinevad). Sellega laetakse alla **.msi** fail (2,9 MB, 10 sek). Tõsta **.msi** fail samasse kataloogi, kuhu oled tõstnud eelmised failid (**Töölaud → KOSMOS**).

MSI ('Windows Installer')

32-bit:	putty-0.70-installer.msi	(or by FTP)	(signature)
64-bit:	putty-64bit-0.70-installer.msi	(or by FTP)	(signature)

- 3) Ava **.msi** fail ja läbi paigaldamisprotsess.

2.4 FileZilla

Kasutusala:

FileZilla on üle võrgu toimiv failijagamise programm. Selle abil saad tõsta faile ja kaustu ühest arvutist teise ning näha neis arvuteis juba olemasolevaid faile ja kaustu.

Meie kasutame FileZilla-t selleks, et tõsta oma arvutis loodud [Pythoni](#) programmifaile Raspberry Pi-sse.

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: filezilla-project.org/download.php?platform=win64
- 2) Vajuta nuppu [**Download FileZilla Client**]. Ette tuleb uus aken.
- 3) Vajuta nuppu [**Download**]. See laeb alla **.exe** faili (8,3 MB, 10 sek). Tõsta **.exe** samasse kataloogi, kuhu oled tõstnud eelmised failid (**Töölaud → KOSMOS**).

Dropbox	Yes	-
Microsoft OneDrive	Yes	-
Google Drive	Yes	-
Google Cloud Storage	Yes	-
Microsoft Azure Blob and File Storage	Yes	-
WebDAV	Yes	-
OpenStack Swift	Yes	-

Select

Download




4) Ava **.exe** fail ja läbi paigaldusprotsess.

2.5 SDRSharp (Software Defined Radio ehk tarkvaraline raadio)

Kasutusala:

Tarkvaraline raadio võimaldab arvutil lisaseadme abil vastu võtta [raadiosignaali](#) ja seda heliks muuta. Meie kasutame tarkvaralist raadiot selleks, et raadio teel vastu võtta andmeid, mida saadab meie sondpall (Raspberry Pi). Tarkvaraline raadio koosneb kahest komponendist: [vastuvõtva raadio](#) juhtimise kontrollkeskusest (**SDRSharp**), ja raadiosignaali vastuvõtmiseks vajalikust füüsilisest seadmest (**FunCube Dongle Pro+**, mis on suuremat sorti USB pulk, mille küljes on [antenn](#)).

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: airspy.com/download/
- 2) Leia **Windows SDR Software Package** ja vajuta nuppu [**Download**]. See laeb alla **.zip** faili (1,800 kB, 2 sek). Tõsta .zip fail samasse kataloogi, kuhu oled tõstnud eelmised failid (**Töölaud** → **KOSMOS**).

Windows SDR Software Package ([Change log](#))

Contains:

- SDR# x86 rev 1700
- Airspy Calibration Tool
- ADSB Spy rev 48 – High Performance ADSB Decoder (Requires [firmware 1.0.0-rc7 or better](#))
- Spectrum Spy – Spectrum Analyzer
- Astro Spy – Radio Astronomy Utility for Hydrogen Line Spectroscopy
- SPY Server – Multi-client SDR Server with DDC

Download



- 3) Leia **.zip** fail oma arvutis ning paki see lahti eraldi ajutisse kausta (tee uus kaust, anna sellele unikaalne nimi). Pane kaust kuhugi, kus sa selle lihtsasti üles leiad.
- 4) Ava kaustas fail **install-rtlsdr.bat**. See installeerib ja valmistab ette **SDRSharp** programmi.
- 5) Ühenda USB raadio **FUNCube Dongle Pro+** oma arvutiga (mis on ühendatud internetiga) ja oota mõni minut. See laeb su arvutisse vajalikud draiverid, mille abil **SDRSharp** saab aru USB raadio signaalist.

NB! Kui **su raadio ei ole FUNCube Dongle Pro+**, siis vaata läbi video youtu.be/12eDBNGKtcw (kuidas kasutada zadig.exe't õigete draiverite määramiseks).

- 6) **SDRSharpi** käivitamiseks ava kaustas fail **SDRSharp.exe**.

NB! **FUNCube Dongle Pro+** raadiot kasutades ära mitte mingil juhul ava faili **zadig.exe!** **zadig.exe** kirjutab üle olemasolevad Windowsi draiverid, mis on küll kasulik teiste USB raadiote puhul, ent **FUNCube Dongle Pro+** draiverid **siis enam ei tööta**. Kui sa ei lugenud seda lõiku

eelnevalt ja avasid kogemata **zadig.exe**, siis siin on õpetus, kuidas draiverite ülekirjutus tagasi võtta: www.funcubedongle.com/?p=1425.

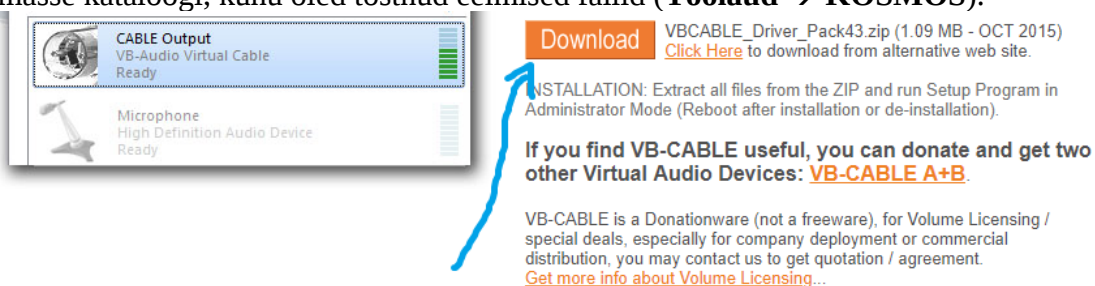
2.6 VAC (Virtual Audio Cable ehk virtuaalne helijuhe)

Kasutusala:

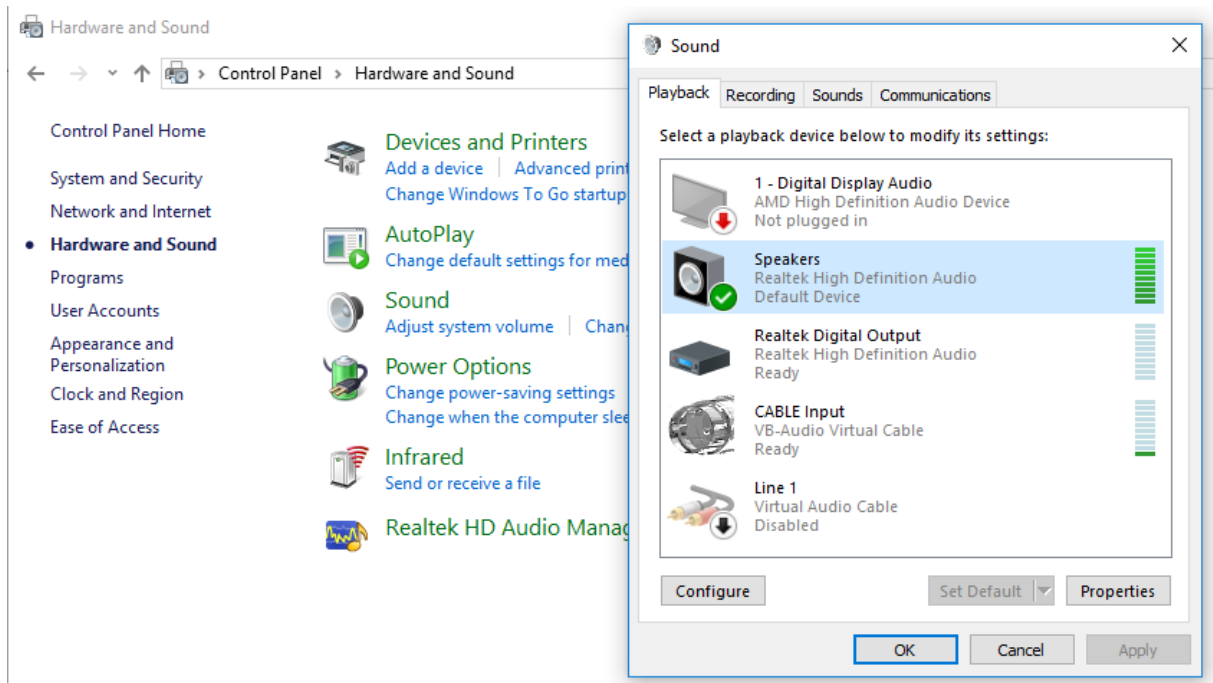
Virtuaalset helijuhet kasutatakse arvutis heli saatmiseks ühest programmist teise. Meie kasutame virtuaalset helijuhet selleks, et viia raadiosignaal helilisel kujul raadioprogrammist [demoduleerimis](#) programmi, mis eraldab sondpallilt saadetud raadiosignaalist teksti ja pildid.

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: www.vb-audio.com/Cable/index.htm
- 2) Leia ja vajuta oranži nuppu [**Download**]. See laeb alla **.zip** faili (1,113 kB, 2 sek). Tõsta **.zip** samasse kataloogi, kuhu oled tõstnud eelmised failid (**Töölaud → KOSMOS**).



- 3) Leia **.zip** fail oma arvutis ning paki see lahti eraldi ajutisse kausta (tee uus kaust, anna sellele unikaalne nimi). Pane kaust kuhugi, kus sa selle lihtsasti üles leiad.
- NB!** Virtuaaljuhtme paigaldamine võib asendada su vaikimisi heliseadme virtuaaljuhtme omaga, mille tulemusena su arvuti enam helisid ei mängi. Endise olukorra taastamiseks vaata, mis on su arvuti vaikimisi heliseade ning vajadusel vaheta see peale **VAC** installeerimist tagasi.
- 4) Paremkliki arvuti **helitugevuse** nupu peale ja vajuta avanenud menüüs nuppu [**Helid**]. Teine viis sinna saada on läbi juhtpaneeli: **Juhtpaneel → Riistvara ja heli → Heli**.
- 5) Avanenud aknas vajuta ülemises menüüs nuppu [**Taasesitus**].
- 6) Vaata, milline heliseade on hetkel vaikimisi valitud (näidatud rohelises ringis linnukesega) ja jäta see meelde (kirjuta üles).
- 7) Ava nüüd administraatorina punktis 3. loodud kaustas fail **VBCABLE_Setup_x64.exe** – paremkliki sellel ja vali [**Käivita administraatorina**]. Sellega installeeritakse virtuaalne helijuhe uue heliseadmena su arvutisse.
- 8) Vaata tagasi heliseadete aknasse. Kui vaikimisi heliseade on muudetud, muuda see tagasi.



2.7 DL-fldigi (helikaardi dekodeerimistarkvara)

Kasutusala:

Helikaardi dekodeerimistarkvara kasutatakse digitaalse helisignaali dekodeerimiseks tekstiks või piltideks. Meie suuname sondpalli [raadiosaatjast](#) raadioprogrammi abil vastu võetud signaali siia, et sellest kätte saada tekst ja pildid.

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: ukhas.org.uk/projects:DL-fldigi
- 2) Leia **Version 3.1** → **Binaries** → **Windows** ja vajuta allalaadimise nupule [**DL-fldigi-DL3.1-windows-2abd6a7.exe**] (võib olla veidi teistsuguse nimetusega). Sellega laetakse alla **.exe** fail (3,8 MB, 10 sek). Tõsta see **.exe** samasse kataloogi, kuhu oled tõstnud eelmised failid (**Tööriistad** → **KOSMOS**).

Version 3.1

- Source: [dl-fldigi on Github](#). The git commit of the latest stable release is 2abd6a7 (tag DL3.1).
- Binaries:
 - Mac OS X: [dl-fldigi-DL3.1-macosx-2abd6a7-d955180.zip](#)
 - Mac OS X (10.5.8 ONLY): [dl-fldigi-DL3.1-macosx-10.5.8-2abd6a7.dmg](#)
 - Windows: [dl-fldigi-DL3.1-windows-2abd6a7.exe](#)
 - Ubuntu Linux debs: <https://launchpad.net/~simrunbasuita/+archive/dl-fldigi>
 - Raspbian: <https://ukhas.org.uk/projects:dl-fldigi:install-raspbian>
- Source:

- 3) Käivita allalaetud fail ning paigalda programm (näiteks kausta **KOSMOS**). **Jäta meelde asukoht**, kuhu sa selle paigaldasid.
- 4) Leia paigaldamise asukoht üles. Tee **DL-fldigi.exe** failist otsetee (paremkliki faili nimel ja vali **Loo otsetee**). Windows võib öelda, et ta ei saa sellele aadressile otseteed teha ning teeb otsetee **Tööriistale**, vajuta [**OK**].
- 5) Paremkliki otsetee ikooni peal ja vajuta **Atribuudid**. Atribuutide aknas on tekstiväli **Sihitüksus**, mis on programmi aadress, seal on kirjas midagi sellist: **E:\program\DL-**

fldigi-3.21.50\DL-fldigi.exe. Kirjuta sinna lõppu „**-hab**“ („E:\program\DL-fldigi-3.21.50\DL-fldigi.exe“ **--hab**). Sellega öeldakse programmile, et ta peab avanema hab (*high altitude balloon*) režiimis. Vajuta [**Rakenda**] ja [**OK**].

- 6) **NB!** Kui hiljem kasutame **DL-fldigi** programmi, siis ainult läbi eelnevas punktis loodud otsetee!

2.8 Notepad++ (kooditöõtlustarkvara)

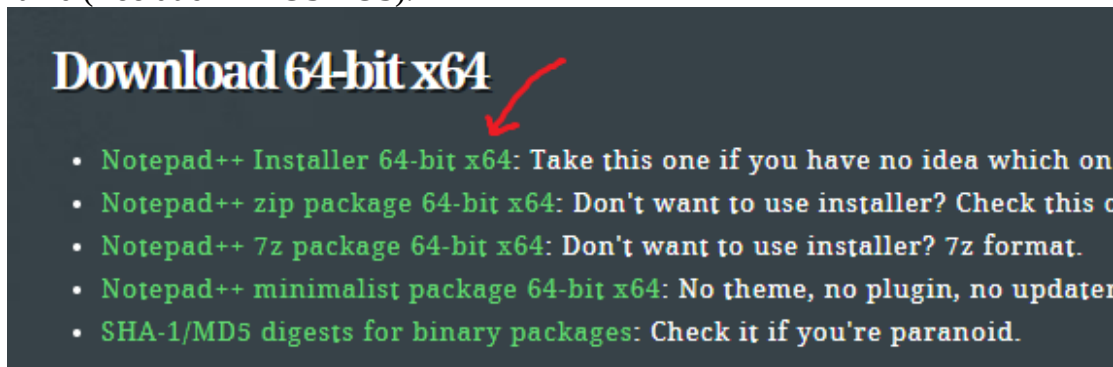
NB! Kooditöõtlustarkvara **Notepad++** ei ole otseselt vaja, aga võrreldes tavalise Notepadiga on meil sellega oluliselt mugavam programme töödelda.

Kasutusala:

Notepad++ kasutatakse peamiselt koodi kirjutamiseks ja programmeerimisega seotud failide muutmiseks, kuna ta oskab koodi osasid erinevate värvidega hästi esile tuua ning seda on mugav kasutada. Meie kasutame seda **Pythoni** koodi kirjutamisel.

Paigalda tarkvara:

- 1) Mine lingile: notepad-plus-plus.org/download/v7.6.html
- 2) Leia **Download 64-bit x64** ja vajuta nuppu [**Notepad++ Installer 64-bit x64**]. See laeb alla **.exe** faili (4,5 MB, 5 sek). Tõsta **.exe** samasse kataloogi, kuhu oled tõstnud eelmised failid (**Töölaud** → **KOSMOS**).



- 3) Käivita alla laetud **.exe** fail ning paigalda programm.

3. Raspberry Pi operatsioonisüsteemi paigaldamine

Vajalikud vahendid:

- **Windows (10) arvuti**, kuhu on installeeritud **Etcher**
- **Mikro-SD kaart**, vähemalt 8 MB
- Mikro-SD kaardi **adapter**, mille abil saab kaarti sinu arvutiga ühendada (kas mikro-SD → SD või mikro-SD → USB)

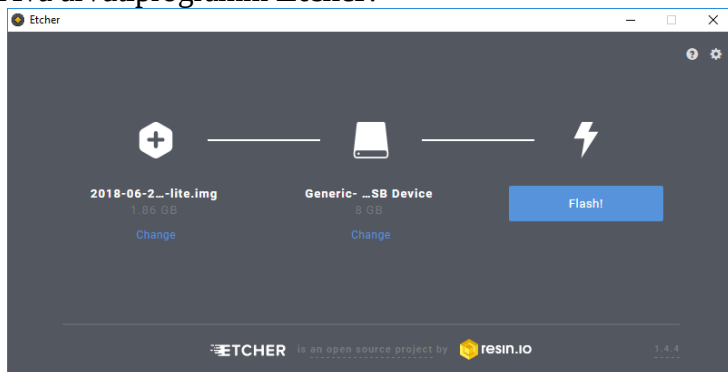
Raspberry Pi vajab töötamiseks mikro-SD **mälukaarti**, millele on eelnevalt paigaldatud **operatsioonisüsteem**. Järgnevalt loome Raspberry Pi operatsioonisüsteemi sisaldava **microSD** kaardi.

Operatsioonisüsteemi paigaldamine mälukaardile

- 1) Ühenda mälukaart adapterit kasutades arvutiga.

NB! Kontrolli, et mälukaardi peal ei oleks faile, mida sa kaotada ei taha – operatsioonisüsteemi paigaldades kustutakse kaardilt kõik varasem ära.

2) Ava arvutiprogramm **Etcher**.



3) Vajuta nupp [Select Image] ja leia RASPBIAN STRETCH LITE .img fail, mille varem alla laadisid (käesoleva juhendi punktis 2.1).

4) Vajuta nupp [Select Drive] ja vali mälukaart, mille arvutiga ühendasid. Veendu, et valisid õige salvestusseadme – kõhkluse korral eemalda arvutilt eelnevalt kõik teised (USB) mälupulgad, mälukaardid vms!

5) Vajuta [Flash!] nupp.

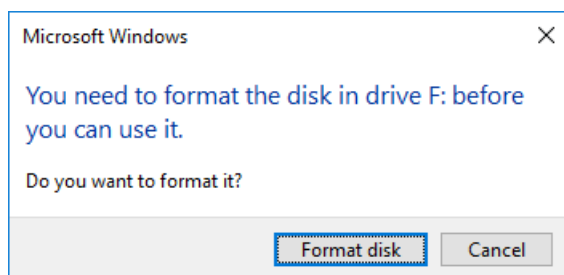
Nüüd tuleb mõni minut oodata, kuni Etcher kirjutab operatsioonisüsteemi micro-SD kaardi peale.

NB! Ära võta kaarti arvutist välja enne, kui Etcher on lõpetanud.

Kirjutamine koosneb kahest faasist:

- **Flashing** – kaardile info kirjutamine. Kestab 0-100%
- **Validating** – kaardi info üle kontrollimine. Kestab 0-100%

NB! Kontrollimise ajal võib Windows kuvada sellise teavituse:



Sellisel juhul vajuta Windowsi formateerimisdialogi aknas [Katkesta] või pane see aken nurgast [X] kinni. Seletus: Etcheri töö ajal esineb hetki, mil Windows ei saa mälukaardi sisust aru. Igaks juhuks pakub Windows välja kaardi vormindamise – **eira seda teavitust**.

6) Etcher on lõpetanud kirjutamise, kui aken muutub ja ilmub roheline linnuke tekstiga **Flash Complete!**.

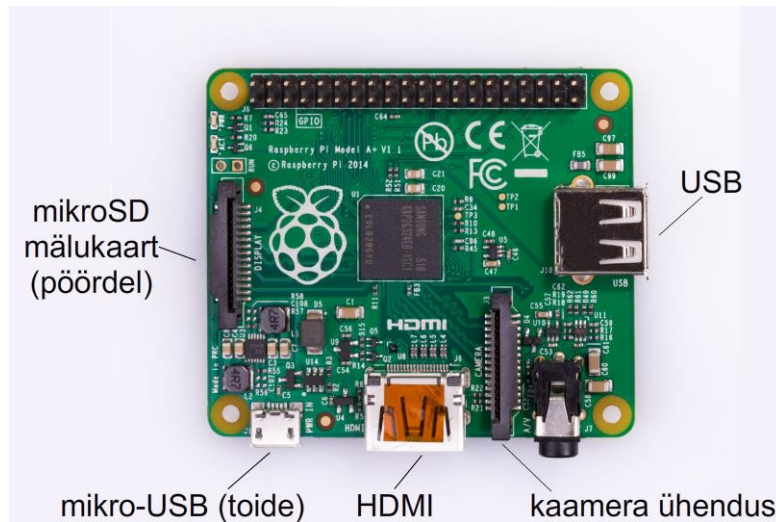
Nüüd võib Etcheri kinni panna ja kaardi arvutist välja võtta.

4. Pi seadistamine arvutiga suhtluseks

Nüüd on meil olemas mälukaart Pi jaoks vajaliku operatsioonisüsteemiga. Järgnevalt paneme Pi käima ja muudame selle seadistusi nii, et edaspidi saaksime teda kontrollida otse arvutist.

Vajalikud vahendid:

- **Raspberry Pi**
- **Monitor**, millel on **HDMI** sisend ja HDMI ühenduskaabel
- **USB klaviatuur**
- Raspberry Pi toiteks **mikro-USB** → **USB juhe** (enamikul nutitelefonidest on selline laadimisjuhe). Juhtme võid ühendada arvuti USB porti või **akupanga** külge



Joonis 4.1. Raspberry Pi A+ versiooni portide asetus

4.1 Algseadistused

- 1) Sisesta **mikro-SD kaart** Pi all asuvasse mikro-SD kaardipesasse.
- 2) Ühenda **monitor HDMI** juhtmega.
- 3) Ühenda **klaviatuur USB porti**.
- 4) Ühenda **mikro-USB** → **USB juhe** Raspberry Pi **mikro-USB pordi** ja **toiteallika** (arvuti USB port, akupank, vms) vahele.
- 5) Oota, kuni ekraanile tuleb **login** valik. Pi käivitumine võtab aega paar minutit.
- 6) Logi sisse, kasutades kasutajanime **pi** ja parooli **Raspberry**.

NB! Iga rida on eraldi käsklus. Kirjutatud ridu saab sisestada, vajutades klaviatuuril [Enter] klahvi. Ära kohku, kui sa **parooli sisestades tärne ei näe** – parooli tähti ekraanile ei näidatagi.

NB! Raspberry Pi on valmis käskle vastu võtma, kui ta kursor vilgub teksti **pi@Raspberrypi:~\$** järel.

NB! Pärast sisse logimist tuleb Pi parool muuta. Sisesta käsureale **passwd** ja vajuta [Enter]. Sisesta üks kord vana ja kaks korda uus parool. **Jaga kohe peale muutmist uut parooli oma meeskonna liikmetega.** Meie kasutame näites parooli **K0smos**. Kui sa ei kavatse kasutada tundlikke andmeid, soovitame kasutada sama parooli.

