



ERAÜ

ERAÜ XXVII TALVEPÄEV 2026

Kaasaja droonide erinevad sidelahendused.

07.veebruar 2026

Danel Pähnapuu, ES2GDO



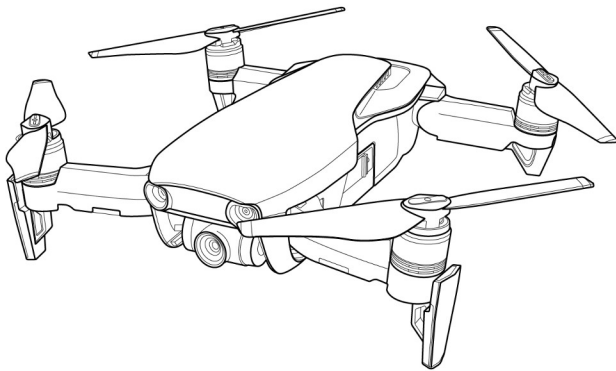
Sissejuhatus.

- Käesolevas ettekandes käsitlen arenguid mehitamata õhusõidukite vallas (edaspidi: drooninduses) eelkõige side vaatenurgast.
- Enamik siin esitatud andmetest on kogutud avalikust internetist – kõiki esitatud tehnilisi parameetreid pole olnud võimalik üle kontrollida.
- Esitluses toetub ka autor enda kogemustele kokkupuutest droonidega tööl ja Kaitseliidus.
- Esitluses olen üritanud kasutada eestikeelseid väljendeid, kuid tänu ingliskeelsele slängile hobidrooninduses ning kolme- ja enamatäheliste lühenditele militaardrooninduses on tehnika kirjeldamine emakeeles keeruline.
- Juttu tuleb droonide ja drooniside ülesehitusest, mis andmeid drooniga vahetatakse, sagedusaladest, antennidest ja drooniside monitooringuseadmetest.

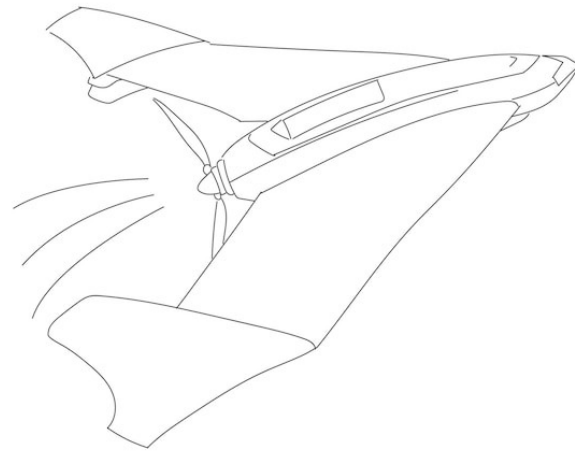


ERAÜ

Mehitamata õhusõidukeid saab liigitada mitmete tunnuste alusel-
otstarve, suurus, kasutatav energiaallikas. Vast kõige lihtsam on neid
liigitada õhus püsimise viisi järgi:



Tiiviku(te)ga droon
(kvadrootor, kvadrokopter)