4.2 Klaviatuuriseade

Pi kasutab inglise klaviatuuri, kus mitmed tähed/sümbolid on võrreldes eesti klaviatuuriga teistes kohtades:

⌵ à ;	1	2 ä	3	4 €	5 %	6 ^ â	7 &	8 *	9 (	0)	-	+ =	Backspace
Tab	Q	W ŵ	E é	R	T	Y ý	U ú	I í	O ó	P	{	}	~ # ã
Caps Lock	A á	S	D	F	G	H	J	K	L	:	@	Enter	
Shift	 \	Z	X	C ç	V	B	N	M	<	>	?	Shift	
Ctrl	Win	Alt							Alt Gr	Win	Menu	Ctrl	

Me kasutame Raspberry Pi klaviatuuri väga vähe. Kui soovid klaviatuuri asetuseks määrata **eesti**, siis järgi juhendit lehel: thepihut.com/blogs/Raspberry-pi-tutorials/25556740-changing-the-Raspberry-pi-keyboard-layout

Kuna me kasutame Pi klaviatuuri väga vähe, siis võib lihtsam olla kasutada vaikimisi seatud USA inglise seadistust, jättes meelde, kus asuvad meile vajalikud tähed klaviatuuril:

Klahv(i)d, mida sümboli kirjutamiseks vajutada

Vajalik sümbol: /	-
Vajalik sümbol: -	? + \
Vajalik sümbol: _	Shift ja ? + \
Vajalik sümbol: =	Shift (jääb paremale pluss klahvist)
Vajalik sümbol: {	Shift ja Ü
Vajalik sümbol: }	Shift ja Ö \$

4.3 Seadete muutmine

NB! Kui sul on **Raspberry Pi ver 3**, siis peale punkti 4.3 täitmist **tee läbi ka punkt 4.6**. Raspberry Pi ver 3 sisaldab *Bluetooth* raadiot, millega koos PITS moodul (meie sondpalli raadiosaatja) ei tööta. Raspberry Pi ver 3 puhul tuleb *Bluetooth* raadio välja lülitada. Samuti on Pi ver 3 puhul **WiFi integreeritud**, mis tähendab, et selle puhul me eraldi USB WiFi pulka ei vaja – kuid WiFi seadistused tuleb ikkagi teha täpselt nii nagu juhendis näidatud.

Muudame suure hulga seadeid ära, mis on kõik meile vajalikud. **Tee kõik järjest läbi!**

- 1) Sisesta Pi-s järgmine koodirea:

sudo raspi-config

Avaneb hall aken, kus me muudame ära mõned seadmed. Avanenud aknas navigeeri **nooleklahve** ja **[Enter]** klahvi kasutades.

sudo on erilise staatusega käsusõna talle järgneva käskluse jooksuputamiseks (vaikimisi ei ole lubatud kõiki käsklusi niisama jooksuputada ning nendele tulebki õigus **sudo** kaudu anda).

raspi-config on käsklus Raspberry Pi **seadete** avamiseks.

- 2) Muuda ära järgnevad seaded (anna igaühele eraldi staatuseks **enabled**):
- **NB!** Peale iga kinnitust liigutakse tagasi menüü algusesse. Tee menüüvalikuid aeglaselt ja valikuid kontrollides.
 - **Interfacing options** → **ssh**
 - **Interfacing options** → **spi**
 - **Interfacing options** → **i2c**
 - **Interfacing options** → **1-wire**
 - **Interfacing options** → **camera**
- Seejärel vajuta nool paremale ja vali [**Finish**].
- 3) **Taaskäivita** Raspberry Pi. Seda võimalust pakutakse ka ekraanile. Taaskäivitamist saab alati teha ka nii, et võtad Pi-lt voolujuhtme küljest ja paned selle siis tagasi.

4.4 Võrguühenduse saamine

Selleks, et kontrollida Pi-d otse oma arvutist, on vaja mõlemad seadmed ühendada samasse WiFi võrku. Juhendis kasutame Android telefoni funktsiooni **Mobiilne WiFi-kuumkoht**, sest niimoodi on meil lihtne vaadata Raspberry Pi **IP aadressi**, samuti saab sellisel juhul teha välitingimustes ootamatult vajalikuks osutunud seadistusi.

NB!

- Kuni Raspberry Pi on ühendatud monitoriga, näed Pi IP aadressi peale seda, kui Pi käivitumisprotsess on lõppenud (mõni rida käsureast ülevalpool).
- Saad kasutada tavalist ruuterit juhul, kui ruuteri seadistus lubab pöörduda ühel arvutil teise poole – saad seda kontrollida, sisestades Windows CMD aknas (**Start** → **Run** → **Cmd**) käsu **ping Raspberry_pi_IP_aadress** – kirjuta IP aadress kujul, nagu see tavaliselt esineb. Kui ping ei leia Raspberry Pi-d üles, siis see ruuter meie ülesande jaoks ei sobi.
- Kui sa kasutad telefoni funktsiooni **mobiilne WiFi-kuumkoht**, siis sellesse võrku ühendatud arvuti võib tarbida märkimisväärselt telefoni mobiilse interneti mahtu. Kui su mobiilside paketi andmemahut on väike, siis sulge arvutis kõik internetti tarbivad programmid ja vajadusel pane telefon 2G režiimile – sellega vähendad ohtu, et tarbimine tooks kaasa suure arve. Samuti on mobiilside paketi väikese mahu korral kindlam kasutada võrguna tavalist WiFi võrku, kuid see on võimalik vaid siis, kui sul on juurdepääs ruuteri seadistustesse (et näha Raspberry Pi IP aadressi).
- Telefoni kaasaskantava tugijaama seadistusi näed nii: **Seaded** → **Võrk ja internet** → **Kuumkoht ja jagamine** → **WiFi-kuumkoha seadistamine** (erinevates Androidi versioonides võivad menüüid olla erinevalt paigutatud).

Raspberry Pi seadistamine:

- 1) Sisesta Pi-s järgmine koodirida:

sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf

nano on käsklus mitmesuguste tekstifailide avamiseks nii, et neid vaadata ja muuta saab.

/etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf on netiseadete fail. Kui ühendame USB WiFi seadme Pi-ga, siis Pi loeb muuhulgas ka seda faili, et otsustada, mida teha.

- 2) Avaneb algeline tekstitötlusaken. Mine nooleklahvidega täiesti faili lõppu ja kirjuta sinna järgmised read (suur ja väiketähed on olulised, vaata, et **kasutaksid loogelisi sulgusid** – nii alguses kui ka **lõpus!**):

```
network={
ssid="SINU_VÕRGU_NIMI"
psk="SINU_VÕRGU_PAROOL"
proto=RSN
key_mgmt=WPA-PSK
pairwise=CCMP
auth_alg=OPEN
}
```

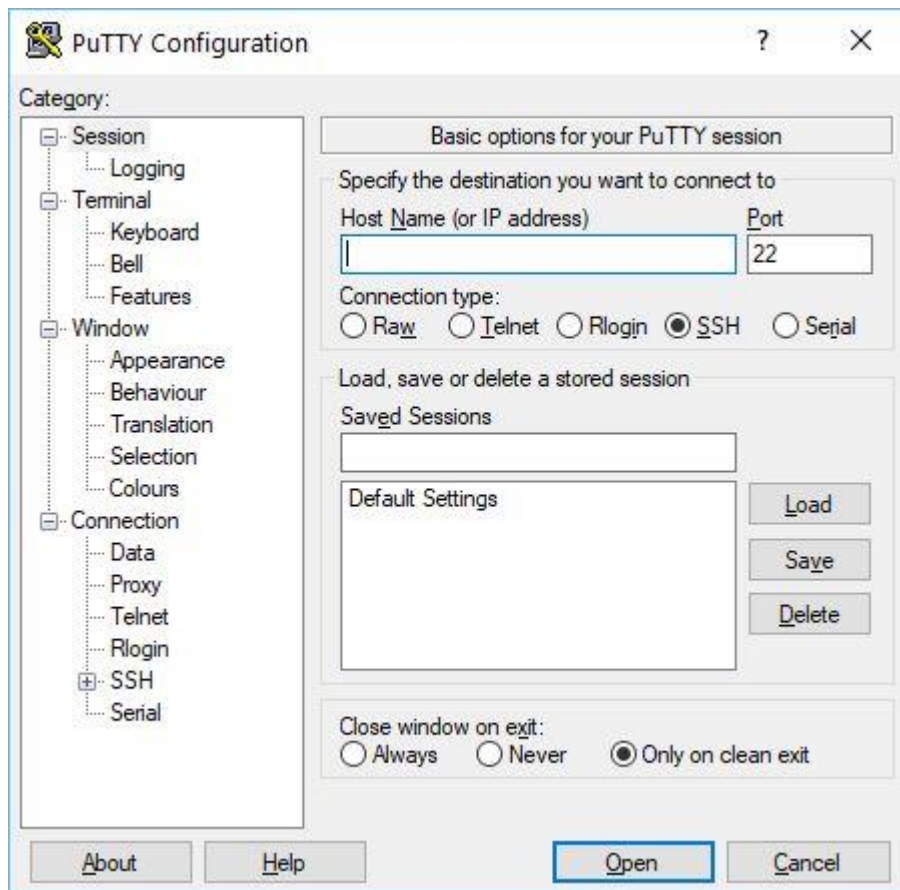
NB! SINU_VÕRGU_NIMI asemele kirjuta kasutatava WiFi (telefoni või ruuteri loodud) **võrgu nimi**. SINU_VÕRGU_PAROOL asemele kirjuta WiFi võrgu **salasõna**. Kontrolli, et nii **nimi** kui ka **salasõna** asuvad **jutumärkides** nii, nagu näites! WPA-PSK peaks suure tõenäosusega töötama ka siis, kui WiFi võrgu **turvaseadistus** on WPA2-PSK – **ära seda esialgu muuda**.

Sellega oleme Pi-le teada andnud selle võrgu nime, millega ta vaikimisi ühenduda proovib. Meie jaoks on oluline, et läbi selle võrgu saame Pi-d oma arvutist kontrollida.

- 3) On aeg **salvestada muudatused**. Nano abil avatud failide salvestamine käib nii:
- Vajuta klaviatuuril [CTRL] + [X]. See klahvikombinatsioon salvestab ja sulgeb faili.
 - Pi küsib, kas tahad faili salvestada. Vajuta klahvi [Y] mis tähendab „jah“.
- Nüüd pakutakse salvestatava faili nime – ära seda muuda, vajuta [Enter].
- 4) Kontrolli, et telefoni **мобиilne WiFi-kuumkoht** on **sisse lülitatud**.
- 5) Lülita Pi välja (**ühenda toitejuhe lahti**). Ühenda klaviatuur asemele **USB WiFi seade** ja lülita Pi seejärel käima (**ühenda toitejuhe tagasi**).
- 6) Vaata telefoni võrgu seadetest, kas Pi on võrguga ühendatud. Kui ei, siis võisid faili valesti seadistada. Kui Pi ühendus, siis tähenda üles selle IP (näiteks **192.168.43.204**), seda läheb hiljem vaja.

4.5 Arvutiga ühendumine

- 1) **Veendu**, et Raspberry Pi **töötab** ja **on võrgus**.
- 2) Ühenda oma **arvuti** Raspberry Pi-ga **samasse võrku**.
- 3) Ava arvutis **PuTTY**. Kirjuta **Host Name** valikusse Raspberry Pi **IP-aadress**. **Port** jäta 22.



- 4) Vajuta [**Open**]. Kui kõik on õigesti häälestatud, siis avaneb aken küsimusega – vajuta lihtsalt [**Yes**].
Kui ühendust ei looda, siis veendu, et telefoni kuumkoht on sisse lülitatud, et selle seadistustes on näha nii arvuti, milles PuTTY-t kasutad kui ka Pi, ning et kasutad õiget IP aadressi.
- 5) Avaneb musta taustaga aken, kus kursoriks on roheline kast. Läbi selle akna suhtled Pi-ga täpselt nii nagu oleksid otse Pi käsureal: samamoodi logid sisse ja samamoodi on võimalik käskusid saata.
Kui kõik toimib, siis võid USB klaviatuuri ja monitori nüüd ära panna, neid ei ole enam vaja – käsklusi sisestame arvuti kaudu.

NB! Jäta meelde, et Raspberry Pi käivitamine võtab aega mõne minuti – enne seda PuTTY temaga ühendust ei saa.

NB! PuTTY puhul tuleb meele pidada, et kui Raspberry Pi välja lülitad, siis ühendus katkeb ning ühendus ei taastu Pi käivitamisel automaatselt. Siis tuleb uus PuTTY aken avada ja uuesti sisse logida.

NB! Mõnikord võib side Pi ja arvuti vahel katkeda (**Network error** või PuTTY on **Inactive**), näiteks sellepärast, et võrku tegev telefon asub liiga kaugel (WiFi võrgu levikaugus võib halbades oludes jääda isegi alla 10 meetri!). Ka sellisel juhul tuleb PuTTY sulgeda ja side uuesti luua, kuid tavapärastelt saad jätkata sealt, kus pooleli jäid. Jälgi hoolega tekste ekraanil, sest Pi võib anda tagasisidet täiendavate käskude sisestamiseks!

```
pi@raspberrypi: ~  
login as: pi  
pi@192.168.43.204's password:  
Linux raspberrypi 4.14.79+ #1159 Sun Nov 4 17:28:08 GMT 2018 armv6l  
  
The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;  
the exact distribution terms for each program are described in the  
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.  
  
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent  
permitted by applicable law.  
Last login: Sat Dec 8 09:37:15 2018 from 192.168.43.49  
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get install python3-pytrack  
E: dpkg was interrupted, you must manually run 'sudo dpkg --configure -a' to cor  
rect the problem.  
pi@raspberrypi:~$
```

4.6 Raspberry Pi versioon 3

NB! Kui sul ei ole Raspberry Pi versioon 3, siis jäta see punkt vahele.

Raspberry Pi ver 3 sisaldab *Bluetooth* raadiot, millega koos PITS (meie sondpalli raadiosaatja) ei tööta. Töö tagamiseks on meil vaja *Bluetooth* radio välja lülitada.

- 1) Muuda faili **/boot/config.txt**, kirjutades:
sudo nano /boot/config.txt
- 2) Lisa selle faili viimaseks reaks:
dtoverlay=pi3-disable-bt
See käsk lülitab Raspberry Pi *Bluetooth* radio välja (peale taaskäivitamist).
- 3) Vajuta **[Ctrl]+[X]** ja seejärel **[Enter]** faili salvestamiseks.
- 4) Sisesta käsureale (konsooli) järgmised read (peale teist rida Pi taaskäivitub):
sudo systemctl disable hciuart
sudo reboot

5. Pythoni ja PyTracki installeerimine (30 minutit)

Selles osas **paigaldame** *Pi in The Sky* (**PITS**) plaadi juhtimiseks vajalikud **Pythoni** ja **PyTrack** teegid:

- **Python** on lihtne programmeerimiskeel, mida kasutatakse peamiselt arvutiprogrammidele lisade ja lihtsate konsoolirakenduste kirjutamiseks. Meie kasutame Pythonit oma sondpalli **raadiosaatja programmi** loomiseks.
- **PyTrack** on **vahelüli** Pythoni ja PITS mooduli vahel, mis teeb võimalikuks lihtsa suhtluse PITS-plaadiga.

Linux-i põhistel operatsioonisüsteemidel on lisateekide paigaldamine väga lihtne. Serverilt küsitakse nime järgi [teek](#), mida soovitakse ning siis paigaldatakse see automaatselt. See on üpris sarnane näiteks Google Play või Apple Store poodidele sinu nutitelefonis.

Paigaldamine on lõppenud siis, kui roheline kursor taastub:

```
pi@raspberrypi: ~  
login as: pi  
pi@192.168.43.204's password:  
Linux raspberrypi 4.14.79+ #1159 Sun Nov 4 17:28:08 GMT 2018 armv6l  
  
The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;  
the exact distribution terms for each program are described in the  
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.  
  
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent  
permitted by applicable law.  
Last login: Sat Dec 8 09:29:07 2018 from 192.168.43.49  
pi@raspberrypi:~$ sudo apt-get update  
Get:1 http://archive.raspberrypi.org/debian stretch InRelease [25.3 kB]  
Get:2 http://raspbian.raspberrypi.org/raspbian stretch InRelease [15.0 kB]  
Get:3 http://archive.raspberrypi.org/debian stretch/main armhf Packages [200 kB]  
Get:4 http://archive.raspberrypi.org/debian stretch/ui armhf Packages [40.3 kB]  
Get:5 http://raspbian.raspberrypi.org/raspbian stretch/main armhf Packages [11.7  
MB]  
Fetched 11.9 MB in 37s (319 kB/s)  
Reading package lists... Done  
pi@raspberrypi:~$
```

5.1 Python3 paigaldamine

Python3 paigaldamiseks kirjuta konsooli järgmised read:

sudo apt-get update

sudo apt-get install python3

apt-get update küsib serverilt värskeima teekide loetelu. See on meie Raspberry Pi-s teekide kõige uuemate versioonide allalaadimiseks vajalike internetiaadresside uuendamiseks.

apt-get install ütleb, et me soovime paigaldada teeki järgneva nimega. Meie näites oleme valinud teegi **python3**.

Paigaldamine võtab veidi aega. Mingi hetk küsib Pi: **Continue installing? [Y/n]**. Sisesta [Y], et paigaldus lõpule viia. Kui sisestasid kogemata midagi muud, siis lihtsalt korda paigaldamist.

5.2 PyTrack paigaldamine

Teegi paigaldamiseks kirjuta konsooli:

sudo apt-get install python3-pytrack

Seekord ei ole vaja **apt-get update** kirjutada, kuna see sai just mõni hetk tagasi tehtud.

Paigaldamine võtab veidi aega. Mingi hetk küsib Pi **Continue installing? [Y/n]**. Sisesta [Y], et paigaldus lõpule viia. Kui sisestasid kogemata midagi muud, siis lihtsalt sisesta paigaldamise käsklus uuesti.

5.3 Raspberry Pi jadaühenduse seadete muutmine

Muudame veel Pi seadmeid. Selleks kirjutame jällegi konsooli:

sudo raspi-config

Seejärel navigeeru avanenud aknas: **Interfacing options** → **Serial**. Sinult küsitakse kaks küsimust.

- **Enable login**, vasta: **No**
- **Enable hardware**, vasta **Yes**.

6. Pythoni skriptid, nende kirjutamine ja käivitamine

Selles seksioonis vaatame, kuidas **kirjutada** Raspberry Pi-le **Pythoni skripte** ja õpime, kuidas Pythonis teha **matemaatikat**, kasutada **muutujaid** ja **loogilisi lülitusi**. Selle läbi tutvume Pythoniga piisavalt, vaatamaks järgmises peatükis, kuidas PyTrack teeki kasutada.

6.1 Pythoni skripti kirjutamine

Pythoni skript on lihtsalt tekstifail, mis sisaldab Pythoni käsklusi. Me kirjutame faili valmis arvutis ja siis tõstame FileZilla abil üle võrgu Pi peale. Pythoni faile saab kirjutada ka Pi-s endas, ent arvutiga käib see tegevus palju mugavamalt.

NB! Jälgi koodinäiteid täpselt. Iga tühik, iga kirjavahemärk peab asuma täpselt nii nagu näites toodud on. Kui programm ei tööta, siis esimese asjana kontrolligi programmi teksti kirjutamise õigsus üle. Vaata juurde ka TTÜ informaatikainstituudi õpikust „Tutvumine Pythoniga“ (bit.ly/2EkItPB), lk 19-21.

6.1.1 Skripti kirjutamine arvutis

Kui sul ei ole veel kindlat kausta, kus Pythoni faile hoidma hakata, siis loo see või otsusta, et hakkad neid faile hoidma kaustas KOSMOS.

- 1) Ava **Notepad++**.
- 2) Vali ülevalt menüüst [**File**] → [**New**].
- 3) Vali ülevalt menüüst [**File**] → [**Save As**].
- 4) Salvesta fail kuhugi, kust sa selle üles leiad, nimega **hello.py**.
.py on Pythoni skriptide **faililaiend**. Faili salvestasime kohe enne selle muutmist ära, et **Notepad++** saaks aru, et kirjutame Pythoni skripti ning värviks teksti vastavalt sellele, mida kirjutame. Siis on koodi lihtsam lugeda.
NB! Kui lood Notepad++ abil uue faili, määra talle alati laiendiks **.py**. Vastasel juhul annab Notepad++ failile **.txt** laiendi ning Raspberry Pi ei suuda faili kirjutatud programmi täita. Kui sul on tunne, et laiendid ei toimi nagu vaja, veendu, et oled Windowsis failide laiendid nähtavaks teinud (vaata käesoleva peatüki [punkti 1.2](#) kolmandat lõiku).
- 5) Hoiame oma esimese faili väga lihtsa. Kirjuta sinna lihtsalt see rida:

```
print("tere, maailm!")
```

print() on funktsioon, mida kasutatakse teksti väljundisse saatmiseks. Raspberry Pi puhul on väljundiks konsooliaken, kuhu tekst uute ridadena ilmub.

„tere, maailm!“ on tekst. Tekst on jada karaktereid, mis eraldatakse programmi koodist jutumärkidega.

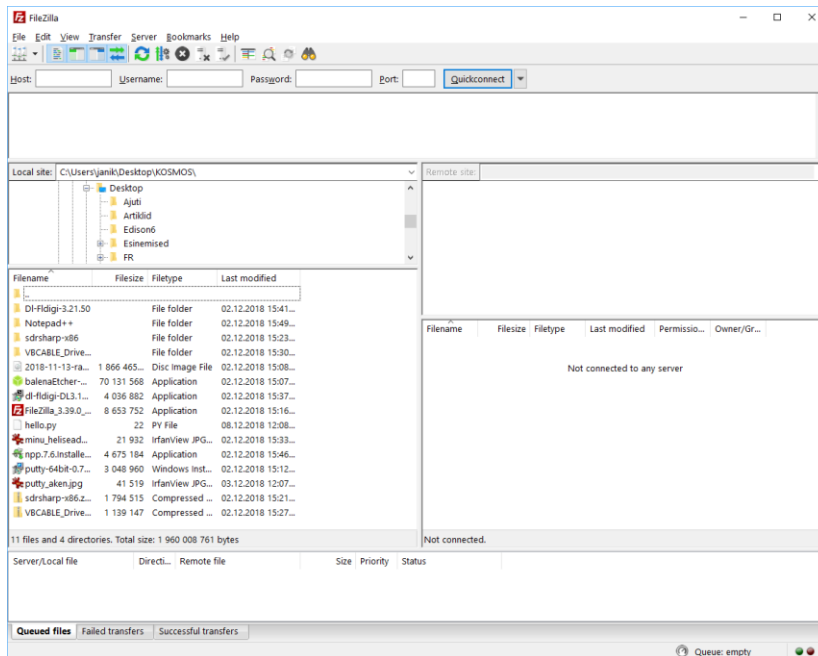
NB! Ära kasuta täpitähti. Pi ei oska neid lugeda.

- 6) Salvesta nüüd fail uuesti ära, valides ülevalt menüüst [**File**] → [**Save**].

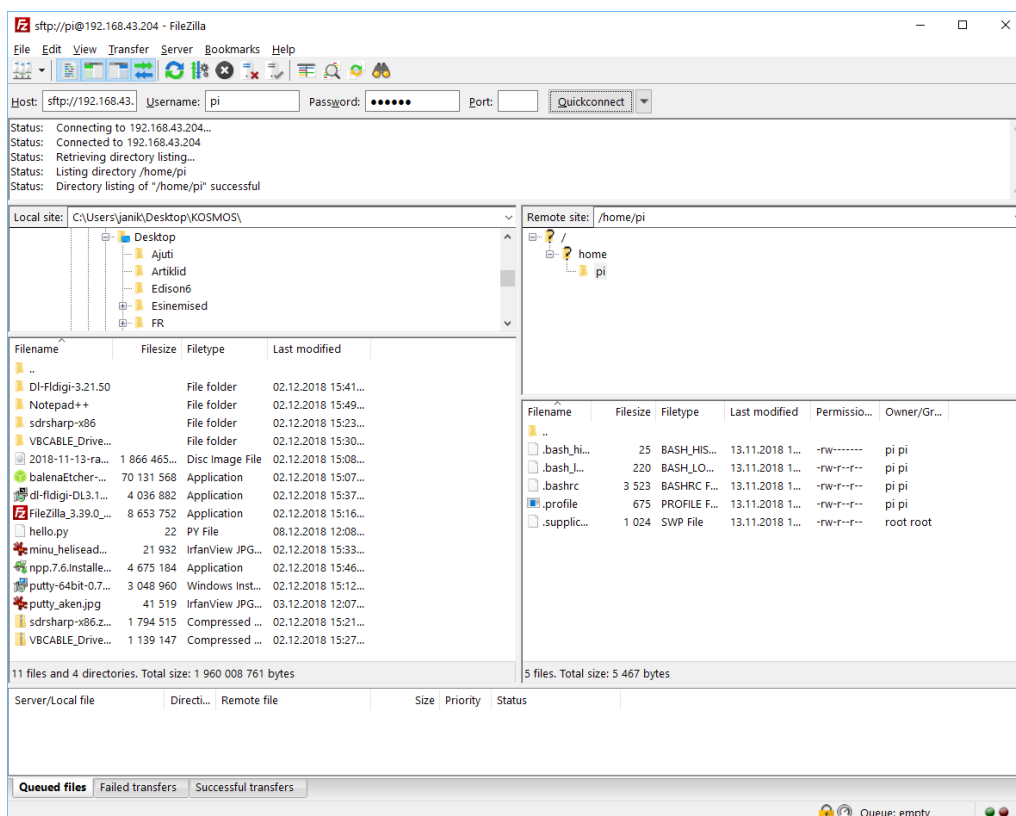
6.1.2 Skripti Raspberry Pi peale tõstmine

- 1) Ava **FileZilla** programm.

FileZilla akna keskosas on vasakul ja paremal näha kaks failihaldurit, millest parempoolne on hetkel tühi. Vasakpoolses on arvuti ning parempoolses on seade, millega ühendume.



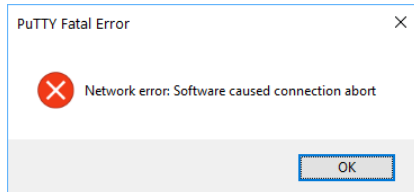
- 2) Täida programmi ülaosas väljad:
 - **Host** on Raspberry Pi **IP-aadress** võrgus – seesama, mida PuTTY jaoks kasutad.
 - **Username** ja **Password** on sinu Pi kasutaja andmed.
 - **Port** kirjuta 22.
- 3) Vajuta nuppu [**Quickconnect**].
- 4) Ette võib tulla dialoogiaken **Trust this certificate?** See tuleb ette, kuna FileZilla ei ole varem selle Pi-ga ühendunud ning küsib üle, kas tahame seda ikka teha. Vajuta [**Yes**].
- 5) Navigeeru vasakul **Pythoni skriptini**, mille eelnevalt tegime (**hello.py**).



- 6) Navigeeru paremal kausta **home** → **pi**.
- 7) Lohista Pythoni skript hiirega vasakult paremale **pi** kausta sisse.

6.1.3 Skripti käivitamine

- 1) Mine PuTTY-ga Pi konsooli.
Kui saad sellise veateate:



...siis käivita PuTTY uuesti (vt juhendi pt 4.5). Pea meeles, et igal käivitamisel tuleb kõigepealt sisestada kasutajanimi ja parool ning alles siis saab käsklusi saata.

- 2) Kui oled juba konsooli avanud, siis **veendu**, et **oled pea-kaustas**. Selleks kirjuta:

cd

cd on käsklus, mida kasutatakse konsoolis **kaustade vahel liikumiseks**. Tavaliselt kirjutatakse talle järele selle kausta aadress, kuhu minna tahame, kuid siin näites me seda ei teinud. Kui kirjutad ainult **cd**, siis **liigutakse** Raspberry Pi aktiivse kasutaja **kodu-kausta (login directory)**.

Teine käsklus, mida seoses **cd**-ga tihtipeale vaja läheb, on **ls**. See loetleb üles kõik aktiivse kausta alamkaustad.

- 3) Kirjuta konsooli see rida:

python3 hello.py

python3 on käsklus Pythoni skriptide avamiseks Python3-ga.

hello.py on faili nimi, mida avada/käivitada soovime.

Kui kõik läks hästi, siis peaksid nägema konsooli ilmumas uut rida:

tere, maailm!

```
pi@raspberrypi: ~
login as: pi
pi@192.168.43.204's password:
Linux raspberrypi 4.14.79+ #1159 Sun Nov 4 17:28:08 GMT 2018 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Sat Dec 8 10:15:33 2018 from 192.168.43.49
pi@raspberrypi:~ $ cd
pi@raspberrypi:~ $ python3 hello.py
tere, maailm!
pi@raspberrypi:~ $
```

Kui seda ei juhtu, vaata varasemad sammud üle ja veendu, et oled kõik õigesti teinud. Kontrolli failis **hello.py**, kas tekst „tere, maailm!“ asub jutumärkides.

6.2 Muutujad

Tihtiipeale on vaja, et programmi töö ajal mingid andmed jäetaks hilisemaks taaskasutamiseks meelde, olgu nendeks siis mõni arv, tekst või muu teave. Andmete programmis meelde jätmiseks kasutatakse muutujaid.

Tee arvutis uus Pythoni fail, näiteks **muutujad.py** ning ava see Notepad++ abil. Kirjuta sinna need kaks rida:

```
mingi_arv = 6
print(mingi_arv)
```

Esimese reaga me deklareerime uue muutuja nimega **mingi_arv** ning anname talle väärtuseks **6**. Nüüd olemegi programmis meelde jätnud arvu **6** ja saame selle hiljem kätte.

NB! Võrdusmärgil on siin veidi teine tähendus kui matemaatikas. Kahe väärtuse võrdsuse kontrollimise asemel on ta ülesanne väärtus üle anda. Võrdusmärgist paremal pool oleva arvu, tehte või muu asja väärtus kantakse üle vasakule poolele.

Teisel real me kasutame **print()** funktsiooni, et kuvada muutuja väärtus.

Muutujate peamine kasutus on muutuvate väärtuste hoidmine: me saame muutuja väärtust kasutada ja muuta.

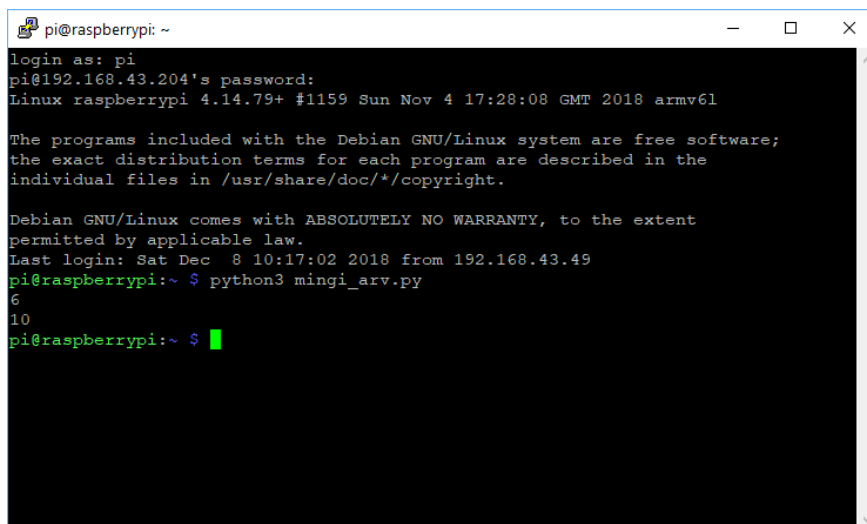
```
mingi_arv = 6
print(mingi_arv)

mingi_arv = 8
```

Väärtuse muutmine käib samamoodi nagu alguses muutuja loomine. Lihtsalt seekord andsime talle uue väärtuse.

Oleme muutujale väärtuse andnud ning seda ka lugenud. Lisaks saame muutuja väärtust muuta nii, et arvestatakse muutuja eelnevat väärtust:

```
# liidame 2
mingi_arv = mingi_arv + 2
print(mingi_arv)
```



```
pi@raspberrypi: ~
login as: pi
pi@192.168.43.204's password:
Linux raspberrypi 4.14.79+ #1159 Sun Nov 4 17:28:08 GMT 2018 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Sat Dec 8 10:17:02 2018 from 192.168.43.49
pi@raspberrypi:~ $ python3 mingi_arv.py
6
10
pi@raspberrypi:~ $
```

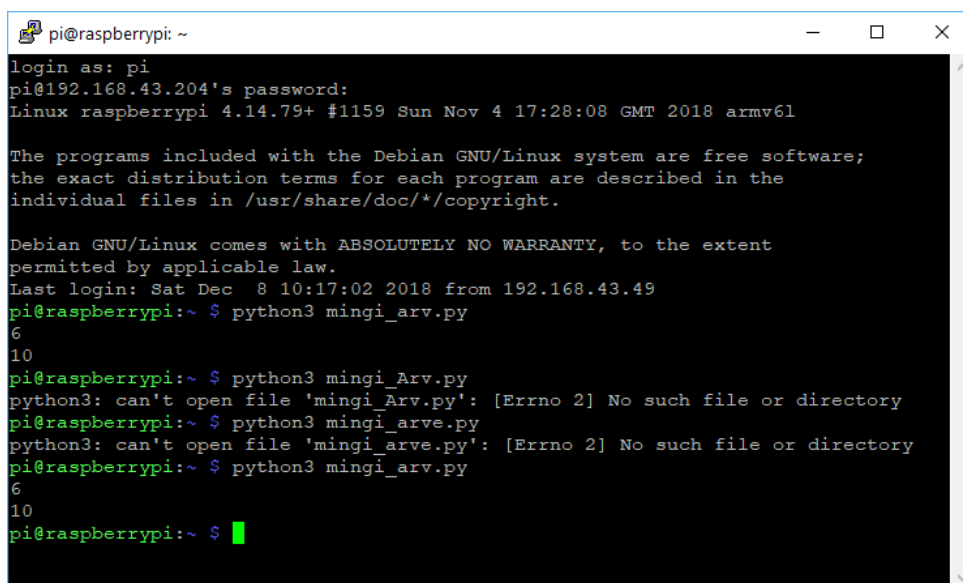
Selle näite koodis on näha teistest erinev, #-ga algav roheline rida teksti. See on kommentaar. Kommentaarid on osa koodist, mis on mõeldud ainult koodi lugejale. Seda osa koodist arvuti programmi täitmisel ei kasuta. Kommentaaride ülesanne on lihtsustada inimese jaoks programmi koodi hilisemat mõistmist.

Järgmises näites on kaks rida, mis teevad sama asja: liidavad muutuja hetkeväärtusele 2. Teist rida, mis kasutab +=, on lihtsam kirjutada.

```
# need teevad sama asja
mingi_arv = mingi_arv + 2
mingi_arv += 2
```

NB! Kui muudad või täiendad samanimelist .py faili arvutis, **ei kajastu need muudatused automaatselt** Pi-s. Kuna kirjutame koodi arvutis, siis iga kord, kui oleme teinud muudatusi failis, tuleb see fail salvestada ja FileZilla abil Pi-sse tõsta. Kuigi see tundub justkui topelttöö, on arvutis koodi kirjutada ikkagi oluliselt kiirem ja mugavam, kuna Notepad++ pakub funktsioonide ja muutujate nimesid ette ning neid ei ole vaja iga kord uuesti sisestada, selle asemel võib kasutada valikmenüüd. Kui tõstad FileZilla abil Pi-sse faili, mille nimeline on seal juba olemas, küsib FileZilla luba faili üle kirjutamiseks. Vasta **Yes**.

NB! Faili nime kirjutamisel on suured ja väikesed tähed olulised. Raspberry Pi ja Python ei leia faili üles, kui sa ei kirjuta faili nime täpselt nii nagu nimi failile salvestamisel anti. Kuna faili nime tuleb iga kord sisestada, siis hoiu failinimi ühest küljest lühike ja lihtne, teisalt piisavalt pikk, et eristada faili sisu. Kindlasti ära unustada sisestada faili laiendit *.py. Treeninguks **leia vead järgnevalt pildilt**:



```
pi@raspberrypi: ~
login as: pi
pi@192.168.43.204's password:
Linux raspberrypi 4.14.79+ #1159 Sun Nov 4 17:28:08 GMT 2018 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Sat Dec 8 10:17:02 2018 from 192.168.43.49
pi@raspberrypi:~ $ python3 mingi_arv.py
6
10
pi@raspberrypi:~ $ python3 mingi_Arv.py
python3: can't open file 'mingi_Arv.py': [Errno 2] No such file or directory
pi@raspberrypi:~ $ python3 mingi_arve.py
python3: can't open file 'mingi_arve.py': [Errno 2] No such file or directory
pi@raspberrypi:~ $ python3 mingi_arv.py
6
10
pi@raspberrypi:~ $
```

6.3 Tingimuslaused ja loogikalülitused

Tingimuslaused võimaldavad otsustada mingi tingimuse põhjal, kas käituda ühte või teist moodi. Teeme programmi, mis kirjutab konsooli „**ilusa kodu auhind**“ ainult sellisel juhul, kui muutuja **arv** väärtus on 7.

6.3.1 If-tingimuslause

Üks olulisi programmi koostisosi on **if** (eesti keeles **kui**) tingimuslause. Selle lause abil on võimalik täita määratud programmi osa vaid siis, kui selleks vajalik tingimus vastab tõele. Tingimuse tõele vastamisel täidetava koodiplokk kirjutatakse **if** lause alla uutele ridadele, aga **ühe TAB võrra** paremale nihutatult (TAB ehk tabulaator on sümbol, mille leiad klaviatuurilt tavapäraselt Caps Lock klahvi kohalt). Tingimus kirjutatakse tühikuga eraldatult kohe pärast märksõna **if**. Pärast tingimust käib **:** sümbol.

```
1 arv = 7
2 if arv == 7:
3     print("ilusa kodu auhind")
```

Kui eeltoodud „grammatikareegleid“ ignoreerida, annab Pi koodi käivitamisel vastava rea kohta veateate:

- Koolon puudu:

```
pi@raspberrypi:~ $ python3 tingimus.py
File "tingimus.py", line 2
    if arv == 7
    ^
SyntaxError: invalid syntax
```

- Paremale nihutamine puudu:

```
pi@raspberrypi:~ $ python3 tingimus.py
File "tingimus.py", line 3
    print("ilusa kodu auhind")
    ^
IndentationError: expected an indented block
```

Esmapilgul võib tunduda, et kahekordne võrdusmärk tingimuses on viga, ent see peabki nii olema. Kui ühekordset võrdusmärki kasutatakse väärtuse omistamiseks, siis kahekordset võrdusmärki kasutatakse võrduse kontrollimiseks: juhul kui mõlemad pooled on võrdsed, on võrdus tõene, muidu mitte.

6.3.2 Else-ja elif tingimuslause

If tingimuslausega käivad paaris ka **else** (vastasel korral) ja **elif** tingimuslause. Kui **if** tingimuslause koodiplokki täidetakse juhul, kui tingimus on tõene, siis **else** määratleb koodiploki, mida täidetakse juhul, kui tingimus ei ole tõene (on väär).

NB! **else** ja **elif** ridade lõpus käib samuti koolon. Ära seda unusta, muidu saad veateate!

```
arv = 5

if arv == 7:
    print("ilusa kodu auhind")
else:
    print("metsasalu")
```

Antud juhul võrdus `arv == 7` ei ole tõene, kuna muutuja väärtus on 5. Seega täidetakse hoopis **else** koodiplokk.

elif, nagu ka **else**, kutsutakse esile ainult esmase tingimuse mittetõesel väärtusel, ent ta annab võimaluse kasutada lisatingimust:

```
arv = 5
if arv > 7:
    print("ilusa kodu auhind")
elif arv < 5:
    print("metsasalu")
else:
    print("viis või kuus või seitse")
```

elif lauseid saab lõputult üksteise järele pookida ning sama saab teha ka **if** lausetega.

==, **>**, **<**, **!=**

Näeme, et siin on **==** asemel **<** ja **>** sümbolid. Need toimivad nagu matemaatikast meile tuttav on: **>** annab tõese väärtuse, kui vasakpoolne arv on suurem parempoolsest ja **<** vastupidi. On olemas ka **>=** ja **<=**, mis on vastavalt siis **suurem või võrdne kui** ja **väiksem või võrdne kui** ning **!=**, mis annab tõese väärtuse juhul, kui võrdus on väär ja vastupidi (näiteks võrduse **1 != 2** väärtus on tõene).

Üks asi, mida meeles pidada, on see, et kui kirjutad kaks **if** lauset üksteise järel, siis kontrollitakse mõlemat tingimust. Kui aga kirjutad **if** ja **else if** üksteise järel, siis **else if** tingimust kontrollitakse ainult siis, kui esimese **if** võrduse väärtus oli väär.

6.3.3 Topelttingimused

Oletame, et tahame konsooli kirjutada midagi siis, kui kaks muutujat on mõlemad üle 3. Me saaksime seda teha nii:

```
arv1 = 6
arv2 = 4

if arv1 > 3:
    if arv2 > 3:
        print("edukas!")
```

See tõepoolest töötaks, aga see ei ole teostuseks parim viis. Kaks tingimust saab omavahel kokku panna üheks tingimuseks, kasutades sõna **and** (eesti keeles **jah**).

```
if arv1 > 3 and arv2 > 3:
    print("tubli!")
```

Kui aga tahame ekraanile kirjutada juhul, kui vähemalt üks muutujatest on üle 3, siis kasutame **and** asemel **or** (eesti keeles **või**).

```
if arv1 > 3 or arv2 > 3:
    print("tubli!")
```

6.4 Tekstide loomine ja liitmine

Tekstide loomine on oluline osa raadiosignaali saatmisel – raadiosignaali teksti saadamegi. Selleks kasutame muutujaid, nagu arvudegi puhul.

Olemasolevale tekstile juurde lisamiseks kasutame += või +:

```
tekst = "tere, "  
  
tekst += "maailm!"  
  
print(tekst)
```

Näiteks ülemine programmijupp kirjutab konsooli „tere, maailm!“.

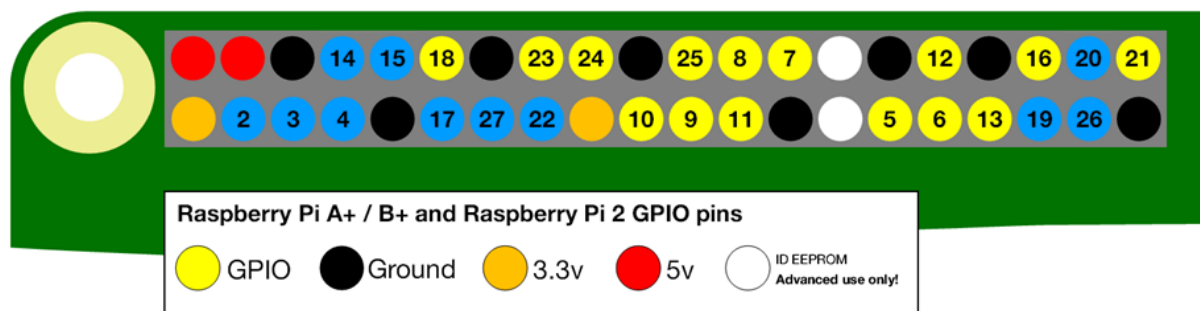
NB! Ära lase ennast häirida tavapära kirjutamisreeglitest. Võib juhtuda, et alguses paned näiteks peale jutumärke punkti, vt järgnev näide. Sellisel juhul teatab Pi, et tegemist on veaga.

```
tekst = "Tere, "  
tekst += "mina siin!".  
print(tekst)
```

```
pi@raspberrypi:~ $ python3 tekst.py  
File "tekst.py", line 2  
    tekst += "mina siin!".  
                ^  
SyntaxError: invalid syntax
```

6.5 Sisendite ja väljundite ühendamine

Raspberry Pi külge saab panna sisendeid ja väljundeid, kasutades ta küljes olevaid [GPIO](#) (*General Purpose Input Output*) pinne (rida nõelu tema ühel küljel). Kuna PITS plaat kasutab neidsamu pinne oma töö tagamiseks, siis on oluline teada, millised pinnid on vabad ning oma tarbeks kasutada ainult neid. Järgmisel joonisel on märgitud Raspberry Pi **pinnid**, nende **numbrid** ja **kasutusala**. Kollaseid võime kasutada.



NB! Mõned pinnid on PITS plaadi poolt juba kasutuses. Need on märgitud joonisel sinisega. Ära nende külge [andureid](#) ühenda!

Väljundid ühenduvad **kolme juhtmega**:

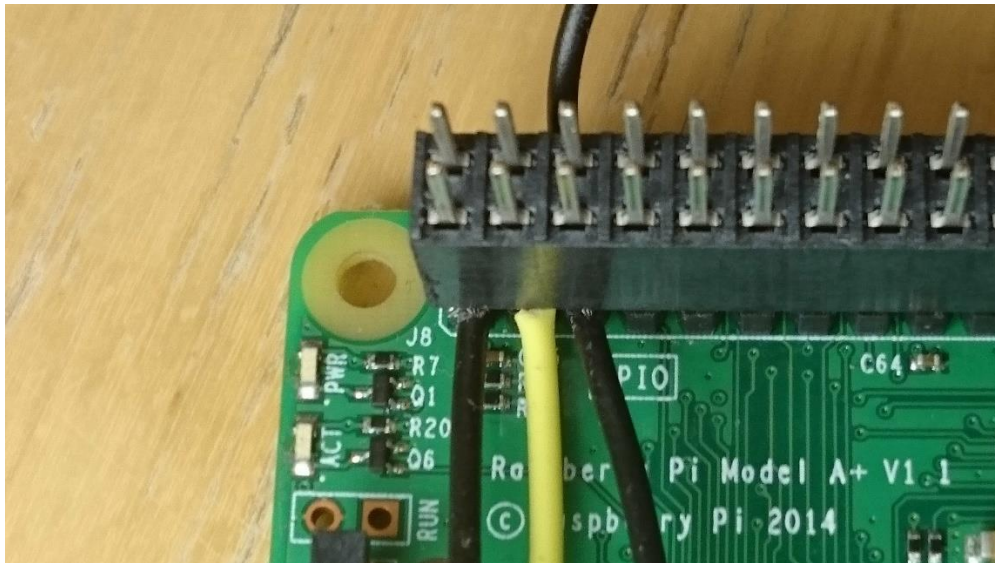
- Esimene neist on **voolujuhe** ja ühendub kas 5 V või 3,3 V pinniga. Sealt tuleb väljundi töötamiseks vajalik (elektri)vool.
- Teine neist on **Ground** ehk maandus. See ühendab ära vooluringi.
- Kolmas juhe ühendub ühte pinni, mis on numbriga tähistatud, see on **juhtsignaali sisend**. Juhtsignaal ütleb väljundile, kas see peaks töötama või mitte (selle abil juhime väljundit programmi koodis).

Juhtmeid saab ühendada Pi külge kahel viisil. Enne ühendamist tuleb mõlemal juhul juhtme pealt [isolatsioon](#) umbes kolmandiku sentimeetri (3 mm) jagu maha võtta.

Jootmise teel saab ühendada juhtmed Pi alla, ent siis tuleb olla ettevaatlik, et:

- ei ühendataks mitut pinni omavahel kogemata kokku;
- ei ühendataks valesid pinne (pinnide numeratsioon arvestab plaadi pealtvaadet);
- ei kahjustataks Pi elektroonikat (liigne kuumus).