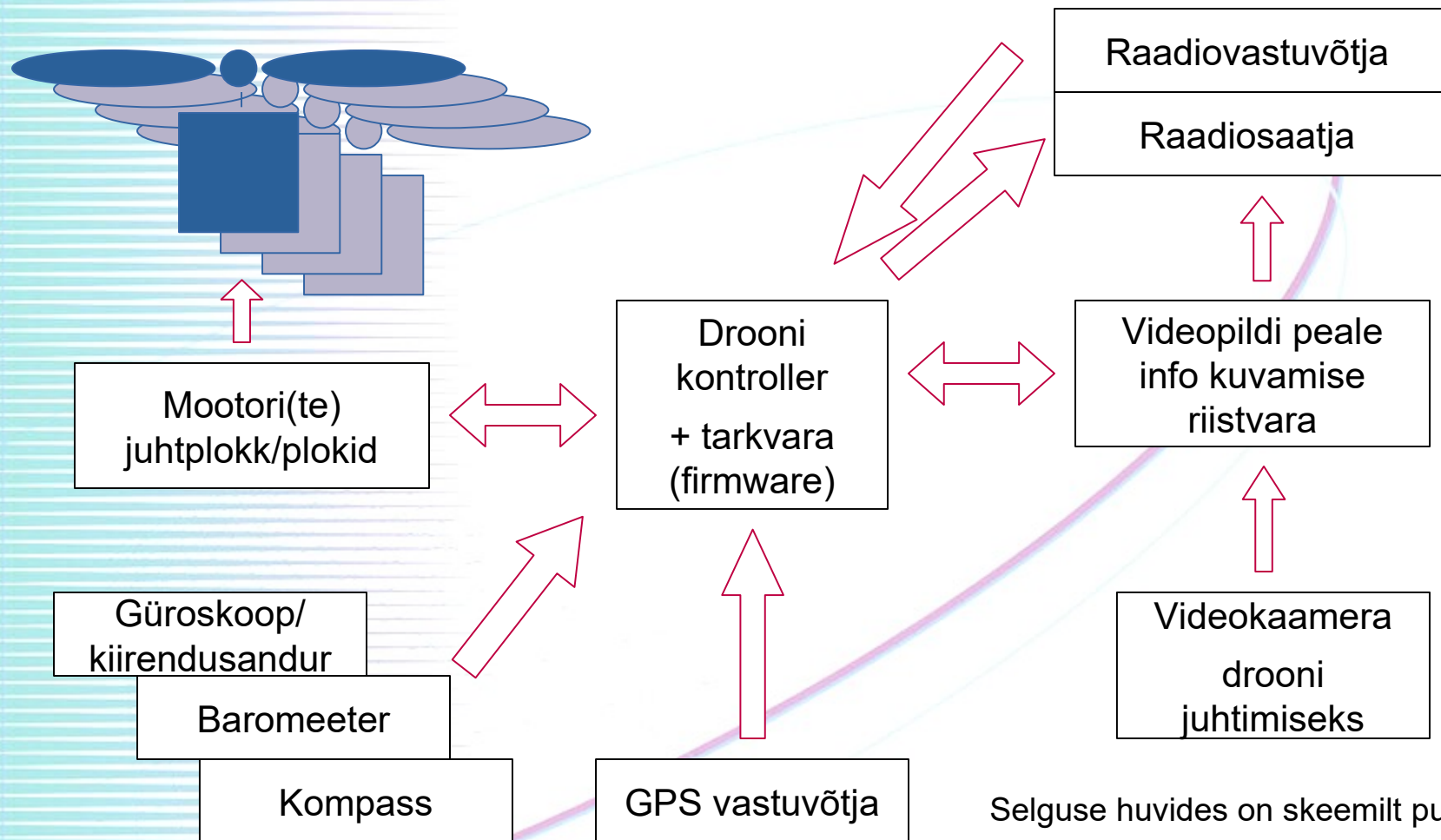


Tiibadega droon
(tiib, *wing*)



ERAÜ

Hoolimata sellest, kas tegu on tiivikutega või tiibdrooniga, esinevad selles (enamjaolt) alljärgnevad sõlmed:



Selguse huvides on skeemilt puudu võimalikud pardal olevad lisaseadmed.



ERAÜ

**Antud ettekandes vaatlen droone side vaatenurgast.
Sidepidamiseks drooniga kohtame erinevaid stsenaariume:**



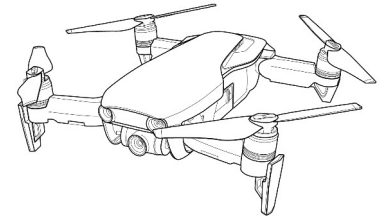
**Pult+videoprillid
(või ekraan)**



Operaator



Konsool





ERAÜ

**Antud ettekandes vaatlen droone side vaatenurgast.
Sidepidamiseks drooniga kohtame erinevaid stsenaariume:**



Operaator



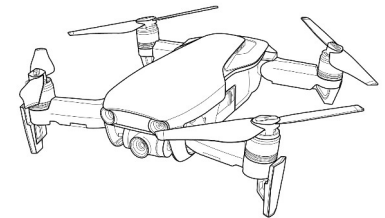
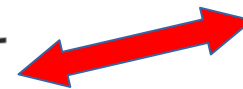
Konsool



Juhtimiskeskus



**Maajaam
(antenn(id)+
võimendi(d)+
mast)**





ERAÜ

**Antud ettekandes vaatlen droone side vaatenurgast.
Sidepidamiseks drooniga kohtame erinevaid stsenaariume:**



Operaator



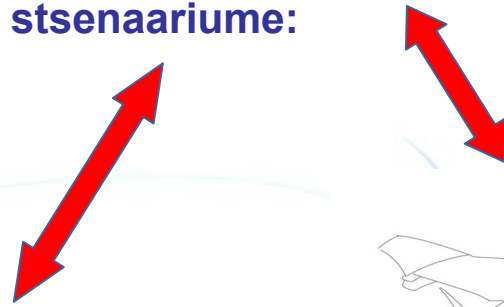
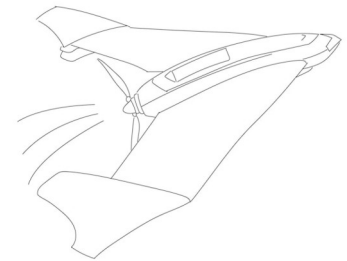
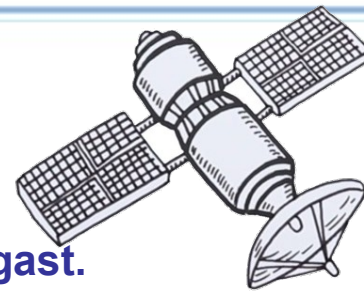
Konsool



Juhtimiskeskus



**Maajaam
(antenn(id)+
võimendi(d)+
mast)**





Side funktsioon droonides.

- Õhusõiduki juhtimine (operaator → droon)
- Sekundaarne: visuaalne tagasiside reaalajas pardakaamera(te)st mille abil teostatakse lendu. Hobidroonides simpleks, kommertsdroonides pooldupleks/dupleks.
- Pardasüsteemide tagasiside operaatori(te)le - erinevate mõõdikute/sensorite andmed -drooni kiirus, kõrgus, suund, aku/kütuse tase, GPS koordinaadid jne.
- Drooni pardal asuvate süsteemide (payload) juhtimine/tagasiside
- Remote-ID saatja tsiviildroonides.



Legaalsed sagedusalad ja võimsused droonisideks(info TTJA kodulehelt)

Drooni raadiosagedusala	Saatevõimsus (Suurim EIRP)	Kanalisamm	Kanali kasutustingimused
434,04–434,79 MHz	10 mW	25 kHz	Analoogvideoedastus ei ole lubatud
444,45 MHz	500 mW	25 kHz	
444,55 MHz	500 mW	25 kHz	
863–868,6 MHz	25 mW		Analoogvideoedastus ei ole lubatud
868,7–869,2 MHz	25 mW		Analoogvideoedastus ei ole lubatud
869,4–869,65 MHz	500 mW		Analoogvideoedastus ei ole lubatud
869,7–870 MHz	100 mW		Analoogvideoedastus ei ole lubatud
2400–2483,5 MHz	100 mW (lairiba andmesüsteemid), 10 mW (SRD)		
5170–5250 MHz	200 mW		
5725–5875 MHz	25 mW		



Hobidroonide sidelahendused – FPV juhtimine.

- Väikese andmemahuga pooldupleks pakettside
- Erinevatel juhtimisraadiote tootjatel erinevad digitaalside protokollid- ACCST, ACCESS, TBS Crossfire, Ghost, ELRS jpm.
- Kõik peale ELRSi on FSK modulatsiooniga.
- Tänapäevaks on enim levinud “ELRS” protokoll:
 - ✓ LORA modulatsiooniga pakettside – 25 kuni 1000 paketti sekundis.
 - ✓ Ühes andmepaketis edastatakse juhtpuldi “kanalite” väärtused. „Kanal” on juhtkangi või nupu asend numbrilise väärtusena. Nende andmete põhjal drooni kontroller teostab mootorite ja kontrolleriga ühendatud pardaelektronika juhtimist.
- 860 Mhz ISM bandis kasutatakse peamiselt Semtech SX1276 , 2,4GHz sagedusalas SX1281 kiipe (LORA modemeid).
- Saatja võimsus max 0,1W, seadistatav vähemaks tarkvaraliselt.
- Andmeedastuskiirus kuni 300 kilobitti sekundis (kbps).
- Sama kiip nii puldis kui droonil.



ERAÜ

FPV juhtimine: antennid.

- Pultide küljes dipoolid
- Puldil SMA või RP-SMA pistik, et saaks ühendada ka välise antenni.
- FPV/hobidrooni raadiomooduli küljes enim levinud dipoolid. Raadiomoodulil tavaliselt U.FL pistik antenni jaoks.
- Drooni antenn kinnitatakse raami külge enamjaolt horisontaalselt.
- Ettekande autori kogemus on, et süsinikfiibrist raami külge kinnitamine häälestust eriti ei mõjuta.
- ... küll aga mõjutab antenni suunadiagramm drooni lennutamist pikal distantstil.



FPV drooni 2,4GHz sagedusala antenn





ERAÜ

FPV juhtimine: antennid.

- Puldi originaalantenni saab asendada näiteks trükkplaaditehnikas toodetud antenniga. Dipool suundantenni vastu tavaliselt.
- Hobidrooni juhtimise lahendustes kasutatakse lineaarse polarisatsiooniga antenne enamjaolt.
- 99% (interneti)poes müüdavatest antennidest ei oma muud infot kui et “sobib X sagedusalas töötamiseks” – puudub suunadiagramm jms.



12dBi 2.4GHz 5.8GHz Dual Band WiFi Directional PCB Yagi Antenna Wireless Network Card Adapter FPV UAV Drone Remote Control Enhanced Signal and Distance (RP SMA Female)



„Long Range 3-in-1 Directional Antenna, 5dBi High Gain for 2.4GHz/915MHz/868MHz RC Systems, FPV Drone Remote Controllers & RF Modules (RP-SMA)”

Olemasoleva puldi antenni külge käiv “lisaantenn” 2,4 Ghz sagedusala jaoks.