Teine võimalus on juhtmed Pi ja pinnide pikendusploki külge panna, nagu pildil järgmisel pildil (ka siin tuleb ettevaatlik olla, sest pikendusploki külge käib ju veel **PITS** moodul):

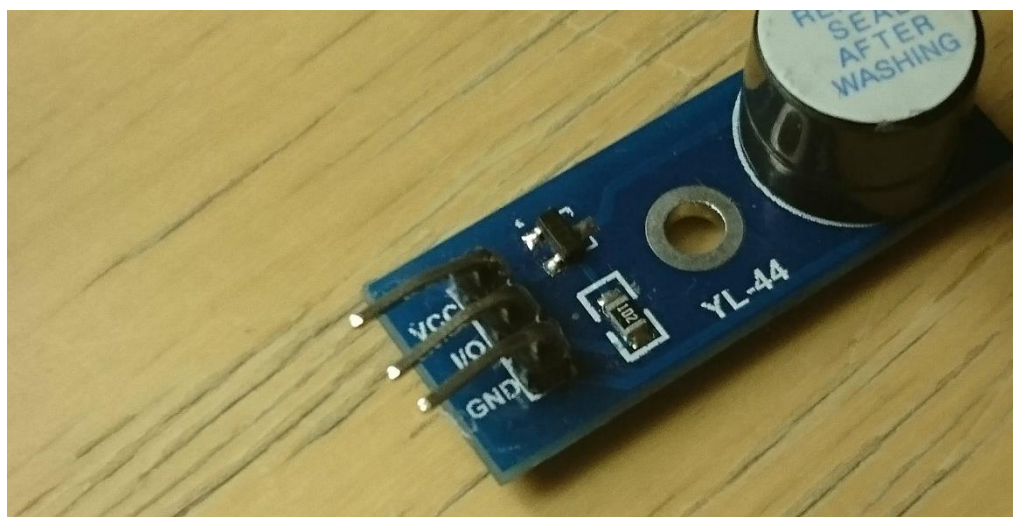


6.6 Relee või muu väljundi juhtimine

6.6.1 Väljundi ühendamine

Eksperimentis võib olla vaja kasutada mingisugust väljundit. Näiteks kui soovid testida, kas kõrgel atmosfääris õnnestub ikkagi säraküüna põlema süüdata, siis relee kasutamine küünlala süütamiseks tuleb eelnevalt programmeerida. Releede, sumistite, tulede ja servode programmiga juhtimine on põhimõtteliselt samasugune.

Väljund ühendub tavaliselt kolme juhtmega. Üks neist on maandus (**Ground**, pildil must), teine on voolujuhe (5V / VCC, pildil punane) ja kolmas on kontrollimise juhe (I/O), mis läheb ühe pildil kollase nummerdatud pini külge. Selle pini kaudu saab hiljem ka väljundit juhtida. Mis juhe kuhu väljundi enda küljes käib, on väljundil märgitud.



NB! Peatüki [punkti 6.5](#) alguses toodud pildil (plaat on asetatud nii, et **nõelad jäävad üles, mälukaart alla**) on näha erinevate pinnide numbrid. Erinevatel skeemidel on pinnid erinevalt nummerdatud, meie **kasutame numeratsiooni, mis on üleval**. Plaatide ühendamiseks vajad (kammi meenutavat) vahelüli, mis tuleb PITS plaadiga kaasa.

NB! Kui ühendad PITS plaadi Raspberry Pi-ga, siis võid **kasutada vaid ühte toidet korraga**: kas Raspberry Pi mikro-USB või PITS-i patareipaki toidet. Mõlemaid koos kasutades riskid tulekahjuga. Kuna PITS-i [toitemuundur](#) võimaldab patareide energiat paremini ära kasutada (võimaldades pikemat lendu), siis soovitame kasutada just seda.

6.6.2 Väljundi juhtimine

Teeme lihtsa programmi, kus me paneme väljundi, näiteks relee või lambi, 20-ks millisekundiks tööle.

```
1  import RPi.GPIO as GPIO
2  import time
3
4  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
5
6  # pin 25 on valjund
7  GPIO.setup(25,GPIO.OUT)
8
9  # sisse lylitamine
10 GPIO.output(25,GPIO.HIGH)
11
12 time.sleep(0.05)
13
14 # välja lylitamine
15 GPIO.output(25,GPIO.LOW)
16
17 GPIO.cleanup()
```

import programmi koodis on käsk, mida kasutatakse teekide importimiseks – kasutamiseks programmi sees.

- Esimese reaga impordime **GPIO** teegi, mis **võimaldab pinne kasutada**. Selle täisnimi on **RPi.GPIO**. Töö lihtsustamiseks kasutame tema järel märksõna **as** (nagu), mis annab teegile meie allolevas programmi jaoks aliase. Anname teegile uueks nimetuseks **GPIO**.
- Impordime ka **time** teegi, mis võimaldab meie programmil kella kasutada, näiteks teatud aja ootamiseks.
- Real 4 valitakse pinnide nummerdamispõhimõte. Valida on **GPIO.BCM** (kasutame seda) ja **GPIO.BOARD**.
- Real 7 anname GPIO-le teada, et me kavatseme 25. **pinni kasutada väljundina** – **GPIO.OUT**.
- Rida 10 lülitab pinni signaali sisse (**output**) – see kujutab endast püsivat alalisvoolu elektrisignaali. See lülitab sisse pinniga ühendatud [LED-i](#), relee või muu väljundi.
- Rida 12 paneb Pi ootama 50 millisekundit ehk 0,05 sekundit, misjärel programmi täitmine jätkub. Vajame seda ledi vilkumise märkamiseks, sest juba järgmine käsk lülitab pinni välja.
- Rida 15 lülitab pinni jälle välja ehk katkestab signaali.

- Rida 17, seab kõik väljundpinnid tagasi sisendiks. See on vajalik Pi turvalisuse jaoks – kui peaksid pinni jätma **HIGH output** peale, siis võib kogemata puude mõne teise pinniga (maandus/ground) Pi plaadi läbi põletada.

6.7 Sumisti

Alla kukkunud sondi hilisemaks leidmise lihtsustamiseks on hea kasutada [sumistit](#), mis teatud aja tagant hakkab perioodiliselt piiksuma. Siis on sondi võimalik heli järgi leida näiteks peale sadanud lume alt, põõsast või muidu raskesti märgatavast kohast.

Sumisti kasutamiseks peab programmi alguses olema selline kood:

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(5,GPIO.OUT)
```

Ja programmi lõpus peab olema selline kood:

```
# ootab kaks tundi, kuni robot veel kosmoses on
sleep(7200)

# tsüklil teeb iga 10 sekundi tagant piiksu
while True:
    GPIO.output(5,GPIO.HIGH)
    time.sleep(5)
    GPIO.output(5,GPIO.LOW)
    time.sleep(5)
```

See kood ootab kõigepealt kaks tundi, mille jooksul sondi on ilmselt veel õhus ja hakkab siis perioodiliselt piiksuma, et sondi oleks võimalik heli järgi üles leida.

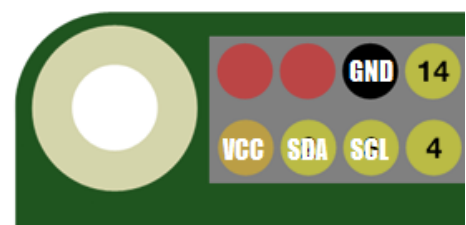
NB! Kui roboti akud missiooni käigus miskipärast läbi külmuvad, siis maale jõudes ja soojenedes alustab sond programmi taas nullist (kui automaatne käivitamine on programmeeritud, vt peatüki [osa 7.6](#)). Seetõttu võid sumisti aktiveerumise ka varasemaks programmeerida.

6.8 Õhurõhu- ja temperatuuriandur BMP280

Kui me juba õhupalli [stratosfääri](#) lennutame, võiks tee peal ka mõõtmisi teha. Andureid ja mõõdetavaid suuruseid on erinevaid, kuid siin juhendis vaatleme täpsemalt [õhurõhu-](#) ja [temperatuuriandurit](#) BMP280.

6.8.1 Anduri ühendamine

Andur ühendub Raspberry külge nelja pinni kaudu, mis on näidatud kõrvaloleval joonisel:



Tekstiga on märgitud, millise anduri augu külge milline port ühendada tuleb, pildil olevad tekstid on kirjas ka anduri peal:

- **GND** on *ground* ehk maandus,
- **VCC** on vooluallikas, milleks kasutame 3,3 V pinni.
- **SDA** ja **SCL** on I2C protokolliga jaoks kasutatavad pinnid, milleks Raspberry Pi puhul ongi pinnid 2 ja 3.

NB! Ole väga ettevaatlik juhtmete ühendamisel. Veendu enne Raspberry käima lülitamist, et kõik juhtmed on õigesti ühendatud. Kontrolli topelt üle, **lase ka kaaslasel kontrollida!**

6.8.2 Anduri kasutamiseks vajalikud teegid

Anduri näitu ei saa niisama lugeda. Esmalt on meil vaja teeke, mis oskavad anduriga suhelda ja koodis meile selle väärtusi kätte anda.

```
sudo apt-get install python3-pip
```

```
sudo pip3 install —upgrade setuptools
```

```
sudo pip3 install RPI.GPIO
```

```
sudo pip3 install adafruit-blinka
```

```
sudo pip3 install adafruit-circuitpython-bmp280
```

NB! Iga käskluse korral võib Pi küsida **Y/N** küsimuse, veendumaks, kas sa ikka tahad installeerida. Vasta kõigile jah (**Y**).

- **Pip** on paketi haldur, mis teeb sama asja nagu **apt-get**, aga ta on mõeldud ainult Pythoni teekide jaoks ning tema kaudu leiab suurema valiku Pythoni teeke üles. Seetõttu kasutame siin seda.
- **RPI.GPIO** on ilmselt juba olemas, aga igaks juhuks proovime seda uuesti installida, juhaks kui seda ei ole.
- **Adafruit-blinka** on Adafruiti tehtud andurite abiteek, millele on ülesehitatud mitmete erinevate andurite teegid.
- **Adafruit-circuitpython-bmp280** on Adafruiti teek BMP280 anduri jaoks, ehk siis meie eksperimendis kasutatava anduri jaoks.

6.8.3 Anduri väärtuse lugemine

Nüüd, kus andur on üles seatud ja vajalikud teegid paigaldatud, võimegi selle väärtust lugeda. **Tee uus pythoni fail**, näiteks nimega **bmp280.py** ja kirjuta sinna sisse nii:

```

import board
import busio
import adafruit_bmp280

#teeb sensori objekti, mille kaudu me infot saame
i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
sensor = adafruit_bmp280.Adafruit_BMP280_I2C(i2c, 0x76)

#kirjutab ekraanile temperatuuri ja rõhu
print('Temperatuur: ' + str(sensor.temperature) + 'C kraadi')
print('Rõhk: ' + str(sensor.pressure) + 'hPa')

```

Valitud teegiga käib anduri info lugemine nii, et kõigepealt tuleb luua anduri objekt. Selle kaudu suhtleb Python anduriga. Siis saame me temperatuuri ja [õhurõhu](#) lihtsasti kätte, kirjutades **sensor.temperature** või **sensor.pressure**.

Siin näites loodud programm (ülal), kirjutab lihtsalt ühe korra ekraanile väärtused. Selle programmiga on lihtne kontrollida meie süsteemi toimivust.

Anduri näitude raadio teel saatmisest räägime peatüki [punktis 7.5](#).

NB! Programmikoodis on punasena kuvatud **0x76**. See on anduri aadress I2C siinil. Aadressi abil saab anduri poole programmi koodis pöörduda. Anduri aadress on kirjutatud anduri kivisse, seega saad BMP280-ne poole pöörduda alati aadress 0x76 kasutades.

- Andurite aadresse saad näha käsuga **i2cdetect y -1**
- Enne, kui käsku esimest korda kasutad, sisesta käsk
sudo apt-get install i2c-tools

6.9 Sisendi abil väljundi juhtimise näide

Kui tahad sondpalli lennu ajal mingisugust katset teha, näiteks kindlal kõrgusel saraküünalt põlema panna, on seda kõige mõttekam anduri näidu järgi teha – taimeriga pandud ooteaeg oleks ebatäpne, kuna sa ei tea täpselt, kui kõrgel su õhupall mis ajahetkel on. Järgneb näidisprogramm, millega Raspberry Pi ootab, kuni temperatuur langeb alla -10 kraadi ja siis käivitab väljundi (*output*). Selle programmiga saad näiteks testida, kas atmosfääris leidub piisavalt hapnikku mingi materjali põlemise võimaldamiseks.

NB! Muuda oma programmi nii, et temperatuuriandur reageeriks madalamale temperatuurile – või kasuta hoopis [rõhuandurit](#). Eelnevalt selgita välja, missugune on tõenäoline temperatuur või õhurõhk sellel kõrgusel, kus soovid katset sooritada.

```

1  import board
2  import busio
3  import adafruit_bmp280
4  import RPi.GPIO as GPIO
5  import time
6
7  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
8  GPIO.setup(25, GPIO.OUT)
9
10 #teeb sensori objekti, mille kaudu me infot saame
11 i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
12 sensor = adafruit_bmp280.Adafruit_BMP280_I2C(i2c, 0x76)
13
14 #ootab pool tundi, kuni pall veel kindlasti piisavalt kõrgel ei ole
15 sleep(1800)
16
17 #ootab kuni sensori mõõdetud temperatuur on alla -10 kraadi
18 while True:
19     time.sleep(30)
20     if sensor.temperature < -10:
21         break
22
23 #pane outputi 5ks sekundiks tööle
24 GPIO.output(5, GPIO.HIGH)
25 time.sleep(5)
26 GPIO.output(5, GPIO.LOW)

```

7. PyTracki teegiga raadiosignaalide saatmine

Selles sektsioonis kasutame **PyTrack** teeki, et panna Raspberry Pi saatma raadiosignaale, mida saame hiljem arvutis vastu võtta.

NB! Kui siiani saime Pi-le toite mugavalt oma arvuti küljest, siis järgnevate protseduuride jaoks on vajalik, et PITS plaadile oleks külge ühendatud GPS antenn, mis peaks [satelliitide](#) signaalide vastuvõtmiseks asuma hoonest väljas (läbi akna). Kuni katsed toimuvad maa peal, siis võib toite jaoks kasutada akupanka (eeldusel, et voolutugevusest piisab Pi-ga ühendatud andurite-täiturite toiteks). Sondpalli lennutamisel ühendame PITS-i külge patareipaki.

7.1 Lihtne jälgimisprogramm Tracker

Teeme lihtsa jälgimisprogrammi, mille käivitamisel Raspberry Pi edastab raadio teel pilte ja sõnumeid oma asukohaga.

Jälgimisprogrammi kirjutamine

Kirjuta uude Pythoni faili, nt **tracker.py**, need read:

```

from pytrack.tracker import *
from time import sleep

# teeb uue Tracker objekti, millega juhitakse PITS boardi.
mytracker = Tracker()

# seadistab RTTY payload nime, sageduse ja baud rate.
mytracker.set_rtty(payload_id='MUKI', frequency=434.250, baud_rate=300)
mytracker.add_rtty_camera_schedule('images/RTTY', period=60)

# alustab trackeri.
mytracker.start()

while True:
    sleep(1)

```

Koodirida **from pytrack.tracker import *** ütleb, et impordime PyTrack teegist kõik funktsioonid ja klassid.

from ja sellele järgnev sõna ütlevad teegi nime, millele viitame ning **import** on importimise käsk. ***** ütleb, et tahame teegist kõik importida. **time** teegist importisime ainult **sleep** funktsiooni, kuna rohkemat me ei kasuta.

Tracker() on **PyTrack** teegis klass, mis **korraldab kogu suhtluse PITS** plaadiga, ehk GPS signaali vastu võtmise, kaamera pildi tegemise ning raadiosignaali saatmise.

Klassi näol on tegemist žablooniga, mis kirjeldab, kuidas mingisugune kogumik funktsioone ja muutujaid peaks välja nägema. Žablooni kasutamiseks peame selle ühele muutujale (**mytracker**) omistama. Seda teeb koodirida **mytracker = Tracker()**. Pärast seda saame muutuja **mytracker** erinevaid sätteid muuta.

Tracker'i funktsioon **set_rtty()** seadistab, millise nimega, mis [raadiosagedusel](#) ning missuguse [modulatsioonikiirusega](#) (*baud rate*) raadiosõnumeid [RTTY](#) protokolliga kasutades saadetakse. **Modulatsioonikiirus** on minu näites **300**, aga kui kaameraga pilte ei tee, siis on mõistlikum **aku säästmiseks** määrata selleks **50**. **Raadiosageduse** oleme määranud **434,250 MHz**.

NB! Euroopa Liidus on hobikasutuseks lubatud kasutada raadiosagedusvahemikku **434,04 kuni 434,79 MHz**.

NB! Kui seadmed ühel raadiosagedusel kuidagi ei tööta, siis proovi, kas sageduse muutmine parandab olukorda (võib-olla on läheduses mõni teine samal sagedusel töötav seade).

Tracker'i funktsioon **add_rtty_camera_schedule()** annab Trackerile teada, et soovime kasutada kaamerat ning määrab ühtlasi pildi tegemise sageduse. Väga tihti pilti teha ei saa, sest raadio teel pildi saatmine võtab aega.

7.2 Programmi käivitamine

- 1) Tõsta script Raspberry Pi peale, [nagu varem õpitud \(jaotis 6.1.2\)](#).
- 2) Seekord tuleb enne programmi käima panemist **PIGPIOD** käima panna. Selleks kirjuta konsooli:

sudo pigpiod

- 3) Nüüd võime skripti tööle panna. Selleks kirjuta:

python3 tracker.py

NB! See programm jääbki nüüd käima. Katkestamiseks on vaja Pi välja lülitada ehk toide eemaldada.

NB! Kui programmi täitmine väljastab **veateateid**, siis **kontrolli** üle, kas kõik **raspi-config** sätete muudatused on õigesti tehtud (vaata [jaotist 4.3](#)).

7.3 Logi-faili tegemine

Võib juhtuda, et meil on Pi raadiosignaali vastuvõtmisel lüngad ja seetõttu jääb mõni infopakett kättesaamata. Selleks, et saada kõik infopakettid hiljem, peale meie sondpalli maandumist, kätte, tasub kogu info samuti kirjutada mälukaardil asuvasse faili.

PyTrack teek kirjutab kõik paketid, mida ta raadio teel saabab, üles ka konsooli väljundisse. Seega on kõige lihtsam viis logi tegemiseks lihtsalt konsooli väljund ümber suunata tekstifaili:

- 1) Konsooli väljundi ümber suunamiseks kirjuta käskluse lõppu „> **log.txt**“

python3 tracker.py > log.txt

log.txt on logifaili nimi. Seda faili saame hiljem FileZilla abil tõsta arvutisse ja seal edasi lugeda. Logifail asub samas kaustas, kus meie programm **tracker.py**.

NB! Kui oled konsooli väljundi suunanud tekstifaili, siis konsoolil (ekraanil, arvuti konsooliaknas) sa enam infot ei näe. Seetõttu on **testimise ajal** mõttekas konsooli väljundit **mitte** ümber suunata.

7.4 Pildifailide mälukaardile salvestamine

Raadio teel saadetud piltide resolutsioon on limiteeritud, suurema resolutsiooniga pildid on liiga suured, et neid mõõdukalt kiirusel raadio teel saata. Kui tahame suurema kvaliteediga pilte, siis tuleb meil need SD-kaardile salvestada. Nagu ka logifaili, saame kaamera pilte hiljem FileZilla abil vaadata.

1. Võtame **7.1 sektsioonis** tehtud **Trackeri** programmi ja lisame sinna piltide salvestamise:

```
from pytrack.tracker import *
from time import sleep
from pytrack import SSDVCamera

# teeb uue Tracker objekti, millega juhitakse PITS boardi.
mytracker = Tracker()

#seadistab RTTY payload nime, sageduse ja baud rate.
mytracker.set_rtty(payload_id='MUKI', frequency=434.250, baud_rate=300)
mytracker.add_rtty_camera_schedule('images/RTTY', period=60)

# teeb uue SSDVCamera objekti, millega saame kaamerat eraldi juhtida.
MyCam = SSDVCamera()

#seadistab mälukaardile pildi tegemise sageduse ja pildi mõõtmed
MyCam.add_schedule('SD', '', 'images/FULL', Period=60, Width=3280, Height=2464)

#alustab trackeri.
mytracker.start()
```

```
#alustab kaamera.
MyCam.take_photos()

while True:
    sleep(1)
```

2. Punasega on märgitud kõik uued read. Kirjutatud kood suhtleb kaameraga eraldi: lisatakse programm, mis iga ettemääratud aja tagant (Period = 60) teeb pildi ja salvestab selle SD kaardile.

7.5 Anduri väärtuse saatmine raadio teel

Lihtne jälgimisprogramm Tracker, mille varem tegime, saadab juba GPS [koordinaate](#) ja kellaaega, aga me **saame saadetavate andmete hulka ka oma andmeid juurde lisada**. Vaatasime varem ([punkt 6.8](#)), kuidas lugeda temperatuuri ja õhurõhku. Nüüd vaatame, kuidas näitude saatmine Trackeri külge liita, et hakata neid andmeid raadioga saatma.

1. Võtame [jaotises 7.1](#) tehtud Trackeri programmi ja lisame sinna andurite lugemise:

```
from pytrack.tracker import *
from time import sleep
from pytrack import SSDVCamera

import board
import busio
import adafruit_bmp280

i2c = busio.I2C(board.SCL,board.SDA)
sensor=adafruit_bmp280.Adafruit_BMP280_I2C(i2c, 0x76)

MyCam = SSDVCamera()
MyCam.add.schedule('SD', '', 'images/FULL', Period=60, Width=3280, Height=2464)

mytracker = Tracker()

mytracker.set_rtty(payload_id='MUKI',frequency=434.250, baud_rate=300)
mytracker.add_rtty_camera_schedule('images/RTTY',period=60)

def extra_telemetry():
    temperature = sensor.temperature
    pressure = sensor.pressure
    return str(temperature)+' '+str(pressure)
mytracker.set_sentence_callback(extra_telemetry)

mytracker.start()
MyCam.take_photos()

while True:
    sleep(1)
```

2. Alumise plokiga on juurde tehtud uus funktsioon **def extra_telemetry()**, mis tagastab temperatuuri- ja rõhuandurite väärtused [telemeetria](#)-andmetesse lisamiseks.. Seda on vaja, sest teek, mida trackeri jaoks kasutame, lubab saadetavatesse telemeetria-andmetesse uut teksti ainult funktsiooni abil lisada.

Koodirida **mytracker.set_sentence_callback(extra_telemetry)** haagib meie kirjutatud funktsiooni trackeri külge nii, et iga kord, kui ta raadio teel tahab infot saata, paneb ta meie funktsiooni poolt tagastatava teksti sinna lisaks.

7.6 Programmi automaatne käivitamine Pi käivitumisel

Pi on võimalik üles seadistada nii, et meile vajalik(ud) programm(id) käivitatakse automaatselt niipea, kui Pi sisse lülitatakse (kui Pi ühendatakse toitega). Sellise lähenemise eeliseks on, et Pi hakkab signaale edastama niipea, kui ta saab toite peale (ei ole vaja eraldi programmeerida) või kui läbikülmunud patareid üles soojenevad. Lähenemise puuduseks võib olla see, et kui õhuluba viibib ja palli ülesse saatmine võtab aega, siis programm käib sellel ajal ikka ja kulutab sellel ajal akut.

Automaatne programmi käivitumine tuleks seadistada **alles siis**, kui programm on täiesti **valmis** ja **läbi testitud**. Esialgu tuleb pidevalt ette programmi muutmist ja käima-kinni panemist, nii et programmi automaatne käivitumine oleks testimisfaasis lihtsalt ebamugav.

- 1) Avame faili **/etc/rc.local**. Kirjuta konsooli:

```
sudo nano /etc/rc.local
```

rc.local on fail, milles loetletud käsklused täidetakse kõik Pi käivitumisel.

- 2) Faili lõpus on rida **exit 0**. Kirjuta **enne** seda rida järgnevad read:

```
pigpiod  
sudo python3 /home/pi/tracker.py > log.txt &
```

- 3) Salvesta fail.

8. Raadiosignaali vastuvõtmine arvutis ja demoduleerimine

Raadiosignaali vastuvõtmine arvutis koosneb mitmest osast. Kõigepealt on vaja raadiosignaaleid kinni püüda, siis need heliks muuta ja viimaks [demoduleerida](#) (tõlgendada).

NB! Kui sa testid raadiosignaali toimimist, siis arvesta, et praktiliselt **igasugune takistus** (hoone seinad, katus, aknad) saatva ja vastuvõtva antenni vahel **võib põhjustada olulisi sidehäireid**. Õhupalli lennutamisel peab vastuvõttev antenn asuma õues, võimalikul kõrgel kohal (künka tipp, maja katus). Seepärast **mõtle enne** õhupalli lennutamist hoolikalt **läbi** vastuvõtva **antenni asukoht** ning kindlasti **arvesta enese ja teiste ohutusega**! Kuigi raadiolained võivad levida ja peegelduda ka nn nurga taha, siis meie eksperimendis on parima tulemuse huvides oluline, et õhupalli ja vastuvõtva antenni vahel ei oleks midagi muud peale õhu. Loe juurde ka peatüki [Raadioside](#) jaotistest [3. Soni saatja](#) ja [4. Maajaam](#).

NB! Peatükki illustreerivad kaks videot, mida sul tuleks **kindlasti** vaadata:

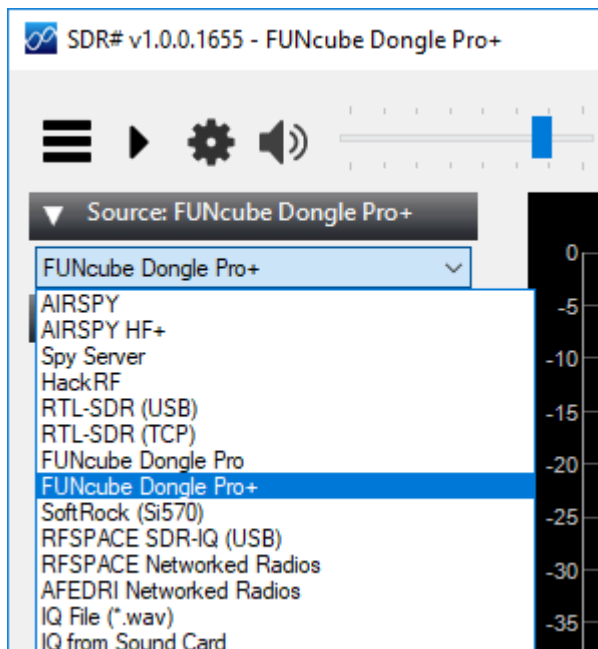
- **Kui sinu raadiopulk ei ole FunCube**, siis tuleb raadiopulga draiverid **zadig** programmi abil lisada: youtu.be/12eDBNGKtcw (kuulub jaotise 8.1 juurde).
- Raadiosignaali häälestamine sujub lihtsamalt, kui vaatad seda videot: youtu.be/Z56vYRzxA3c (kuulub jaotise 8.2 juurde).

8.1 Raadioheli vastuvõtmine

- 1) Ühenda **FUNCube Dongle Pro+ USB** seade arvutiga.

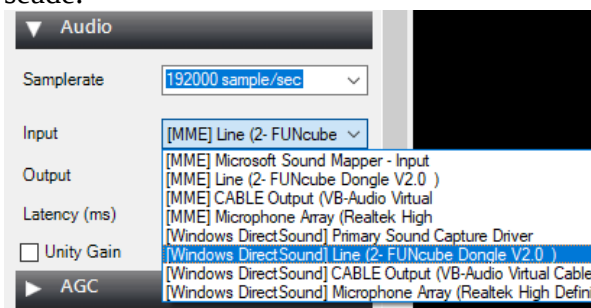
NB! On oluline, et seade oleks ühendatud arvutiga enne SDRSharp programmi avamist!

- 2) Ava **SDRSharp (SDR#)** programm.
- 3) Seadista **Source** ümber **FUNCube Dongle Pro+**:



4) Seadista **Audio** sektsioonis ümber järgmised asjad:

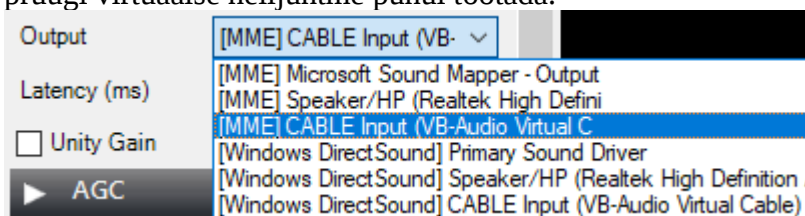
- **Input** – vali FUNcube heliseade **[Windows DirectSound] Line (FUNcube Dongle V2.0)**. Kui sa ei leia **[Windows DirectSound]**, siis vali **[MME]**-ga algav FUNcube seade.



[MME] vali ka siis, kui sul on kahtlus, et esimene valik ei tööta (selle tunnuseks on see, et mingit helipilti pole näha ega mingit heli kuulda). Sellega saab FUNcube USB seadmest helisignaali kätte.

- **Output** – raadio väljundiks vali virtuaalse helijuhtme sisend, selle nimi on **[MME] CABLE input (VB-Audio Virtual Cable)**.

NB! On oluline, et see oleks **[MME]**, mitte **[Windows DirectSound]**, kuna viimane ei pruugi virtuaalse helijuhtme puhul töötada.

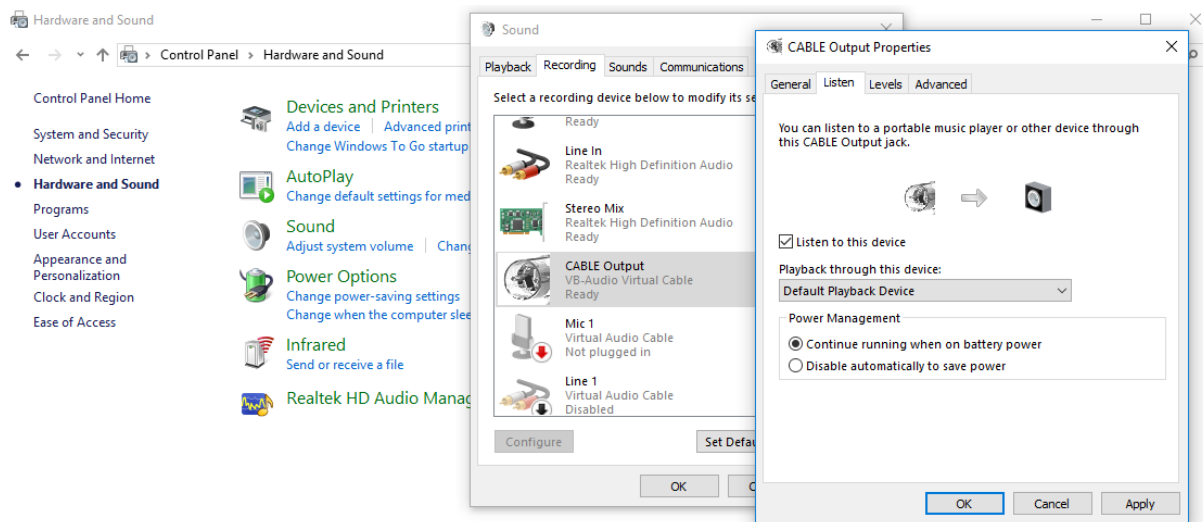


- Me **suuname heli virtuaalsesse helijuhtmesse**, et saaksime teises, demoduleerimiseks kasutatavas programmis selle heli segamatult kätte.

5) Seadista virtuaalne helijuhe nii, et seda oleks kuulda. Helisignaali kuulmine aitab meil paremini aru saada, kas seadistused on õiged ja kas arvuti võtab raadiosignaali vastu.

- Mine oma arvutis **Juhtpaneel** → **Riistvara ja heli** → **Heli**.
- Avanenud aknas vali sektsioon **[Salvestamine]**.
- Paremkliki seadmel **Cable Output** ning vali **[Atribuudid]**.

- Avanenud aknas (vali sektsioon [**Kuulamine**] ja) märgi linnuke [**Kuula seda seadet**] ja vajuta seejärel [**Rakenda**] ning [**Ok**].
- Sulge heliseadete dialoog ja juhtpaneel.

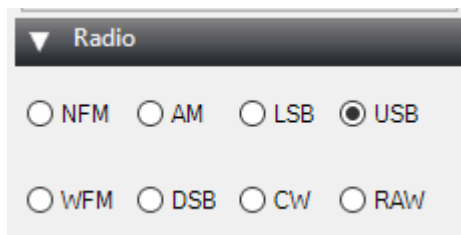


- 6) **Muuda raadiosagedus** sulle vajalikuks (vaikimisi 434.250.000). See on number programmiakna üleosa keskel. Numbri muutmiseks klikki numbri ülemisele või alumisele osale. Selleks, et number sisestuks, on vaja uuesti sisestada kõik üheksa numbrit (434 250 000).

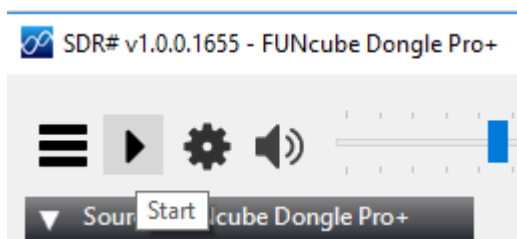
Programm näitab sagedust hertsides. Seega 434,250 MHz, mille Trackeri seadistustes määrasime, on siin 434.250.000 Hz.

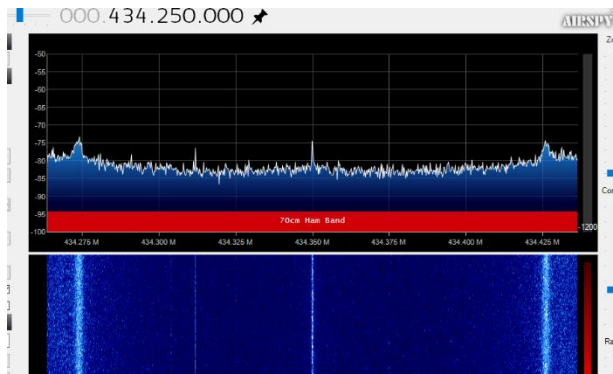


- 7) Vali **Radio** menüüs nupuke [**USB**]. See ei tähenda, et kasutad USB seadet raadiona, vaid tegu on eraldi mõistega **Upper Sideband**, mis on üks **raadiomodulatsiooni tüüpidest** (signaali tõlgendamise tüüp).



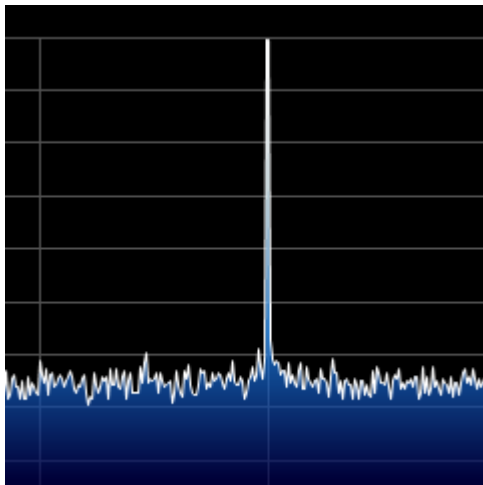
- 8) Vajuta kolmnurkset **Start** nuppu programmi üleval vasakul. Raadiosignaali peaks nüüd olema nähtav ja kuuldav.



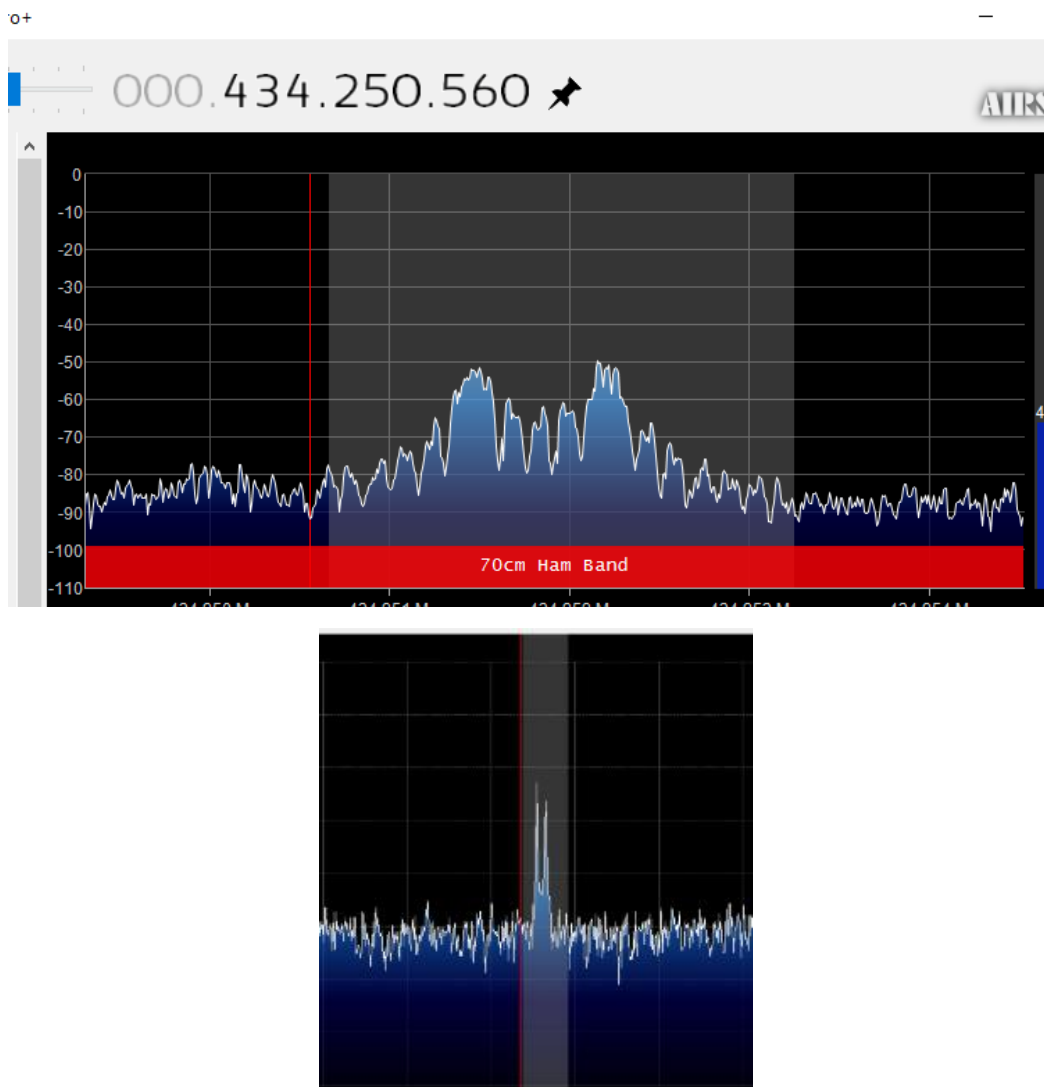


Kui Raspberry Pi parasjagu midagi välja ei saada, siis peaksid kuulma lihtsalt müra.

- 9) Märgi **Radio** menüüs linnuke [Correct IQ]. See eemaldab alalisvoolunihke (**DC offset**), mis tekib raadiosignaali võimendamisel. Graafikul on seda näha ala keskel oleva kõrge kriipsuna. Alalisvoolunihe tuleb summutada, sest vastasel juhul oleks meil raske raadiosignaali töödelda.



- 10) **Leiame üles Pi signaali.** Kui sa oled Pi **Tracker** programmi tööle pannud, siis peaksid tema signaali raadioprogrammis nägema. Kuigi seadistasime Pi saatja 434,250 MHz peale, võib saadetav signaal olla pisut nihkes, seega vajadusel seadista arvutis vastuvõetavat raadiosagedust, kuni saad õige sageduse kätte.
- 11) Seadistame kuulatava ala laiust. Raadiol on kindel „kast“, mis esindab kuulatava sagedusala laiust. Seda on lihtsam teha, kui sa oled sisse suuminud – kasuta selleks paremal asuvat **Zoom** liugurit. Suumi nii palju sisse, et näed signaali kahte eraldi haru. Kahe signaaliriba laius peaks moodustama umbes kolmandiku kogu halli nelinurga laiusest, nii nagu alloleval pildil:

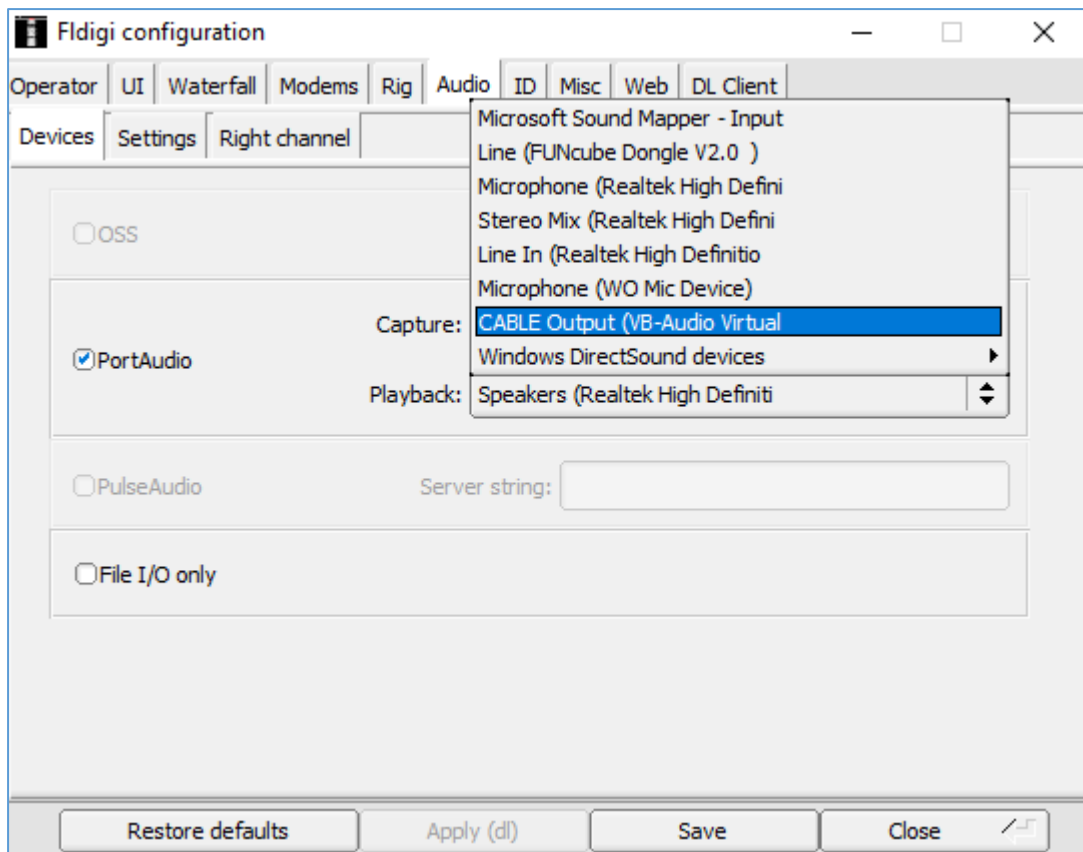


Muuda selle kasti suurust nii, et signaal jääks kasti sisse, aga et kast ei oleks liiga palju signaali pildist suurem. Selleks vasakkliki kasti äärelle ja venita seda hiirega suuremaks.

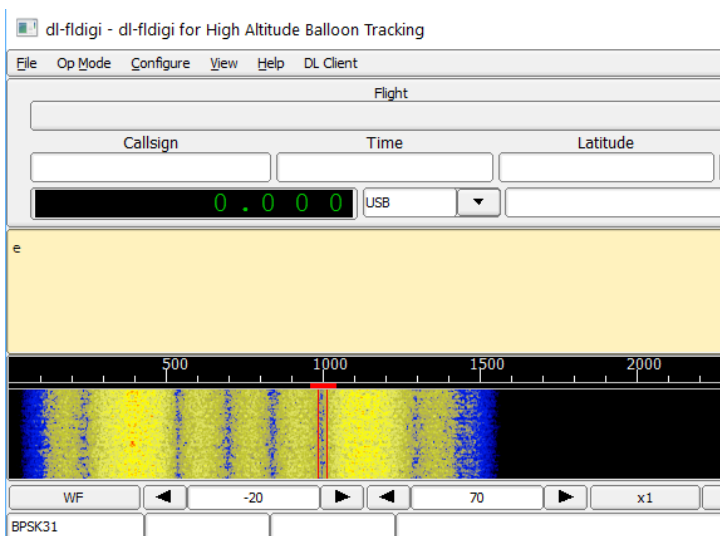
8.2 Raadioheli demoduleerimine ja dekodeerimine

Siin teisendame raadioheli ümber digitaalseks infoks, näiteks tekstiks ja piltideks. Vaata ka videot: youtu.be/Z56vYRzxA3c.

- 1) Ava **DL-fldigi**. Ära unusta selleks **kasutada** varem tehtud **otseteed** (vaata peatüki [punkti 2.7](#) jaotiseid 4-6)!
- 2) Mine menüüsse [**Configure**] → [**Sound Card**]. Märgi linnuke [**PortAudio**].
- 3) Muuda **Capture** ümber **CABLE Output (VB-Audio Virtual**

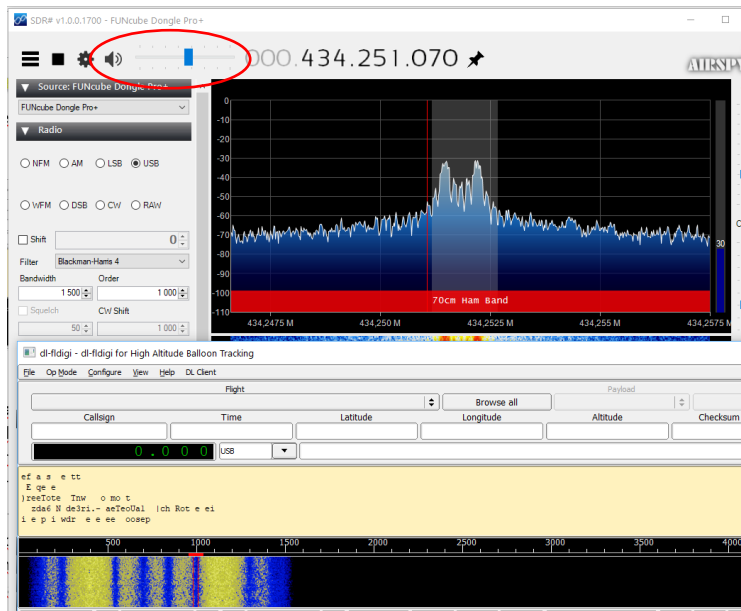


- 4) Kui **Pi** töötab ja saadab signaali ning **SDRSharp** on eelmise sammu põhjal seadistatud, siis peaksid **DL-fldigi** oma signaali nägema.
NB! Kui sa ei saa DL-fldigi aknas ilusat signaali, siis **korrigeri vajadusel** SDRSharpi aknas bandwidth suurst, näiteks 2400 peale.



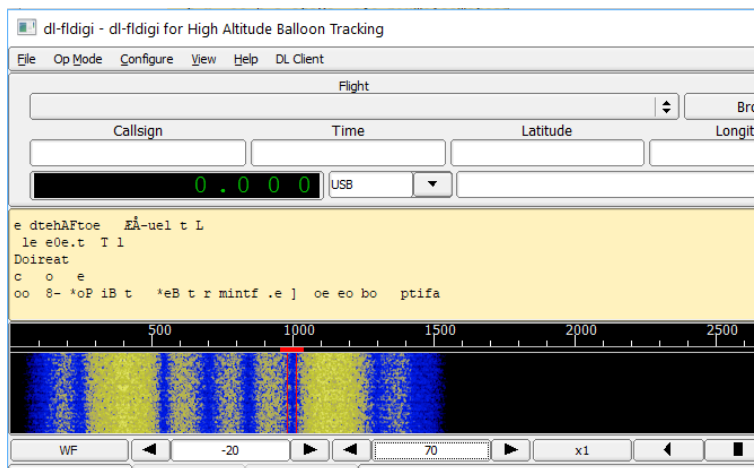
- 5) Muuda **SDRSharp** (SDR#) programmis heli tugevust playnupu kõrval asuva liuguriga (näha järgmisel pildil punase ringi sees) selliselt, et **DL-fldigi** oleks näha signaalil **kahte selget kollast/punast riba** sinisel taustal. Värvid näitavad heli tugevust: **sinine** on vaikne heli, **kollane** keskmine ja **punane** kõrge. Vaata, et taust jääks siniseks: liiga tugev taustamüra häirib signaali lugemist.

NB! Seadistamisel hoia mõlemad programmiaknad korraga lahti, et näeksid, kuidas helitugevuse muutmine mõjutab signaali võimendust.

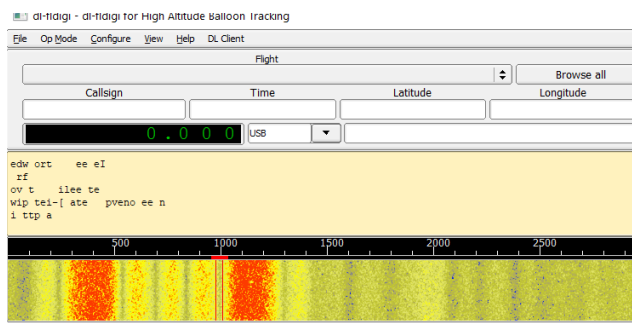


Oluline on jälgida, et tausta ning signaaliribade värv oleks selgelt eristatav.

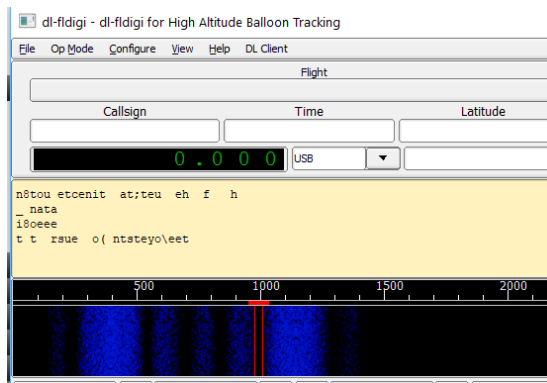
- 6) Signaali **hea võimenduse näide**: signaali kaks sagedusriba on taustast selgesti eristatavad ja taustasignaali on nõrk.



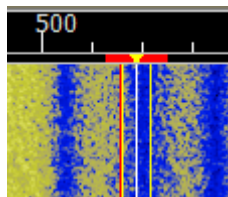
- 7) Signaali **halva võimenduse näide**: taustamüra on liiga tugev, segades signaali demoduleerimist ning signaal ise on liiga vali, mistõttu ta võib olla moonutatud.



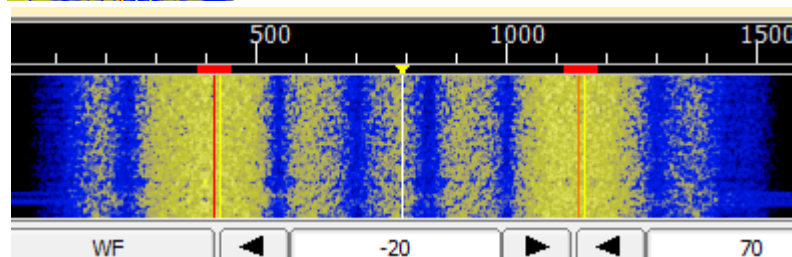
- 8) Signaali halva võimenduse teine näide: signaal on nii nõrk, et seda ei ole võimalik õigesti demoduleerida.



- 9) **DL-fldigi programmi signaaliaknas** peaksid nägema kolme joont, mis „järgnevad“ su hiirele. Kliki hiirega enam-vähem kahe suure signaalirea keskel asuvale tühimikule:

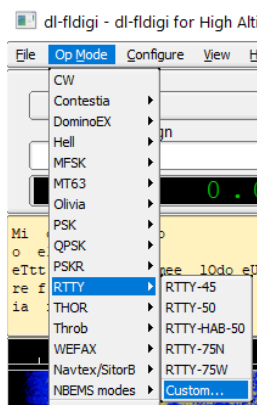


- Enne muutmist:



- Peale muutmist:

- 10) Kaks välimist joont peavad olema kohakuti kahe tugeva signaali rea keskkohadega ning nad peavad olema ribadega sama laiad. Nende muutmiseks mine **Op Mode** → **RTTY** → **Custom...**:



- 11) Kõigepealt vajuta **Carrier shift** listi peale ja vali **Custom**. Seejärel muuda **Custom shift**, kuni äärmised jooned on ribade keskpunktidega kohakuti.

Kui sa enne ei klikkinud päris keskpunkti, siis saad seda jooksvalt uuesti klikkides muuta.

- 12) Nüüd vajuta **Baud rate** peale ja anna talle Raspberry Pi modulatsioonikiirusega sama väärtus. Meie trackeri **näidisprogrammis** on see **300**.

Baud rate

- 13) Saame nüüd kõik andmed ilusati kätte, aga **muuta tuleb** veel **seadeid**, mis on olulised andmete demoduleerimisel. Vajuta **Bits per character** peale ja pane ta väärtuseks **8**. See ütleb, kui mitu bitti on iga karakteri jaoks kasutatud. Muuda **Stop bits** väärtuseks **2**.

Bits per character

Parity

Stop bits

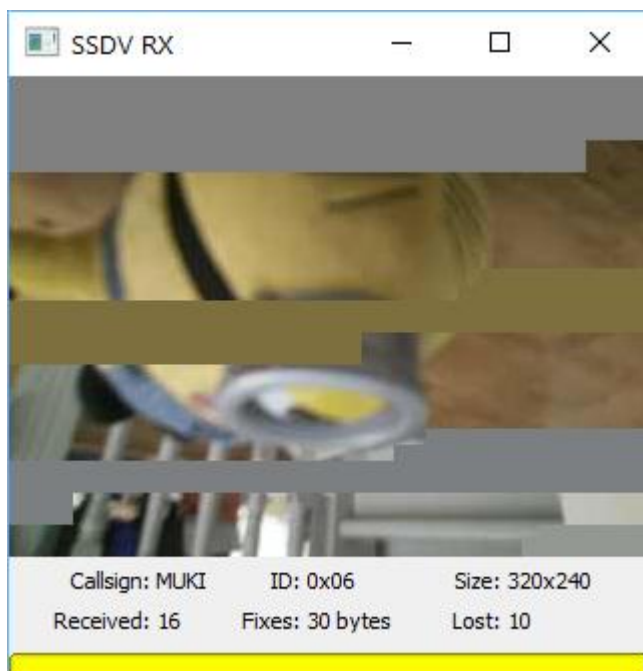
- 14) Lõpetuseks märgi linnuke valikusse **Use cross hair scope**, vajuta [Save] ja [Close].

☒ Use cross hair scope

Nüüd peaksid **nägema dekodeeritud infot**. Selle **salvestamiseks** logifaili vajuta hiire paremat klahvi kollasel logiaknal ja vali tekkinud menüüst **Save As**.

Selleks, et **näha** saadetud **pilte**, vali **View → SSDV RX**.

Pilt tuleb ekraanile minuti jooksul. Sõltuvalt [raadioside](#) kvaliteedist võivad osad paketid kaotsi minna ja pildist jääb siis lihtsalt mõni tükk puudu:

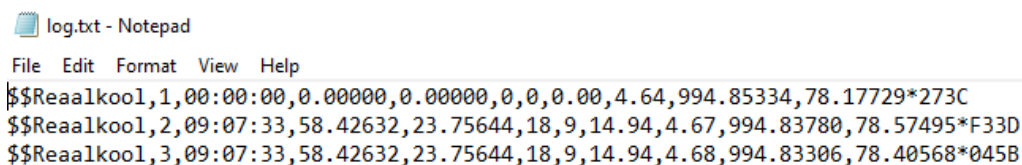


Stratosfäärilennu logiandmete analüüs

Peale õnnestunud sondpalli lendu on igal tublil lennutajal kasutada suur hulk lendu iseloomustavaid andmeid, mis pärinevad näiteks PITS mooduli ja BMP 280 sensori logidest. Neid andmeid saab analüüsida ja esitada mitmel moel, sealhulgas graafiliselt ja lennuteekonna kaardina. Järgnevalt on samm-sammult kirjeldatud lennulogi andmete sobivasse formaati teisendamist ning neist andmetest graafikute ja lennuteekonna interaktiivsete piltide loomist.

Logiandmete viimistlus

Raspberry Pi salvestab mõõtmistulemused tekstifaili (.txt) alljärgneval kujul:

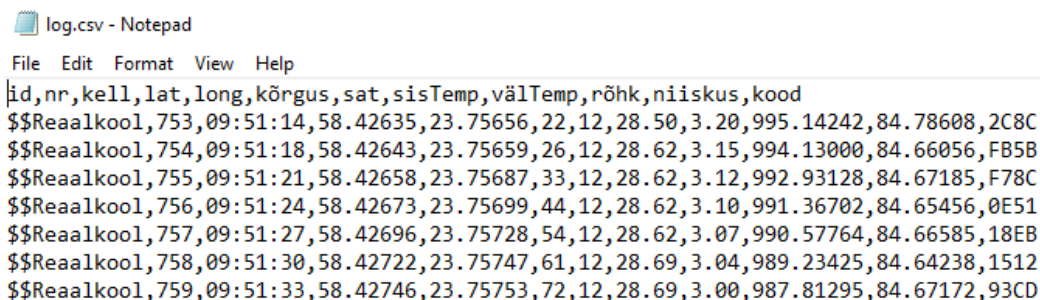