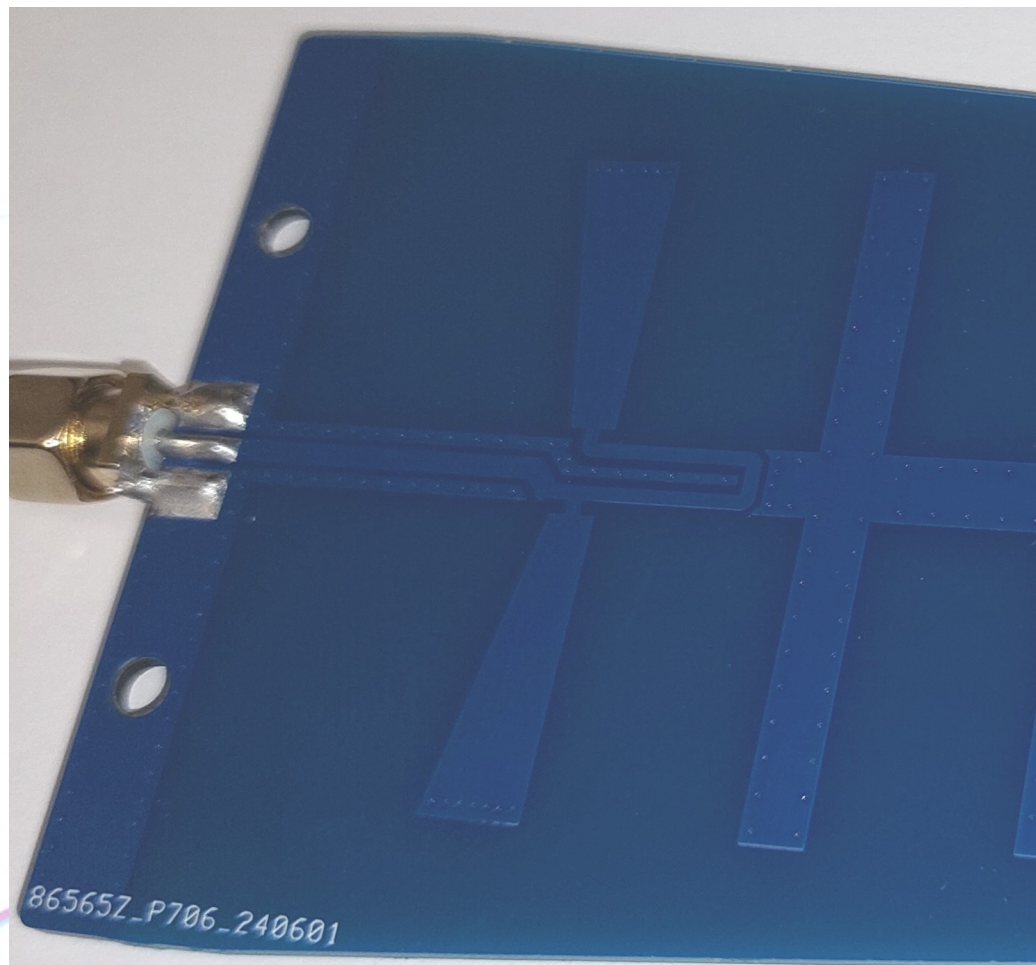


ERAÜ

AliExpressist ostetud FPV puldi suundantenni mõõtmine.

- Raadiosagedustel varjestatud kambris sai üle mõõdetud eelmisel slaidil välja toodud AliExpressi antenn. Siduanalüsaatoriga mõõtes olid sobitused 2,4 ja 5,8 GHz sagedusalas paigas.

Antenni ülesehitus lähedalt pildistatuna. SMA pistik on juba üle joodetud, originaaltootja oli teinud külmjooti.

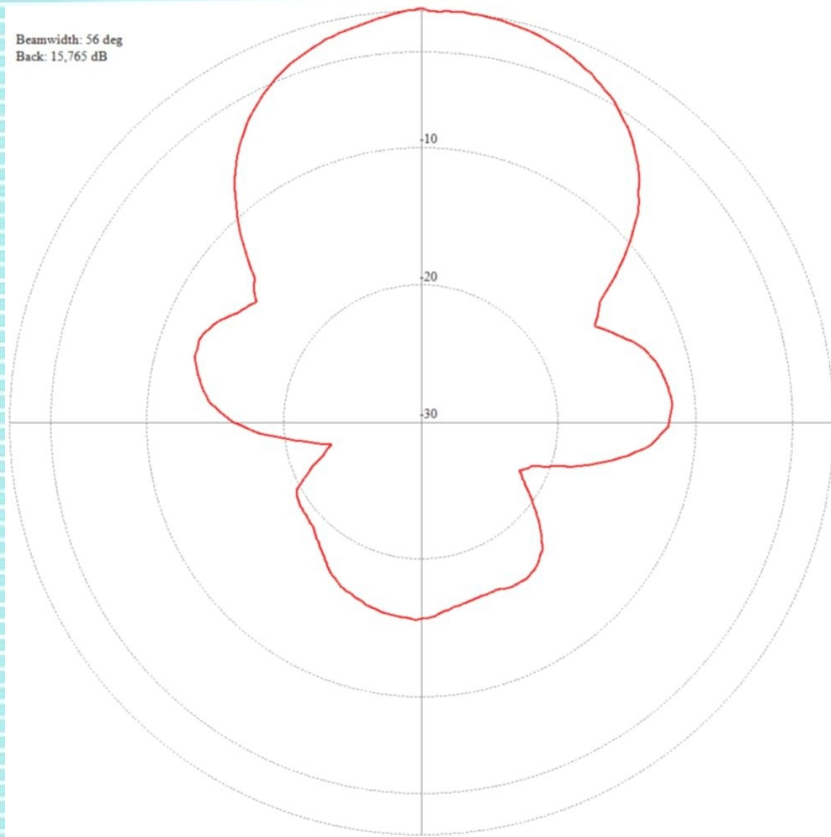




ERAÜ

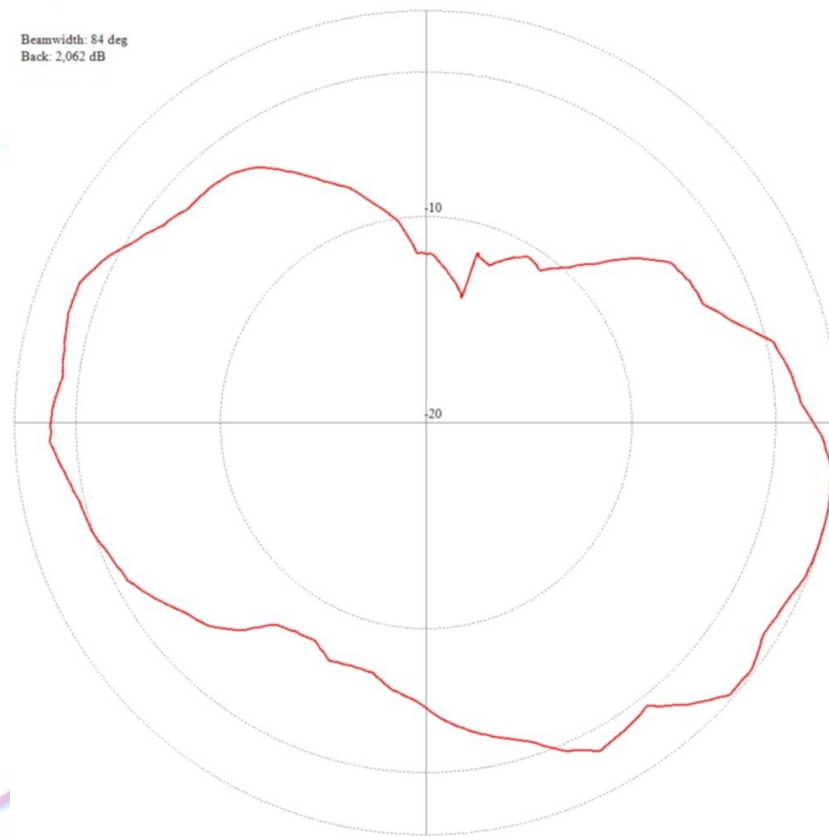
AliExpressist ostetud puldi suundantenni mõõtmine.

Beamwidth: 56 deg
Back: 15,765 dB



Suunadiagramm 2450 MHz juures.

Beamwidth: 84 deg
Back: 2,062 dB



Suunadiagramm 5800 MHz juures.



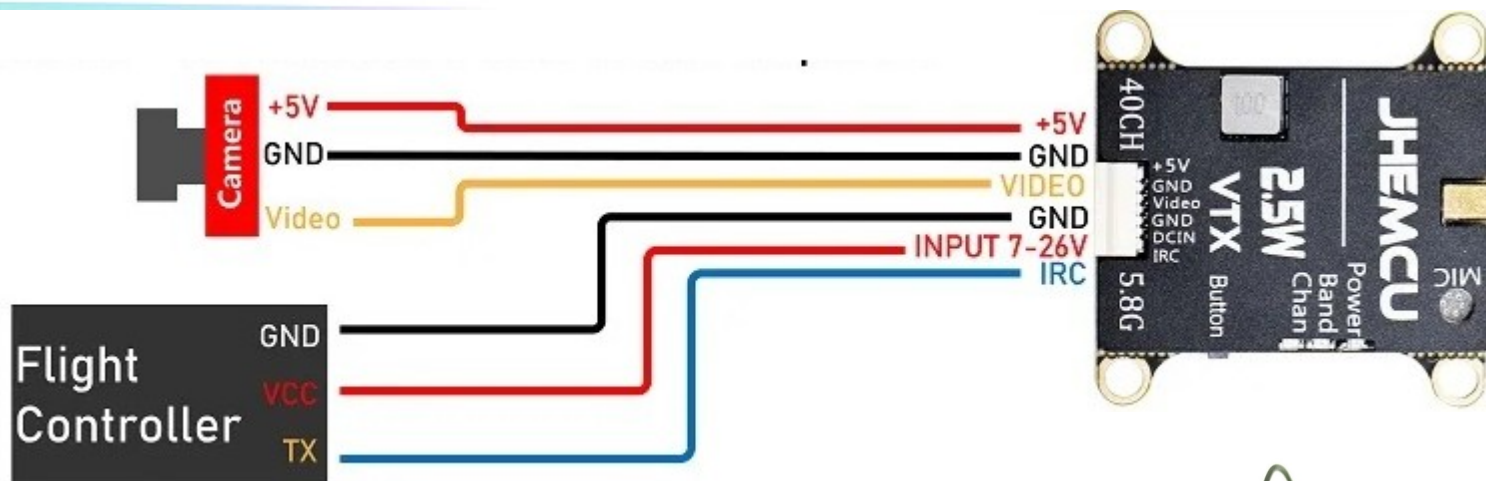
Hobidroonide sidelahendused – FPV drooni videoedastus.