```
log.txt - Notepad
File Edit Format View Help
$$$Reaalkool,1,00:00:00,0.00000,0.00000,0,0,0.00,4.64,994.85334,78.17729*273C
$$$Reaalkool,2,09:07:33,58.42632,23.75644,18,9,14.94,4.67,994.83780,78.57495*F33D
$$$Reaalkool,3,09:07:33,58.42632,23.75644,18,9,14.94,4.68,994.83306,78.40568*045B
```

Esialgne eesmärk on muuta faili nii, et infot oleks lihtsam erinevate programmidega lugeda. Selleks teisendame faili esmalt komaga eraldatud väärtustega (*comma separated values*) failiks (.csv). Faili igal real on ühe mõõtekorra andmed, kus erinevad mõõdetavad suurused on eraldatud komaga. Teisendamiseks tuleb algusesse lisada rida, kus on mõõdetavate suuruste nimetused komaga eraldatult loetletud. Lisaks tuleb vahetada mõõtmise info ja andmerea lõpus olevate kontrollkoodide vaheline tärn (*) komaks. Windows Notepad programmis vali selleks **Edit** menüüst **Replace**, märgi otsitavaks sümboliks '*' ja uueks sümboliks ','. Seejärel vali käsk **Replace all**.

Tavaliselt on Raspberry Pi häälestatud mõõtmist alustama juba enne sondpalli starti. Seega tuleb logifailidest eemaldada enne lennu algust ja peale lennu lõppu tehtud mõõtmised. Stardihetke ja maandumise saab leida mitmel viisil: näiteks teades nende toimumise kellaaegu (kontrolli enne starti, et Raspberri Pi kell oleks õige ja õiges ajavööndis) või vaadates kõrguseandmete muutumist (pikk viibimine ühel kõrgusel viitab tõenäoliselt Raspberri Pi asumisele maapinnal).

Kui esialgne töötlus on tehtud, siis salvesta fail .csv laiendiga. Selleks tuleb valida **File** → **Save As** → **Save as type** → **All files (*.*)** → ja kirjuta failinimeks näiteks **log.csv**. Lõplik fail võiks välja näha näiteks selline:

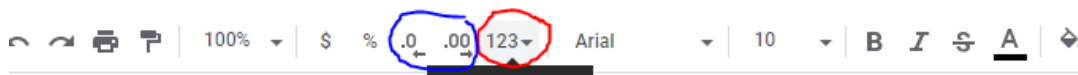