- FPV ehk *First Person View* droonide areng sai alguse kui analoogkodeeringuga (PAL või SECAM) 5,8 GHz sagedusala saatjaga valvekaameraid hakati kasutama hobidroonide pardal.
- Saatjat nimetatakse “VTX” ning selle sisendisse antakse komposiitvideo signaal. Vastuvõtjat nimetatakse “VRX” ja harilikult on see videoprillide osa.
- Turul on palju tootjaid, maksimaalne poeletilt saada oleva saatja väljundvõimsus on 10W.
- Lisaks legaalsel võimsusel ja sagedustel töötavatele saatjatele on võimalik internetist osta 300..800MHz, 1,2-1,3 GHz, 3,3GHz, 4,9 GHz, 7,5GHz alas töötavaid mõnevõimsusega saatjaid.
- Kasutatakse dipoolantenne, 5,2 ja 5,8 GHz ja ülespoole sagedusaladel kasutatakse RHCP/LHCP polarisatsiooniga “ristikheinaleht” (cloverleaf) antennid. Harilikult sobitatud ~200 MHz ribasse (tasemel > 15 dB).



ERAÜ

Hobidroonide sidelahendus – FPV drooni videoedastus.



**5,8 GHz analoogvideo “VTX”,
selle ühendamise hobidroonis ja
“ristikheinalehe” antenn.**

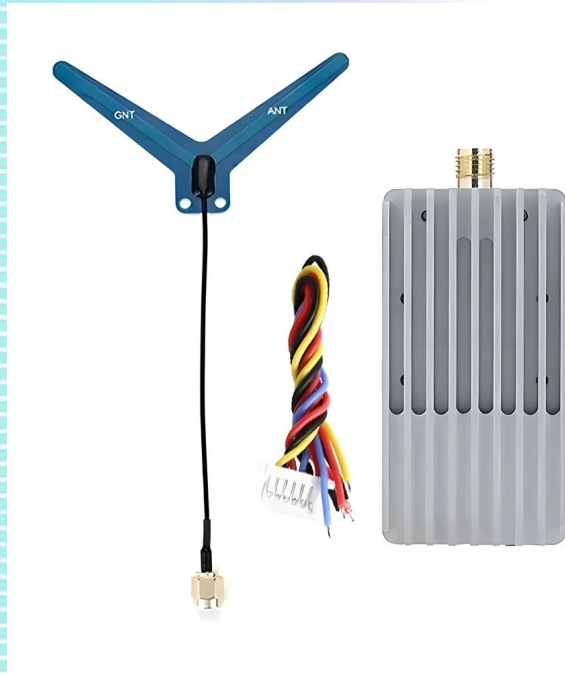


ERAÜ

Hobidroomide sidelahendus – FPV drooni videoedastus.

Technology®
Kimpok

20~40km 500Mhz 4W VTX & VRX



RushFPV 1,2..1,3 Ghz VTX, 4W





ERAÜ

Hobidroomide sidelahendused – FPV drooni videoedastus.

- Hobidroominduses levivad üha rohkem digitaalse kodeeringuga videoedastussüsteemid, mis pakuvad analoogvideost parema resolutsiooniga pilti.
- Võib välja tuua standardid tootenimedega Walksnail Avatar, DJI FPV, DJI O3, HDZero. Ükski neist pole avatud algandmete/koodiga ega omavahel ühilduv.

**Walksnail Avatar komplekt
drooni külge 4K resolutsiooniga
videopildi edastuseks:**

**Töösagedus 5.725-5.850GHz
võimsus antennipordis 1W**





ERAÜ

Hobidroonide maajaam – kui on vaja lennata nägemisulatusest kaugemale.

- Antennid masti otsa, video „VRX” ja juhtimise saatja paigutatakse antennide juurde.
- Video vastuvõtuks heeliks-antenn(id), juhtimiseks vastava sagedusala Yagi.
- Piisab ~10..12 dB võimendusest juhtimisantenni juures et juhtida drooni kaugemale distantsile kui akuga saab lennata (madala tehismüra tasemega keskkonnas).





Tööstuslike droonide sidelahendused DJI kui enimlevinud tootja näitel.

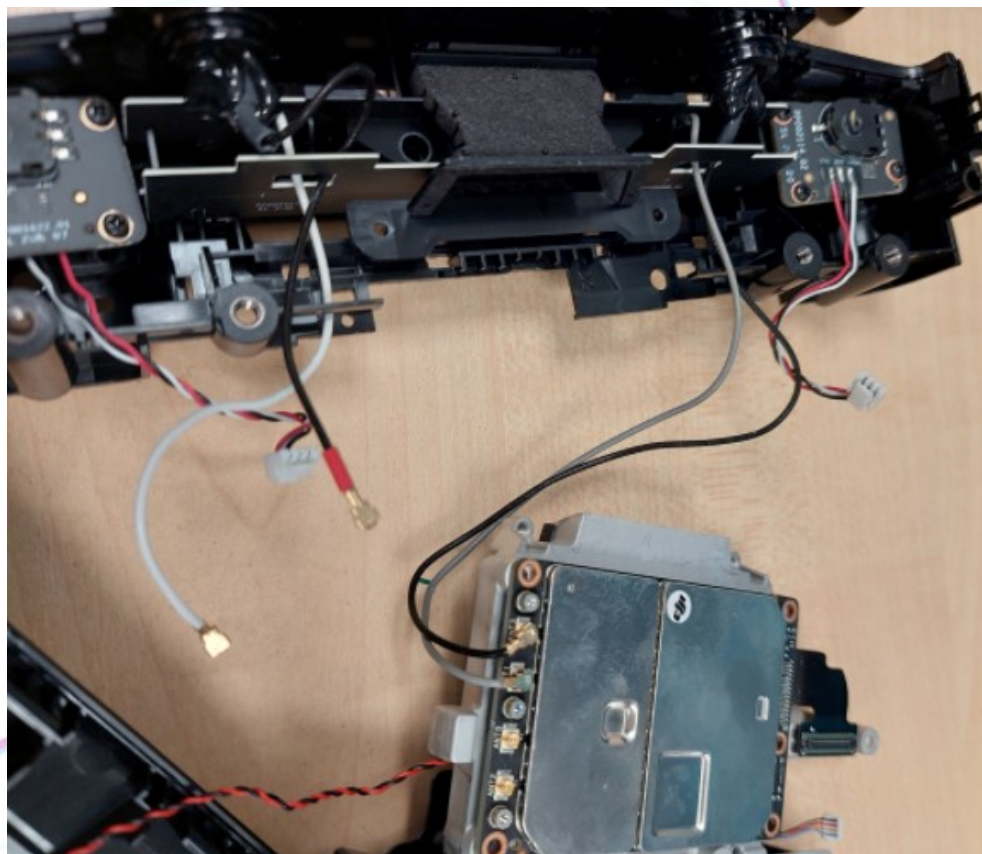
- DJI kui täna suurim foto/videodroonide tootja on algselt kasutanud juhtimiseks ja videoülekandeks WIFIt, näiteks Mavic Minis.
- Hiljem hakati kasutama sideprotokolli nimetusega **Lightbridge**.
- Praegu kasutatakse DJI toodetes **Ocusync** protokolli erinevaid versioone. Kõige uuem versioon hetkel 3+
- Nii Lightbridge kui Ocusync toimetavad ainult 2,4 ja 5,8 GHz sagedusalas.
- Saatjate võimsus – vastavalt nõuetele.
- Side on OFDM modulatsiooniga ja krüpteeritud.
- DJI droonides kasutatavaid antenne pole olnud võimalust/vajadust uurida. Erinevatel DJI mudelitel näha vähemalt 4 RF kaablit mis lähevad drooni “käppadesse.”



ERAÜ

Tööstuslike droonide sidelahendused DJI kui enimlevinud tootja näitel.

Pultides kasutatakse patch antennne ja dipoole. All fotol puldi „DJI RC Pro” sisemised „patch” antennid ja raadio. Kõik välised antennid ja ka patch antennid kahe sagedusalaga - 2,4 ja 5,8 GHz.





ERAÜ

Sidelahendused militaardroonides.