```
log.csv - Notepad
File Edit Format View Help
id,nr,kell,lat,long,kõrgus,sat,sisTemp,välTemp,rõhk,niiskus,kood
$$$Reaalkool,753,09:51:14,58.42635,23.75656,22,12,28.50,3.20,995.14242,84.78608,2C8C
$$$Reaalkool,754,09:51:18,58.42643,23.75659,26,12,28.62,3.15,994.13000,84.66056,FB5B
$$$Reaalkool,755,09:51:21,58.42658,23.75687,33,12,28.62,3.12,992.93128,84.67185,F78C
$$$Reaalkool,756,09:51:24,58.42673,23.75699,44,12,28.62,3.10,991.36702,84.65456,0E51
$$$Reaalkool,757,09:51:27,58.42696,23.75728,54,12,28.62,3.07,990.57764,84.66585,18EB
$$$Reaalkool,758,09:51:30,58.42722,23.75747,61,12,28.69,3.04,989.23425,84.64238,1512
$$$Reaalkool,759,09:51:33,58.42746,23.75753,72,12,28.69,3.00,987.81295,84.67172,93CD
```

Id on Raspberry Pi identifikaator, **nr** näitab mõõtmise järjekorranumbrit, **kell** näitab mõõtmise kellaaega, **lat** (pikkuskraad) ja **long** (laiuskraad) näitavad asukohta, **kõrgus** näitab kõrgust merepinnast, **sat** näitab, mitme sateliidiga on ühendust saadud, **sisTemp** on sondi sisetemperatuur, **välTemp** on välistemperatuur, **rõhk** näitab rõhku (ühikuks on hPa), **niiskus** näitab õhuniiskust (%) ja **kood** on neljakohaline rea kontrollkood.

Lennu graafikute koostamine logiandmetest

Csv faile on lihtne tabelitöötlusprogrammidega avada (näiteks MS Excel, LibreOffice Calc ja Google Sheets). Selles näites on kasutatud Google Sheets programmi. Teeme uue arvutustabeli ja nimetame selle näiteks **Lennu logi**. Andmete sisestamiseks tuleb avada **Fail** → **Impordi** → **Üleslaadimine** ning valida eelnevalt tehtud **log.csv** fail. **Importimise asukoht** tuleb valida **Asenda arvutustabel** ja ülejäänud valikud võivad jääda nii nagu on. Siis vali **Impordi andmed**.



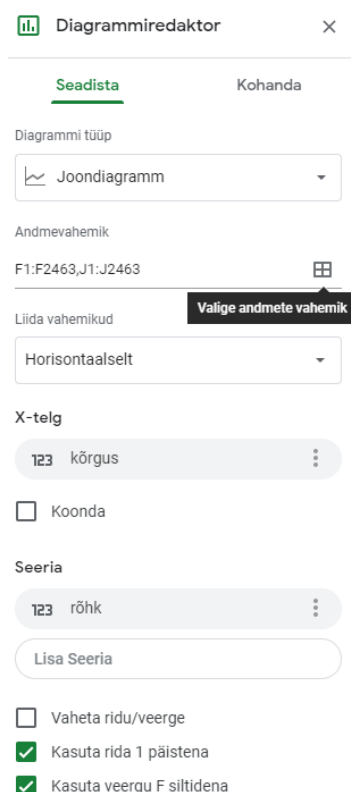
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
id	nr	kell	lat	long	kõrgus	sat	sisTemp	välTemp	rõhk	niiskus	kood
\$\$Reaalkool	753	9:51:14	58.42635	23.75656	22	12	28.50	3.20	995	84.8	2C8C
\$\$Reaalkool	754	9:51:18	58.42643	23.75659	26	12	28.62	3.15	994	84.7	FB5B
\$\$Reaalkool	755	9:51:21	58.42658	23.75687	33	12	28.62	3.12	993	84.7	F78C
\$\$Reaalkool	756	9:51:24	58.42673	23.75699	44	12	28.62	3.10	991	84.7	0E51
\$\$Reaalkool	757	9:51:27	58.42696	23.75728	54	12	28.62	3.07	991	84.7	18EB

Osad andmed tuleb teisendada numbriks – selleks tuleb välja valida kõik arvuliste väärtustega tulbad (mitme tulba valimiseks hoia klaviatuuril **Ctrl** klahvi all), ning seejärel menüüst **Veel vorminguid** (järgneval joonisel punasega tähistatud) valida **Number**. Näiteks nagu eelneval pildil.

Edasi on otstarbekas muuta arvandmete esitamisel tüvenumbrite arvu. Näiteks asukohaandmete puhul tuleks kõik tüvenumbrid alles jätta, et asukoha saaks võimalikult täpselt määrata. Õhuniiskuse puhul aga piisab mõnest tüvenumbrist. Tüvenumbrite arvu vähendamiseks või suurendamiseks tee soovitud tulp aktiivseks ja kasuta eelneval pildil sinisega märgitud nuppe.

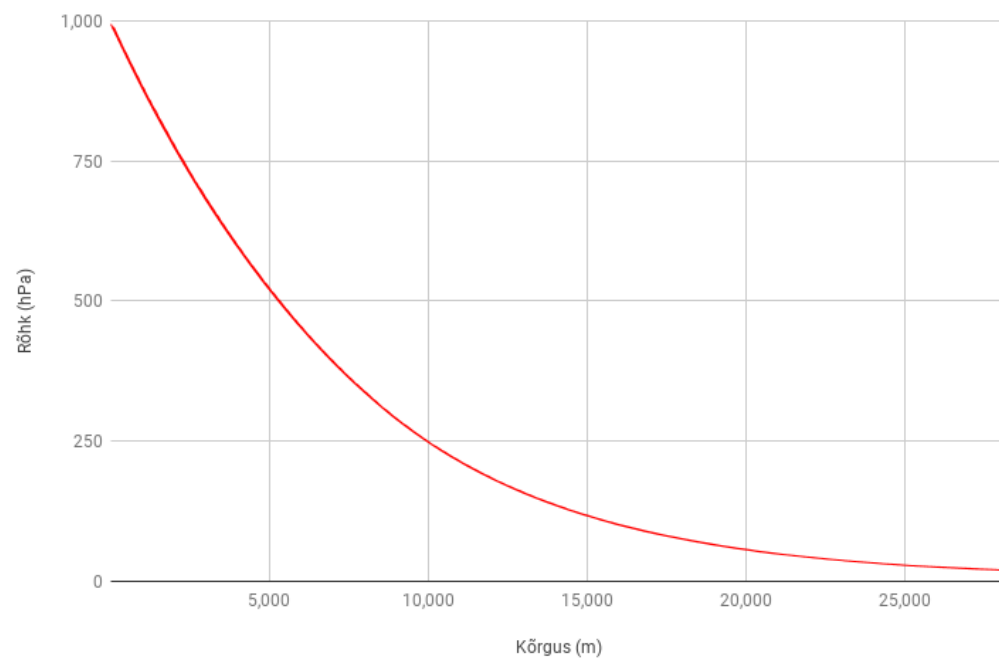
Järgnevalt teeme näidisgraafiku, mis iseloomustab rõhu ja kõrguse seost. Selleks vali **Sisesta** → **Diagramm**. Topeltklakk toob paremale diagrammiredaktori (vaata alljärnev joonis), kus saab määrata diagrammi seaded. Vali diagrammi tüübiks **Joondiaagramm**. Andmevahemikuks vali tulbad F ja J, vajutades **Valige andmete vahemik** ja sisestades vahemikud **F:F** ja **J:J**. Vajadusel vajuta **Lisage teine vahemik**. X-teljeks vali **kõrgus** ja Seeria (ehk y-telg) väljale vali **rõhk**. Üleval **Kohanda** alt saab valida graafikule sobiva välimuse ja anda telgedele nimetused.

Soovitud tulemuse saavutamisel on võimalik graafik pildina alla laadida. Selleks kliki graafikul. Graafik muutub aktiivseks ja selle paremasse ülanurka tekib kolm täppi. Neil täppidel klikkides avaneb menüü, millest vali **Laadi alla**. Vali allalaadimiseks sobilik formaat, näiteks **png**.

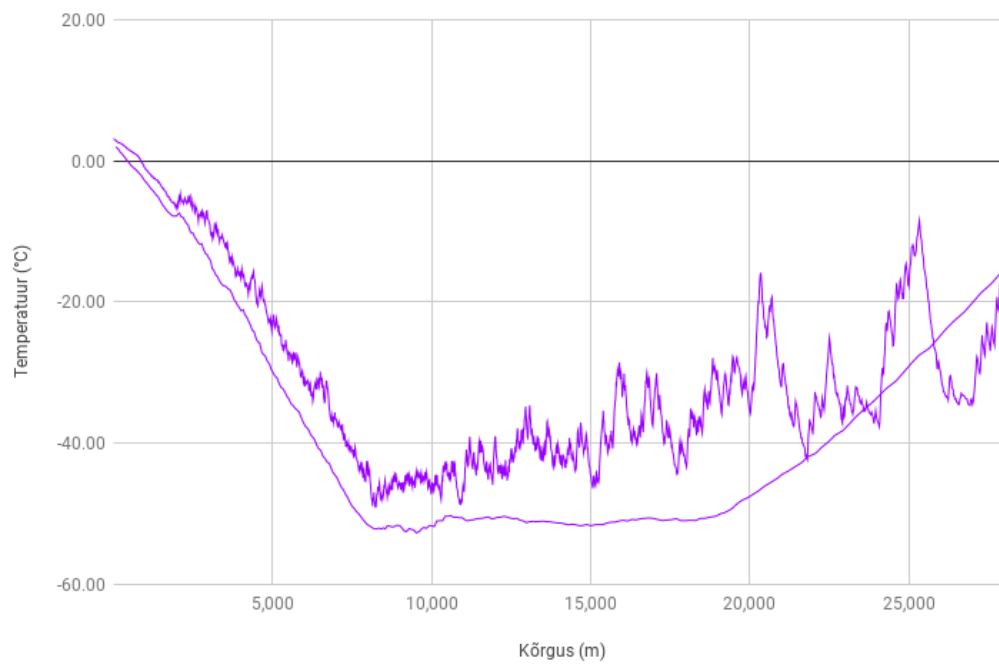


Järgnevalt on esitatud kaks näidisgraafikut.

Rõhu muutus kõrgusega



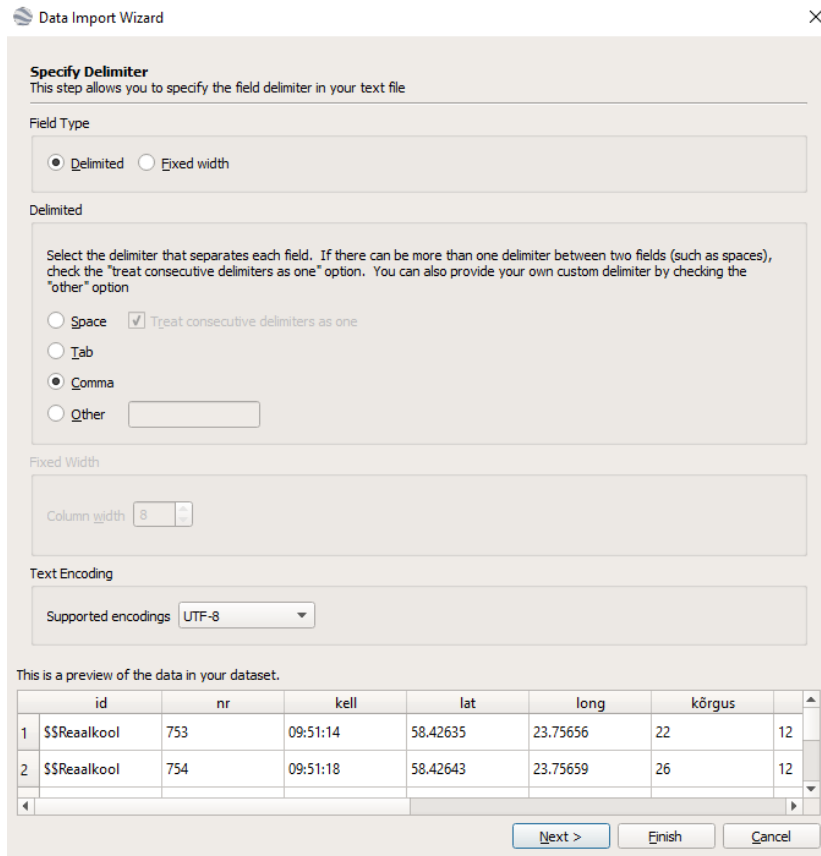
Temperatuuri muutus kõrgusega



Google Earth Pro's lennu trajektoori koostamine

Lennu logifaili andmetest on võimalik lihtsalt luua trajektoori ilmestav pilt, kasutades programmi **Google Earth Pro** (<https://www.google.com/earth/versions/#download-pro>).

Käivita programm ja vali **File** → **Import** → eelnevalt ettevalmistatud **log.csv** fail. Kuna oleme faili hästi ette valmistanud, siis tuvastab programm õiged väljad ise ja palju muudatusi ei pea tegema. Kontrolli, et seaded oleks sarnaselt valitud (kõrvalolev pilt). Peale **Next** nupule vajutades kontrolli, et **latitude** ja **longitude** valikus oleksid õiged väljad. Kui kõik on sobilik, siis vajuta **Finish** nuppu.



Specify Delimiter
This step allows you to specify the field delimiter in your text file

Field Type

☒ Delimited ☐ Fixed width

Delimited

Select the delimiter that separates each field. If there can be more than one delimiter between two fields (such as spaces), check the "treat consecutive delimiters as one" option. You can also provide your own custom delimiter by checking the "other" option

☐ Space ☒ Treat consecutive delimiters as one

☐ Tab

☒ Comma

☐ Other

Fixed Width

Column width

Text Encoding

Supported encodings

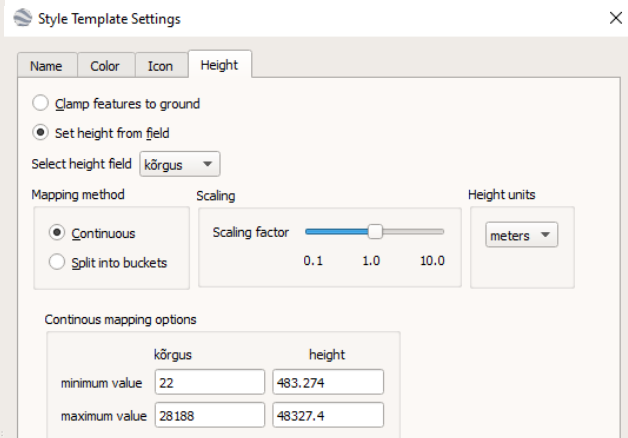
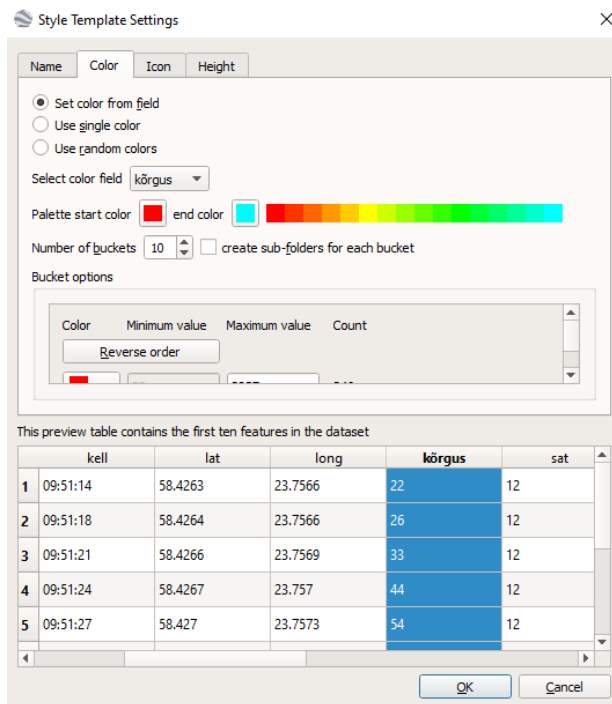
This is a preview of the data in your dataset.

	id	nr	kell	lat	long	kõrgus	
1	\$\$Reaalkool	753	09:51:14	58.42635	23.75656	22	12
2	\$\$Reaalkool	754	09:51:18	58.42643	23.75659	26	12

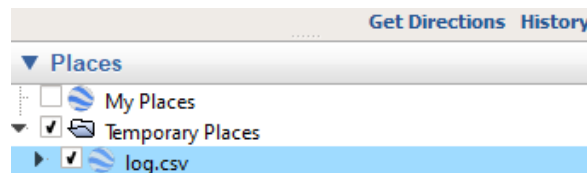
Next > Finish Cancel

Seejärel küsib programm: **Do you want to apply a style template to the features you ingested?** Vasta **Yes** ja vali **Create new template**.

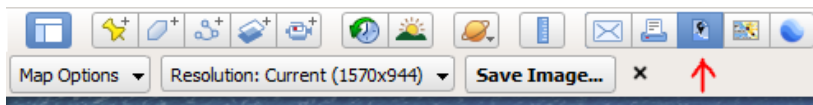
Joonisel (vt järgnevaid pilte) on võimalik värviga määdetud suuruseid esile tuua. Näites on esile toodud kõrgus. Selleks vali **Set color from field** ja vali **kõrgus**. Seejärel saab sisestada sobivad värvid ja valida vajaliku segmentide arvu. Lisaks tuleb **Height** alt valida **Set height from field** ja valida valikust **kõrgus**. Lisaks vali **Continuous**.



Vajuta nüüd nupule **OK** ja salvesta tekkinud **.kst** laiendiga fail sobivasse kohta:

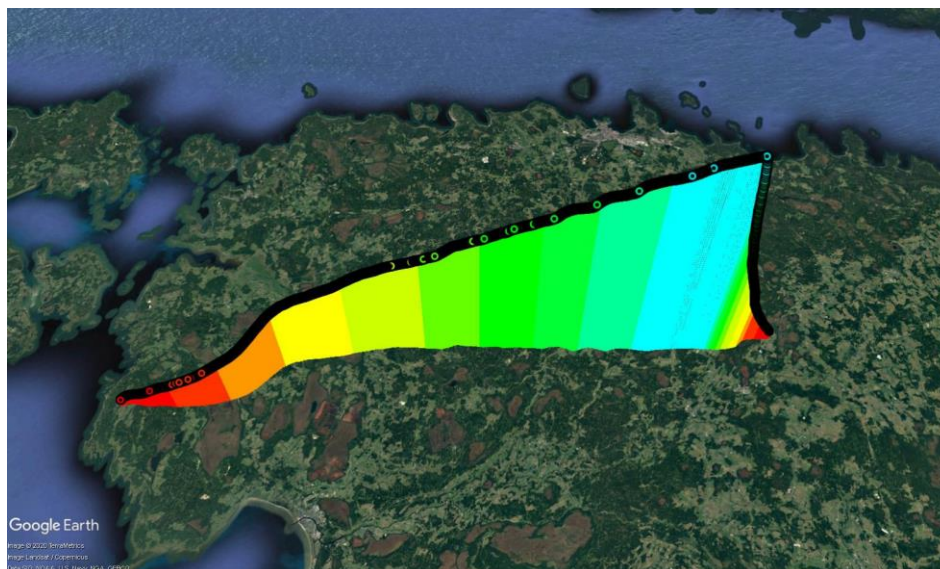


Trajektoori kaardil nägemiseks tuleb kõrvalmenüüs **Places** valikus panna linnuke **log.csv** ette.

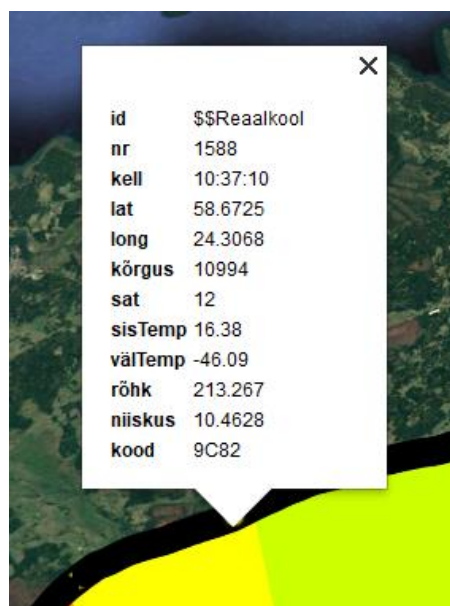


Trajektoorist pildi tegemiseks tuleb ülevalt menüüst valida **Save image**, seejärel määrata pildi kvaliteet ja samuti, kas pildil oleks näha kompass, skaala, legend ja muu taoline. Kui oled soovitud kaadriga rahul, siis vajuta **Save Image** ning vali soovitud salvestuskoht.

Pildi näide:



Samuti on võimalik trajektooriga konkreetsel punktil vajutades lugeda selle punkti andmeid:



Habhub Tracker keskkonna kasutamine

1. Lennu registreerimine

Habhub Tracker (tracker.habhub.org) on internetikeskkond, mille abil saab lihtsalt jälgida oma (aga ka mõne muu) [sondpalli](#) asukohta reaajas, selle liikumist ning teekonda kaardil. Peale teekonnainfo nägemise on Habhub keskkonna ennetav kasutamine kasulik ka juhuks, kui õhupall kaob ära või tema [signaali vastuvõtmisel](#) on tõrked, sest kellegi teise raadio võis õhupalli [sondi](#) signaali samal ajal ikka kuulda – Habhub lubab õhupalli liikumisandmeid üles laadida erinevatel kasutajatel.

Selleks, et õhupallilt vastu võetud infot saaks Habhubi üles laadida, on vaja kõigepealt oma lend registreerida lehel habitat.habhub.org/genpayload/.

Sisestada tuleb andmed, mis määravad, milliste raadioseadetega missugust teavet õhupalli sond saadab (*payload configuration documents*). Ilma nende andmetega õhupalli lendu kaardil ei näidata. Järgmiseks tuleb luua nn *Flight documents*, mille abil saab DL-fldigi kaudu oma lennu üles leida. Neid andmeid saab jagada koostööpartnereile / sõpradele üle maailma, et nad varakult teaksid, millal lend toimub ja saaksid valmistuda lennu jälgimiseks.

 habitat genpayload

habitat document generator
payload_configuration and flight document editor

payload configuration documents

payload_configuration documents describe a payload (no prizes for guessing that). They contain instructions to habitat: how to parse telemetry that listeners upload; and radio settings: how to setup listeners' radios. If you fly one payload multiple times, you shouldn't have to change payload configuration document.

create new

start from existing

flight documents

flight documents describe the time and date of a planned flight. They allow us to add the flight to the calendar, set the title on the tracker, and select only relevant telemetry to go into the flight archive (i.e., exclude test data).

A flight document contains a list of payload configuration documents - i.e., the payloads that are going to be launched. You can add more than one, if there are several payloads on one balloon/flight train - but for multiple launches, create a flight document per balloon.

create new

start from existing

1.1 Payload configuration documents (sondi kirjeldus)

Tegu on dokumentidega, mis kirjeldavad õhupalli sondi poolt saadetava info iseloomu ning raadio häälestusseadeid.

- 1) Vajuta ülemist [**Create new**] nuppu. Avaneb uus leht:

Payload configuration

Payload name



Description

- 2) Anna oma lennule väljal **Payload name** mingi nimi. Lisada tasub ka kirjeldus väljale **Description**.
- 3) Lisame kirjelduse raadio seadistuse kohta. Vajuta sektsioonis **Radio and telemetry configuration** nupule [Add]. Järgnevalt muuda vaid väärtusi, mis on siin juhendis eraldi välja toodud, ülejäänut ära muuda.

Radio and telemetry configuration

Add

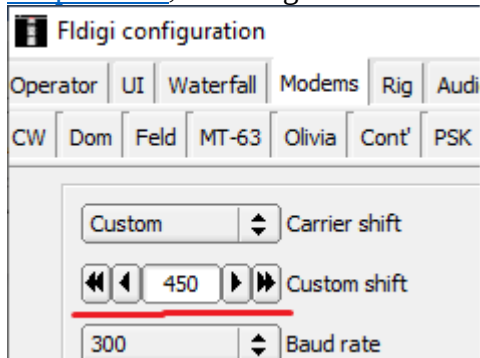
- 4) Väljale **Frequency** välja kirjuta MHz-des raadiosagedus, mida õhupalli raadio kasutab.

Frequency

434.250



- 5) Väljale **Shift** välja kirjuta sama väärtus, mille sisestasid **DL-fldigi-s** parameetri **Carrier Shift** väärtuseks (Peatüki „Raspberry Pi pardaarvuti ja selle programmeerimine“ jaotise [8.2 punkt 11](#); DL-fldigi menüüvalikud **Op Mode** → **RTTY** → **Custom**):



Fldigi configuration

Operator UI Waterfall Modems Rig Audi

CW Dom Feld MT-63 Olivia Cont' PSK

Custom Carrier shift

450 Custom shift

300 Baud rate

Shift (Hz)

450



- 6) **Baud** väärtus muuda nii, nagu oma määrasid Pi programmis **baud rate** seadeks (juhendi näites oli 300).

Baud

300



- 7) Vajuta [**Confirm**]. Nüüd on raadio info kirjeldatud.
8) Vajuta **Parser configuration** sektsioonis nuppu [**New format wizard**].

Parser configuration

New format wizard

Manually add a new format

Copy format from another doc

- 9) Ette tuleb aken, kuhu tuleb kopeerida üks **näidisrida õhupalli saadetud [telemeetriast](#)**. Kopeeri **DL-~~fd~~igist** üks selline rida siia ja vajuta nuppu [**Next**].

Sentence wizard

Parser configuration

\$\$MUKI,1009,13:23:31,51.43254,28.76141,56,9,31.6*2D1A

Prev

Next

Cancel

- 10) Nüüd hakkab leht ükshaaval esile tooma infokilde, küsides nende nimesid ja tüüpe:

11) Enamike väljade väärtusi ja nimesid oskab leht ise arvata. Vajuta järjest nuppu [Next], kuni oled näinud kõiki neid väärtusi: **sentence_id**, **time**, **latitude**, **longitude** ja **altitude**.

- 12) Peale neid välju kontrollitakse [*Pi in The Sky*](#) (PITS) [*andurite*](#) ja programmis ise lisatud muutujate väärtuseid (eelmisel pildil on rea lõpus **9** ja **31.6** PITS andurite väärtused). Anna neile kõigile nimi, mis kirjeldab väärtuse olemust ja otstarvet.
- 13) Kui kõik väärtused on nime saanud, tuleb ette viimane ekraan, kus saad anda lühikese kirjelduse oma formaadi kohta. Vajuta nuppu [**Next**] ja oled tagasi **Payload configuration** ekraanil.
- 14) Kui kõik eelnevad sammud on tehtud, peaks ekraan nägema välja umbes selline:

Payload configuration

Payload name
!

Need not be its callsign.

Description

Free form, optional.
Used only to help you find it later.

Radio and telemetry configuration

434.25MHz USB RTTY 300 baud 450Hz shift ASCII-8 no parity 2 stop bits

EditDelete

Add

Parser configuration

\$\$MUKI,sentence_id,time,latitude,longitude,altitude,idk,aaa*FFFF (UKHAS)

EditDelete

New format wizard
Manually add a new format
Copy format from another doc

SaveCancel

15) vajuta nuppe [Save] ja [Done]. Sektsioon **Payload configuration documents** on nüüd täidetud.

1.2 Flight documents (lennudokumendid)

Need kirjeldavad lennu planeeritud aega ja kuupäeva. Lennudokumendid on vajalikud lennu hilisemaks leidmiseks **DL-fldigi** programmist.

- 1) vajuta **Flight documents** välja kõrval [Create new] nuppu.
- 2) Kirjuta oma lennu nimi ning soovi korral ka projekti ja grupi nimed esimesele kolmele väljale.

Flight name


Project name

Group name

- 3) Määra **Timezone** ehk ajatsoon (näiteks **Europe/Tallinn**).
- 4) Määra **Launch Date** ehk stardikuupäev ja **Time** ehk lennu planeeritav algusaeg.
- 5) Määra **Launch location** ehk startimise asukoht.
- 6) Kirjuta väljadele **Latitude**, **Longitude** ja **Altitude** lennu alguse [koordinaadid](#) ja kõrgus. Kõrgust ei pea kirjutama.

- 7) Teksti **Payloads in this flight** teksti all vajuta nuppu [**Add**] ja otsi oma sondi kirjelduse dokumente (vastavalt käesoleva peatüki [punktile 1.1](#)) ning vajuta selle peale.

Search prefix:

test test test MUKI b8792ba266c5719f0fa37ff312254450
2019-09-23T00:39:35+03:00

- 8) Vajuta nuppudele [**Save**] ja [**Done**]. Nüüd on ka lennudokumendid tehtud.

2. Lennuandmete saatmine Habhub Tracker keskkonda

Aktiivse lennu raadioinfot on võimalik igapähe vastu võtta ja **Habhub Tracker** keskkonda edasi saata. Habhub kogub kõigilt saadud teabe kokku ja näitab selle põhjal registreeritud lennu hetke asukohta. See on kasulik juhul, kui ühe vastuvõtja signaal on häiritud, sest siis võivad teised selle ikka kätte saada ja Habhubi jõuab täielikum ülevaade õhupalli lennu ajaloost.

Vaatame, kuidas **DL-fldigi seadistada** nii, et ta vastu võetud andmed edastaks Habhub keskkonda. Selleks on meil vaja ära määrata enda asukoht ja valida lend, mida kuulame. Asukohta kasutab Habhub selleks, et näidata kaardil kohad, kus lendu on kuulatud.

Alustuseks **veendu**, et:

- 1) [Raspberry Pi](#) töötab ja saadab signaali.
- 2) **Raadio** on arvutiga ühendatud, SDRSharp on õigesti häälestatud ja kuuleb signaali;
- 3) **DL-fldigi** on õigesti häälestatud ja dekodeerib signaali õigesti;
- 4) **Lend** on käesoleva peatüki [punktis 1 toodud juhiseid](#) järgides registreeritud Habhubi keskkonnas.

Nüüd võtta ette DL-fldigi ja:

- 1) Navigeeru **DL Client** → **Configure**. Ette tuleb uus aken.
- 2) Uues aknas vajuta nupule [**Location**].

Fldigi configuration

Operator | UI | Waterfall | Modems | Rig | Audio | ID | Misc | Web | DL Client

Enable | **Location** | Active flights list | All payloads (testing)

Listener Location

☒ Stationary Listener

Latitude Longitude

Altitude please enter lat/long as one number, in decimal degrees; altitude in metres

☐ Upload GPS Position ☐ Always enable GPS on startup

Device ▼ Refresh Device List

Baud Period ▲▼ seconds between position updates

Last GPS Position

Time Lat Lon

Alt Save as stationary location

Restore defaults | Apply (dl) | Save | Close

- 3) Sisesta väljadele **Latitude**, **Longitude** ja **Altitude** väljadele oma laiuskraadi ja pikkuskraadi koordinaadid ning oma kõrgus merepinnast (kõrguse leidmiseks saad kasutada mõnda nutitelefoni GPS programmi). Kui kõrgust ei tea, siis kirjuta väärtuseks 0. Koordinaate on vaja selleks, et Habhub teaks näidata, kus sa asud.
- 4) Vajuta [**Save**] nuppu ja siis [**Close**] nuppu.
- 5) Tagasi **DL-fldigi** rakenduses vali **Flight** rippmenüüst oma lend, mille registreerisid eelnevalt käesoleva peatüki [punkti 1 juhiseid](#) järgides. Vajaduse korral saad ka valida teisi hetkel käimas olevaid lende, nende infot vastu võtta ja Habhubile saata.
- 6) Nüüd saadabki DL-fldigi vastuvõetud andmeid Habhub serverisse.

Lühiväljakutse edasijõudnuile: tehisintellekt ja kosmos

Martin Simon

On paratamatu, et järgmise kümnendi jooksul automatiseeritakse suur osa inimeste tehtavatest töödest. Seejuures on tehnika areng ükskõikne tööiseloomu suhtes: seadmed võtavad üle nii tüütud mehaanilised ülesanded (nt ladustamine, ehitustööd jne) kui intelligentsi ja emotsioone vajavad ülesanded (nt teaduskatsed, näitlemine, klienditeenindus). Kosmos ja kosmosetehnika ei ole erand. Selleks, et raketid ja kosmoselaevad oskaksid ise ohutult lennata, hoida inimesi elus teekonnal teistele planeetidele ja uurida kosmost, on tingimata vajalik, et masinad oleksid nutikad.

Kolm enamlevinud tehisintellekti kui tööriista õppimismeetodit on:

- Juhendamisega õpe (**supervised learning**) – masinale näidatakse probleemi ja lahendust palju kordi ette ning matemaatilised valemid „jätavad oskuse meelde“. Nii saab näiteks tuvastada pildilt inimesi või planeete. Mõned otsingusõnad: *deep learning, computer vision, YOLO, deepfakes, speech recognition, classification, regression*.
- Juhendamata õpe (**unsupervised learning**) – masinale antakse ette suur hulk infot ning matemaatilised valemid otsivad ise üles uued seosed: näiteks leitakse üles seaduspärasused mõnes bioloogilises katses või komeedi pinnastruktuurid. Mõned otsingusõnad: *deep learning, neural imaging, DeepDream, Art Generator, brain-computer-interface, topological analysis, clustering*.
- Abistatud õpe (**reinforcement learning**) – masinale antakse ette reeglid, mille piires ta võib langetada valikuid oma suva järgi ning vastavalt valikutele saab ta preemiat või kriitikat. Mängides selle meetoditega läbi palju situatsioone, jätavad matemaatilised valemid meelde näiteks kuidas mängida malet, Starcrafti või maanduda raketiga. Mõned otsingusõnad: *deep learning, alphastar, gymAI, VizDoom, Q-learning, self-learning robots*.

Siinkohal tasub ära märkida, et need kõik tehisintellektid on tasuta ja vabalt saadaval internetis. Iga teema järgi on pandud õpiku kirjutamise hetkel olulised olnud märksõnad, mille järgi saab leida artikleid, blogisid, videosid ja koodi juppe, mis aitavad kümne minutiga teha oma tehisintellekti.

Veel on hea abiline siia juurde prototüüpimisarvuti (nt Raspberry Pi), mille saab ühendada omakorda interneti, roboti, kaamerate jms seadmetega ning teha niimoodi näiteks masin, mis paneb kassile automaatselt toitu juurde, kui ta kauss on tühi kell 09:00 hommikul.

Ülesanne: Ehita robot, mis teeb automaatselt pildi, kui keegi sinu tuppa astub ja tuvastab, kas tegemist on inimesega.

Vajalikud seadmed: arvutikomplekt (nt laptop) ja veebikaamera.

Lahendus:

1. Seadista oma arvutisse Python keskkond, kui see puudub.
2. Seadista oma Python keskkonda OpenCV tööriistakast.
Juhised leiad otsides näiteks märksõnu: *install OpenCV on Windows*
3. Kasuta või kirjuta Python kood, mis jooksub kaamerat ning tuvastab, kui kaameravoos toimub muudatus.
 - Kuna Python tööriistad muutuvad iga mõne kuu järel, on kõige kindlam blogidest otsida selle kohta värske õpetus ja kopeerida etteantud kood oma arvutisse.
 - Juhised leiad otsides nt: *OpenCV motion detection tutorial*.
4. Kui tuvastab muudatuse, siis salvesta pilt.
5. Sellele koodile lisa mõni Pythonis kirjutatud närvivõrk.

- Lihtsaim oleks ilmselt kasutada OpenCV-s realiseeritud *haarcascade* meetod, mis peaks töötama kõigil laptopidel ja ka Raspberry-l.
 - Võid ka teha mõne muu mudeli, paigaldades Pythonis tööriista TensorFlow.
Juhised leiad otsides nt: *OpenCV haarcascade human example*
6. Las närvivõrk hindab, et kas pildil on inimene. Kui on inimene, siis võid anda näiteks käsu, et kood saadaks sulle sõnumi: „Sissetungija!“.

Märksõnade loetelu

1-Wire siin – madalakiiruselist andmevahetust ja toidet võimaldav siinisüsteem, mis kasutab vaid kahte juhet: andmed ja maandus. Kasutatakse tavaliselt digitermomeetrite, ilmateenistuse instrumentide jms, aga ka puutevõtmete juures.

AFSK modulatsioon – sagedusmodulatsiooni alaliik digitaalandmete edastamiseks APRS võrgustikus. Vt ka [moduleerimine](#).

aktiivantenn – eelvõimendiga (aktiivkomponentidega) antenn. Aktiivkomponendid võimaldavad signaali vastuvõtuks vajaliku antenni mõõtmeid oluliselt vähendada. Vt ka [eelvõimendi](#).

AM – amplituudmodulatsioon, modulatsiooni liik, kus infosignaal muudab kandesignaali tugevust. Kasutati varem raadioringhäälingus, praegu nt lennundussides. Vt ka [moduleerimine](#).

amatööriraadioside, amatööriradio, amatöörside, amatöørsagedus – kindlaksmääratud raadiosageduste kasutamine eraviisilisel, mitteärilisel, hariduslikul eesmärgil sõnumite vahetuseks, hädaabisuhtluseks või traadita ühenduse katseteks. Amatööriradio kasutamine vajab üldjuhul luba. Ilma loata on lubatud kasutada teatud tingimustele vastavaid raadioseadmeid ja raadiosagedusi. Käesolevas juhendis viidatud raadioseadmed ja –sagedused ei vaja eraldi kasutusluba. Vt ka [raadioside](#).

andur, sensor – seade, mis väljastab mõõdetava füüsilise suuruse (rõhk, temperatuur) signaalina, mida saab võimendada, edastada või töödelda. Andur koosneb tavapäraselt füüsilist suurust tajuvast tajurist ja selle väljendatud signaali töötlemise (teisendamine, võimendamine, jms) moodulist.

antenn – seade, mida kasutatakse raadiosignaali kiirgamiseks või vastuvõtmiseks (elektromagnetvõnkumise muundamisel elektromagnetlainetuseks ja vastupidi).

APRS võrgustik – amatööriradiol põhinev süsteem reaalajas toimuva vahetu kohaliku väärtusega digitaalse suhtluse jaoks. Edastatavad andmed võivad sisaldada objektide GPS koordinaate, ilmastiku-telemeetriat, tekstisõnumeid, teadaandeid, päringuid ja muud. APRS-andmeid saab kuvada kaardil (jaamad, objektid, liikuvate objektide teekonnad, ilmajaamad, otsingu- ja päästeandmed jms). Raspberry Pi jaoks on võimalik soetada APRS moodul.

bar – rõhuühik, mis vastab ligikaudu keskmisele õhurõhule merepinna kõrgusel. 1 bar = 100 000 Pa.

CSS modulatsioon – madala energiavajadusega ja vähese andmeedastuskiirusega raadioside andmeedastustehnika. Vt ka [moduleerimine](#).

demodulatsioon, demoduleerimine – radio kandesignaalist teabesignaali eraldamine. Vt ka [moduleerimine](#).

detsimeeterlaine, UHF (ultra high frequency) – raadiolaine lainepikkusega 10 cm kuni 1 m. Läbivad ionosfääri väga väikeste kadudega mistõttu kosmosesides kasutatakse just detsimeeter-, sentimeeter- ja millimeeterlaineid. Kasutatakse ka televisiooni edastamisel, mobiil-, WiFi ja Bluetooth sides.

eelvõimendi – antennis asuv võimendi, mille ülesandeks on vältida väga nõrga signaali sumbumist antennikaablis enne raadiovastuvõtjasse jõudmist. Vt ka [aktiivantenn](#).

elektromagnetlaine – elektri- ja magnetväljade häirituse levik ruumis, mistõttu (erinevalt helilainest) elektromagnetlaine ei vaja levimiseks keskkonda. Elektromagnetlaineteks on näiteks raadiolained, soojus- ja valguskiirgus.

FM modulatsioon – sagedusmodulatsioon, modulatsiooni liik, kus infosignaal muudab kandesignaali sagedust. Kasutatakse raadioringhäälingus. Vaata ka [moduleerimine](#).

FSK modulatsioon – sagedusmodulatsiooni alaliik digitaalandmete edastamiseks. Vt ka [moduleerimine](#).

geo-aed – tarkvaraliselt piiratud ala, mille piirid on määratud näiteks GPS koordinaatidega. Geo-aed võib piirata ka kõrgust.

GPIO pinnid – elektroonilise seadme ühenduspistikud, mida kasutaja saab töö ajal tarkvaraliselt kontrollida. GPIO (*general purpose input/output*) pinnid saavad vahendada nii sisendit kui ka väljundit.

heelium – õhust kergem väärisgaas, mida loetakse taastumatuks loodusvaraks. Maal tekib heelium radioaktiivse lagunemise tagajärjel. Suurimad kasutusvaldkonnad on meditsiin (magnetomograafide ülijuhtivate magnetite jahutamine) ja teadus. Kasutatakse amatöörsondpallide täitmiseks, kuna ei ole tuleohtlik nagu vesinik. Vt ka [vesinik](#).

I2C siin – I²C ehk *Inter-Integrated Circuit* on 1982. aastast pärinev jadaühenduse protokoll, mis võimaldab mikrokontrolleritega lihtsalt ühendada seda protokolliga toetavaid andureid-täitureid. Raspberry Pi toetab I2C protokolliga.

inverter – elektriseade, mis muudab elektronlülitite abil alalisvoolu vahelduvvooluks. Autoinverterit kasutatakse autoelektrisüsteemi kasutamiseks vähesel võimsusega tavaelektrivõrgu seadmetega, näiteks sülearvutitega.

isolatsioon – konstruktsioon kahe soojust, raadiolaineid, elektrit (või muud taolist) juhtiva komponendi eraldamiseks. Näiteks antennis kaitseb isolatsioon signaalijuhet ümbritseva keskkonna müra eest; sondis kaitseb isolatsioon sondi tehnikat temperatuurikõikumiste eest. Juhtmeil on enamasti ka väline isolatsioon, sest vooluring võib moodustuda ka väliskeskkonnaga (maaühendus).

isotroopiline antenn – kiirgab või võtab vastu elektromagnetlaineid igas ruumisuunas võrdse võimsusega (sfäärilise suunadiagrammiga antenn).

kesklaine, MF (*medium frequency*) – raadiolaine, mille lainepikkus on 100 kuni 1000 m, levib maapinna ja ionosfääri vahel, peegeldudes maapinnalt ning ionosfääri kihtidelt. Kasutatakse raadioprogrammide edastamisel, meresides, aga ka näiteks traadita kodutelefonides.

koaksiaalkaabel – vähesel signaali sumbumisega elektrijuhtme tüüp, millega edastatakse kõrgsageduslikke elektrisignaale. Koaksiaalkaablit kasutatakse näiteks raadio-, tele-, telefoni- ja internetisides.

koordinaadid – objekti täpset asukohta Maa pinnal või selle kohal kirjeldavad andmed. Koordinaatide tõlgendamisel on tarvis teada, missugust koordinaatsüsteemi (näiteks UTM *Universal Transverse Mercator*) on nende määramisel kasutatud.

lainepikkus – (elektromagnet)lainetuse kahe naaber-laineharja vaheline kaugus.

langemise aeg – aeg, mille vältel jõuab sond peale õhupalli lõhkemist maale. Langemise aeg sõltub langevarju ehitusest ja sondi kaalust.

langevari – vahend atmosfääris liikuva keha kiiruse vähendamiseks õhutakistuse abil. Sondpalli langevarju ülesanne on tuua sond peale õhupalli lõhkemist alla nii, et keegi ei saaks maa peal viga ning et korpuses asuvad seadmed jääks terveks.

LED tuli – valgusdiod.

Lennuamet – lennuohutuslaste rahvusvaheliste kohustuste täitmise eest vastutav organisatsioon. Vähemalt seitse päeva enne sondpalli lennutamist tuleb Lennuametilt taotleda vabalennu õhupalli lennutamise luba.

lennuluba – Lennuameti väljastatud luba õhusõiduki käitamiseks loakohustuslikes alades. Heeliumiga täidetud sondpalli lennutamiseks on vajalik taotleda vabalennu õhupalli lennutamise luba.

lennutrajektoor – sondpalli liikumistee, mis sisaldab asukoha-andmeid maapinna suhtes ja kõrgusteavet. Vt ka [koordinaadid](#).

liitiumpatarei – liitiumist anoodiga mittetaaslaetavad vooluallikad, mis on tavapäraselt kättesaadavad patareide standardeile vastaval kujul (AA, AAA, jne). Võrreldes tavaliste leelispatareidega on liitiumpatarei energiatihedam, võimaldades sondpallil tehnikal töötada kauem.

LoRa raadioside – madala energiatarbega suure leviulatusega (linnatingimustes kuni 10 km) raadioside tehnoloogia. LoRa kasutab litsentsivabasid raadiosagedusi, on kahesuunaline ning leiab suuremat kasutust IoT lahendustes.

lõhkemiseni kuluv aeg – sondi tõstva õhupalli lõhkemiseni kuluv aeg alates stardist. Selle aja saab arvutada sondi massi, õhupalli massi ja selle täitmiseks kasutatud heeliumi hulga järgi. Lõhkemiseni kuluv aeg on üks sondpalli lennuulatust piiravaist tegureist. Vt ka [lõhkemiskõrgus](#).

lõhkemiskõrgus – sondi tõstva õhupalli lõhkemise kõrgus. Ligikaudse lõhkemiskõrguse saab arvutada sondi massi, õhupalli massi ja selle täitmiseks kasutatud heeliumi hulga järgi. Lõhkemiskõrgus on üks sondpalli lennuulatust piiravaist tegureist. Vt ka [lõhkemiseni kuluv aeg](#).

lühilaine, HF (*high frequency*) – raadiolaine lainepikkusega 10 kuni 100 m. Neeldub maapinnas, kuid peegeldub ionosfääri kihtidelt. Ei võimalda ülipikki sidekaugusi, kuid sõltuvalt ionosfääri omadustest on võimalik side pidamine ionosfääri peegelduste kaudu tuhandete kilomeetrite kaugusele. Kasutatakse lennuses, ilmateenistuses, ajasignaali edastamisel, amatöörside.

meeterlaine, VHF (*very high frequency*) – raadiolaine lainepikkusega 1 kuni 10 m. Levib vaid otsekiireliselt (sidekaugus on pisut suurem otsenähtavusest). Kasutatakse raadioprogrammide, televisiooni edastamisel, kahesuunalises maismaasides, lennujuhtimissüsteemides.

mobiilpositsioneerimine – asukoha määramine mobiilsidevõrgu kaudu.

modulatsioon, moduleerimine – raadio kandesignaali muutmine sellele info lisamisega. 20. sajandi raadiosüsteemid kasutasid põhiliselt sagedus- või amplituudmodulatsiooni. Sagedusmodulatsiooni puhul sõltub infosignaali väärtusest kandesignaali sagedus etteantud ribalaiusse piires, amplituudmodulatsiooni puhul kandesignaali amplituud. Vt ka [demoduleerimine](#).

modulatsioonikiirus, baud rate – impulsside (sümboolite) arv digitaalselt moduleeritud signaali edastamisel mingi ajaühiku kohta. Modulatsioonikiirus ei võrdu andmeedastuskiirusega, sest signaal sisaldab ka kontrollimpulsse. Modulatsioonikiiruse ühikuks on bood (*baud*) – ühikintervalli sekundis. Vt ka [moduleerimine](#).

penoplast, vahtpolüstüreen – väikese tihedusega poorne soojustusmaterjal, mis on kerge ja võib olla suhteliselt tugeva konstruktsiooniga. Sobib kasutamiseks sondpalli korpuse valmistamiseks, kuna on hõlpsasti töödeldav.

pikklaine, LF (*long frequency*) – raadiolaine, mille lainepikkus on 1 kuni 10 km, levib maapinna ja ionosfääri vahel, peegeldudes maapinnalt ning ionosfääri kihtidelt. Seetõttu levivad nad ka maapinna kumeruse taha ning tungivad maapinna sisse, võimaldades ülipikki sidekaugusi (kümned tuhanded kilomeetrid) ja sidepidamist näiteks kaevandustega. Kasutatakse lennumajakates, ilmasüsteemides, ajasignaali edastamisel.

PITS, Pi in The Sky – lihtne GPS raadioträkker Raspberry Pi jaoks. Moodul sisaldab GPS vastuvõtjat, litsentsivaba raadiosaatjat, temperatuuriandurit ja sondpalli pikaks lennuks sobivat toitemoodulit.

planaarantenn, plaatantenn – suundantenn, mille kõik elemendid on viidud ühele tasapinnale, mis võib olla raadiolaineid peegeldav. Plaatantenne kasutatakse muuhulgas mobiiltelefonides ja satelliitnavigatsiooni seadmes.

poolaine antenn – antenn, mille pikkus on pool edastatava signaali lainepikkusest. Sageduse 434 MHz kasutamisel on antenni pikkus 0,5 lainepikkust ehk umbes 33 cm. Vt ka [vertikaalne poolaine dipool](#) ja [veerandlaine antenn](#).

Python – lihtne programmeerimiskeel peamiselt arvutiprogrammidele lisade ja lihtsate konsoolirakenduste kirjutamiseks. Meie kasutame Pythonit oma sondpalli raadiosaatja programmi loomiseks.

PyTrack – tarkvaraliides Pythoni ja PITS-plaadi vahel, mis võimaldab lihtsat suhtlust PITS-plaadiga.

raadiosaatja – seade, mis kasutab raadiolaineid teabe (heli, pildi, jms) edastamiseks.

raadiosagedus, sagedus – raadiolaine võngete arv ühes ajavahemikus (võnget sekundis, ehk Hz).

raadioside – teabe edastamine elektromagnetlainete abil. Elektromagnetlaine levi omadused on seotud sageduse ja lainepikkusega (Joonis 1), st erineva sagedusega raadiolained sumbuvad, peegelduvad ja painduvad eri keskkondades erinevalt. Raadiosideks kasutatakse väga laiades piirides varieeruvaid sagedusi, alates mõnekümnest hertsist (nt side allveelaevadega) kuni giga- ja terahertsideni ulatuvate sagedusteni (nt kosmoseside ja radarid). Kommertsiaalses raadiosides kasutatavad sagedused jäävad tavaliselt vahemikku mõnest megahertsist kuni mõne gigahertsini.

raadiosignaali, signaal – raadiolainete abil saadetavad andmed. Raadiosignaali saatmiseks kasutatakse raadiosaatjat ning vastuvõtmiseks raadiovastuvõtjat.

raadiovastuvõtja – seade, mis võtab vastu raadiolainete abil edastatavat teavet ja teisendab selle kasutamiseks sobilikku vormi (heli, pildiks, analoog- või digitaalandmeteks).

Raspberry Pi, Pi, Raspberry – ühe trükkplaadiga miniarvutite seeria, mille eesmärgiks oli edendada arvutiõppe aluseid koolides ning arengumaades. Lisaks kasutatakse Raspberry Pi arvuteid ka hobirobotite kontrollitena.

Raspbian – Raspberry Pi operatsioonisüsteem. Sondpallidel kasutatakse tihti Raspbiani madalama energiatarbega versiooni Raspbian Stretch Lite.

ribalaius, bandwidth – raadiosageduste vahemik, mida kasutatakse signaali edastamiseks. Digitaaltehnoloogias ka andmeedastuskiirus.

RTTY – 1922. aastast pärinev raadiosidetehnika, mis kasutas FSK modulatsiooni 5-bitiliste sümbolite edastamiseks.

rõhuandur, õhurõhu andur – seade, mis mõõdab ümbritseva keskkonna (õhu) rõhku ning väljastab rõhu väärtuse signaalina, mida on võimalik võimaldada, edastada või töödelda. Õhurõhu väärtuse järgi saab tuletada sondpalli kõrguse. Vt ka [andur](#).

satelliit – objekt Maa orbiidil. Tehissatelliidid on inimese poolt taotluslikult paigutatud Maa orbiidile ning jagunevad üldiselt vaatlus-, side-, navigatsiooni-, ilma- ja teleskoopsatelliitideks.

SDR raadio, SDR vastuvõtja, tarkvaraline raadio – on raadiosüsteem, kus tavapäraselt riistvaraliselt lahendatud komponentide (mikser, filter, modulaator/demodulaator, jne) asemel kasutatakse tarkvara, mis töötab kas personaalarvutis või eraldi kontrollerus. SDR (*software defined radio*) peetakse raadioside tulevikuks.

seikluskaamera – rasketes välitingimustes kasutamiseks mõeldud kaamera. Sondpallil kasutamiseks vali seikluskaamera, mis on veekindel, talub temperatuurikõikumisi ja põrutusi ning mille aku võimaldab pikka tööaega või mida saab kasutada akupanga abil.

sidesüsteem, raadioside süsteem, raadiosüsteem – sondi raadioside toimimiseks kavandatud seadmete kooslus.

sidevahend – (raadio)side pidamise vahend, näiteks raadiovastuvõtja või raadiosaatja.

signaali-müra suhe, SNR (*Signal to Noise Ratio*) – kasuliku raadiosignaali võimsuse ja sellele lisandunud müra võimsuse suhe. Halva signaali-müra suhte korral võib osa edastatud andmetest minna kaduma.

sond, raadiosond – Sond on automaatne ja mehitamata seade, mis on mõeldud atmosfääri uurimiseks. Raadiosond kasutab kogutud teabe edastamiseks raadiosidet. Vt ka [satelliit](#), [sondpall](#), [raadioside](#).

sondpall – Maa atmosfääri või kosmose uurimiseks kasutatav õhupall, mis on enamasti tehtud lateksist, täidetud vesiniku või heeliumiga ning mille külge on kinnitatud raadiosond. Lateksist õhupalle tähistatakse kaalu järgi (näiteks 100 g, 200 g jne) ning see kaal on täitmata õhupalli enese kaal grammides. Vt ka [sond](#).

spiraalantenn – spiraalantennid on suhteliselt suure sagedusvahemikuga töötamiseks mõeldud antennid, mida kasutatakse kaitsetööstuses signaalide tuvastamiseks, aga ka satelliitpositsioneerimissüsteemides.

ssh – arvutivõrgu protokoll, mis võimaldab turvalisi võrguteenuseid üle turvamata võrgu.

stratosfäär – Maa atmosfääri teine kiht, mis paikneb troposfääri kohal ning kus, erinevalt troposfäärist, kõrguse suurenedes temperatuur tõuseb. Temperatuuri tõusu põhjuseks on Päikese ultraviolettkiirguse neeldumine stratosfääris asuvas osoonis (90% Maa osoonist). Sondpallid on mõeldud lendama kuni stratosfääri. Vt ka [troposfäär](#).

sumisti – elektrikõlisti põhimõttel töötav signalisatsiooniseadis.

suunadiagramm – näitab, kui efektiivselt ja millistes suundades antenn kiirgab. Suunadiagramme võib esitada kahemõõtmelisel tasapinnal või kolmemõõtmelise visulisatsioonina.

suundantenn – antenn, milles indutseerunud elektromotoorjõud sõltub raadiolainete saabumise suunast (vastuvõtuantenn) või mille tekitatud elektromagnetvälja tugevus sõltub kiirguse suunast (saateantenn).

teek – programmeerimiskeele valmisfunktsioonide, -klasside, -moodulite jne komponentide kogumikud, mille kasutamine lihtsustab programmeerimist.

telemeetria – kaugmõõtmine, näiteks mõõteandmete raadioside abil edastamine sondpallilt.

temperatuuriandur – andur, mis tuvastab ja edastab ümbritseva keskkonna temperatuuri. Sondpalli puhul on temperatuur üks võimalikest parameetrist, mida sondi lennu ajal jälgida.

toitemuundur – mingi seadme tööks vajalikku pinget ja voolutugevust tagav seade.

transiiver – raadiosideseade signaalide edastamiseks ja vastuvõtmiseks (sama seade toimib nii saatja kui ka vastuvõtjana). Transiiver võib võimaldada pooldupleksside (saatmine ja vastuvõtmine toimub eraldi ajahetkedel) või täisdupleksside (saatmine ja vastuvõtmine saab toimuda samal ajahetkel).

transponder – lennutransponder on automaatne transiiver, mis edastab päringisignaali saabumisel automaatselt lennukit tuvastava teabe.

troposfäär – madalaim Maa atmosfääri kiht, kus toimuvad peaaegu kõik ilmastikunähtused. Troposfäär sisaldab 75% atmosfääri massist ja 99% veeaurust ja aerosoolidest. Troposfääri kõrgus on 6 km (polaaraladel talvel) kuni 18 km troopikas. Vt ka [stratosfäär](#).

trækker – seade, mis edastab millegi või kellegi asukoha-andmeid. GPS-GSM trækker kasutab asukoha tuvastamiseks GPS satelliitsidesüsteemi ning edastab asukoha-andmeid mobiilsidesüsteemi abil.

tõusukiirus – kõrgus meetrites, mille võrra sondpall ühe sekundi vältel tõuseb.

UKHAS – Suurbritannia sondpallihuviliste toetusvõrgustik (*UK High Altitude Society*), mis võtab vastu liikmeid ka mujalt maailmast. Vt ka ukhas.org.uk/frontpage:ukhas

UKHAS jälgimiskeskond – Internetikeskkond, millelt saab jälgida UKHAS liikmete sondpallide lende. Vt ka tracker.habhub.org

UKHAS protokoll – sondpallide GPS andmete edastamise protokoll. Vt ka ukhas.org.uk/communication:protocol

veerandlaine antenn, varrasantenn – sondpallil kasutamiseks sobilik tüüpiline poolsfäärilise suunadiagrammiga antenn. Sellisel antennil on kiirgav element veerandi lainepikkuse pikkune traat. Sageduse 434 MHz kasutamisel on antenni pikkus 0,25 lainepikkust ehk umbes 16,5 cm. Veerandlaine antenn vajab tööks maapinda – sondi antennile luuakse kunstlik maapind kolme või nelja radiaalsuunalise traadiga, mille pikkus on 0,28 lainepikkust. Vt ka [vertikaalne poollaine dipool](#) ja [poollaine antenn](#).

vertikaalne poollaine dipool – sondpallil kasutamiseks sobilik antenn, mis ei vaja „kunstlikku maad“ ning sellel puuduvad radiaalsed elemendid. Antenn on veerandlaine antennist pikem, selle antenni kogupikkus on pool lainepikkust, mis 434 MHz sagedusel on ligikaudu 33 cm. Selle antenni suunadiagramm on sõõriku kujuline ning sarnaneb

isotroopilise antenni suunadiagrammile, mis parandab sidevõimalusi maandunud sondiga. Vt ka [veerandlaine antenn](#) ja [poollaine antenn](#).

vesinik – maailmaruumi kõige enam levinud keemiline element. Maal esineb peamiselt vees, orgaanilistes kütustes ning kõigis elusorganismides. Puhtal kujul on vesinik normaaltingimustes õhust kergem gaas, mida kasutatakse näiteks meteoroloogiliste õhupallide täitmiseks. Ei sobi amatöörkasutusse oma tuleohtlikkuse tõttu. Vt ka [helium](#).

õhupalli ruumala – õhupalli ruumala peale täitmist. Tavaliselt on helium balloonis 200 atmosfäärise surve all, mis tähendab, et üks liiter balloonist välja võetud heliumi paisub õhupalli viiduna ligikaudu 200 korda (täpne number sõltub täitmise koha õhurõhust).

õhupalli tõstejõud – jõud, millega õhupall tõmbab ennast ja lasti üles. Tõstejõu suurusest sõltub ka sondipalli tõusukiirus.

õhurõhk – õhu rõhk mingis kindlas kohas Maa atmosfääris. Praktilistes arvutustes on õhurõhk võrdne mõõtmispunktist kõrgemal asuva õhu kaalust tingitud rõhuga, seega õhurõhk väheneb kõrguse kasvades.

Yagi-Uda antenn – levinud kasutusega, aktiivelemendist ja passiivelementidest koosnev suundantenn. Vt ka [suundantenn](#).