- NATO riikide droonides kasutuses 1..80 Mbps digitaalsed raadiod tootjatelt Silvus, Nokia Drone Networks, DTC Codan jpm. Põhinevad valdavalt enamuses SDRil. Võimsus ~10W max.
 - Väidetavalt enamus toetavad “Mobile Ad Hoc Network” (MANET) ühendust. See on sidelahendus, kus raadiovõrgus iga raadio saab olla vahendajaks andmepakettidele, mis pole talle suunatud.
 - Ukraina sõja viimase paari kuu areng on “Geran-2/Shahed” tüüpi tiibdroonidesse monteeritud “mesh” võrgu modemid XK-F358 Hiina tootjalt Xingkay Tech (juuresoleval pildil).
- ✓ Väljundvõimsus 2x 5W
 - ✓ Andmesideks vajaliku riba laius 2,5-40 MHz





ERAÜ

Sidelahendused – satelliitside

- Militaardroonide jaoks valmistatud satelliitsidelahenduste kohta infot avalikult ei liigu. Üht-teist saab oletada avaldatud fotode põhjal. Näide USA MQ-9 “Reaper” drooni satelliitside lahendusest:





ERAÜ

Sidelahendused – satelliitside

Ukraina sõjast on laekunud internetti infot Starlingi kasutamisest tiibdroonidel. Pildil sellist lahendust kandev venelaste Molniya-2 tüüpi droon:





ERAÜ

Sidelahendused militaardroonides.

- Ukraina sõda on tekitanud arengu kus hobidroonides kasutusel olevaid plokk/sõlmi üritatakse spetsiaalselt militaarkasutuseks mõeldud väljatöötlaste asemel kasutada militaardroonides – nii lendavates kui merel ja maapinnal liikuvates. Põhjusteks ilmselgelt hind ja kättesaadavus.
- Tänu side mahasurumisele on tänaseks lihtsas ründedroonis kasutusel ka 20..25km, max. 50km pika fiiberoptilise kaabli kaudu juhitud lahendus:





Drooni avastamine eetrimonitooringu teel.

- Kõik droonid mis kasutavad raadiot, “jätavad jälje” eetrisse.
- Elementaarne antenn- spektrianalüsaator kooslus on kõige lihtsam lahendus. Kehtivad kõik raadioamatöristmist tuntud tõesed juhul kui vaatleja tahab suurendada signaali tuvastuse kaugust/kvaliteeti.
- Inimene ei suuda järjepanu spektrianalüsaatorit jälgida, seepärast kasutatakse automaatseid tuvastussüsteeme.
- Droonidetektsioonis/tuvastuses spektrianalüsaatorist järgmine tase on tarkvara, mis analüüsib vastuvõetud signaale.
 - ✓ Selle esitluse autor pole veel kohanud vabavaralist tarkvara, mis eetrist avastatud droonisignaalist automaatseid teateid annaks.
- Veelgi kõrgema taseme saame, kui droonidetektorid ühendada omavahel võrku et detektori asukoha ja vastuvõetud signaalide suuna või ajalise viite järgi positsioneerida signaallikaid.



ERAÜ

Eetrimonitooringu seadmeid.

„Vanilla tsukorok” – eetriskänner (Ukraina toode)

- Töösagedused: 865-885, 895-928, 970-1020 ja 2400-2500 Mhz
- Väidetav tööraadius 8-16km
- Tööaeg 12-20h (sõltuvalt välistemperatuurist)
- Suudab eristada droonitüüpe
 - ✓ vastavalt signaali sagedusele
 - ✓ signaali ajalistele karakteristikutele.





ERAÜ

Eetrimonitooringu seadmeid.

„Chuika 3.0” – eetriskänner+ videovastuvõtja (Ukraina toode)

- Kasutajale näidatakse kõige tugevama signaaliga videot, vajadusel saab valida millist signaali detekteeritud signaalidest kuvatakse.
- Töösagedused: 900-1800, 2870-4080, 4860-6060 Mhz
- Väidetav tööraadius 4 km kui signaali saatja on 3W.





ERAÜ

Eetrimonitooringu seadmeid.

„Nabat v.3” – eetriskänner
(venemaa toode)

- Töösagedus 100-8000 MHz
- Väidetav tööraadius 2 km.
- Tööaeg vähemalt 7 tundi
- Omab komposiitvideosignaali väljundit, et ühendada väline ekraan videosignaali kuvamiseks.





ERAÜ

Eetrimonitooringu seadmeid.

„DTS-CaDe” – eetriskänner (Eesti toode, Rantelon OÜ)

- AI filtritega eetrist leitud signaalide eristamine, kasutajale teatakse helisignaaliga drooni tüüp.
- 100-8000 MHz
- Tööraadius vähemalt 6 km.
- Tööaeg vähemalt 12 tundi
- Seadmel on USB-C port, kuhu saab ühendada nutiseadme või arvuti, et näha spektrogrammi.





ERAÜ

Eetrimonitooringu seadmeid.

„DTS-9058” -
eetriskänner/suunamääraja (Eesti
toode, Rantelon OÜ)

- Suundantennidega signaali suuna määramine.
- AI filtritega eetrist leitud signaalide eristamine.
- Töösagedus 433MHz ja 750MHz - 6GHz
- Võimalik ühendada mitu seadet ühte võrku LANi/3G/LTE võrgu kaudu et trianguleerida signaalliallika(te) asukoht(i).





ERAÜ

Täna kuulamast, töö jätkub!

Küsimusi?