



TÕNU PÄRN

# Kosmosetehnoloogiate rakendamise võimalused siseministeeriumi haldusalas





TÕNU PÄRN

**Kosmosetehnoloogiate  
rakendamise võimalused  
siseministeeriumi  
haldusalas**



Autoriõigus: Sisekaitseakadeemia 2023

Esikaane pilt: ESTHub

Makett ja küljendus: Jan Garshnek  
Keeletoimetaja: Siiri Soidro

ISBN 978-9985-67-422-2  
ISBN 978-9985-67-423-9 (pdf)

DOI: <https://doi.org/10.15158/ea3h-s345>

Trükk: Trükikoda Paar

[www.sisekaitse.ee/kirjastus](http://www.sisekaitse.ee/kirjastus)

# Sisukord

Peamised järeldused	5
Sissejuhatus	7
1. Siseministeriumi valdkond ja kosmosetehnoloogiad	8
1.1. Side	9
1.2. Navigatsioon	11
1.3. Seire	14
1.4. Võimalikud arengud	19
2. Praktikad Siseministeriumi valdkonnale lähedastest kosmosetehnoloogiate rakendamistest	20
2.1. Liiklusohutus	20
2.2. Kuritegevusevastane võitlus	20
2.3. Maa-alade järelevalve	21
2.4. Infrapunatelliitide kasutamine	22
2.5. Õlisaaste otsimine merelt	22
2.6. SAR radaridetektorina	22
2.7. Erinevate platvormide kaugseire integreerimine	22
Kokkuvõte	24
Lühendid ja akronüümid	26
Mootühikud	28
Lingid	29
Sidesatelliitide levialade kaardid	29
Seiresatelliitide väljundid	29
Kokkuvõtvad materjalid	29
Allikad	30
LISA 1. Kosmosetehnoloogiad ja sellega seotud valdkonnad	33
LISA 2. Landsat 8 ja 9	34
LISA 3. Sentinel 2 optiline seire	35
LISA 4. Sentinel 1 Radarsatelliit	36
LISA 5. Sentinel 3 Ookeanide ja maa kaugseire	37
LISA 6. Piksli suuruse ja objekti võrdlus	38
LISA 7. Stratosfääritehnoloogiad	40



# Peamised järeldused

1. Peamiseks kosmosetehnoloogiaks, mis vajab rohkem tähelepanu, on **seiretehnoloogia**, sest erinevalt side- ja navigatsioonitehnoloogiast, mis on igapäevase tegevuse osaks saanud, on seire käigus saadav teave oluliselt **spetsiifilisem**.
2. Sidetehnoloogias võetakse kasutusele **kõrgemad sagedusalad** ja **madalamad orbiidid**<sup>1</sup>, 6G-tehnoloogiate puhul on juttu perspektiivsetest sagedustest 100 GHz kuni 3 THz, näiteks Starlink kasutab kõrgeid sagedusi. Madalamad orbiidid mängivad oma osa ka kiirema reageerimisega ja kõikehõlvavas seires.
3. Navigatsiooni puhul suureneb **täpsus** ja teenusepakujate mitmekesisus, seda nii asukoha kui ka ajatempli poolest.
4. Satelliidipõhiste seiretehnoloogiate positiivne eripära on sama asukoha regulaarne **paarinädalane korduvus**, näiteks Sentineli satelliitidel jääb korduse tsükkel vahemikku 10 päeva (Sentinel-2) kuni 27 päeva (Sentinel-3), Landsati puhul on perioodiks 16 päeva. Mikrosatelliitide parved tagavad igapäevase korduse.
5. Satelliidipõhiste seiretehnoloogiate oluline piirang on **pikslisuurus**. Euroopa Sentinel-1 eraldusvõime on sõltuvalt vaadeldavat lainealast 10 m kuni 60 m, USA Landsat 9 vahemikus 15 m kuni 100 m ning ja Hiina pakub koduturul pankromaatilist pilti eraldusvõimega vähem kui 1 m. SAR-sensoreid kasutavatest satelliitidest on saadaval Soome ICEYE, mille eraldusvõime on **0,25 m** (25 cm).
6. Seiretehnoloogia puhul on oluline roll rakendatava **sensoorika võimete seosed platvormi** ja **jälgitava maa-ala olukorraga**. See tähendab, et kui ülelennu ajal on maa-ala kaetud pilvedega, siis ei anna fotol kujutatut infot maapinnal toimuva kohta, samas kui mikrolainesensorid võimaldavad seda. Samuti on oluline, kas tegu on üksiksatelliidi, satelliidiparve (tihe korduvus) või tandemsatelliidiga (3D-möödistus).
7. Erinevalt tavafotost, mis n-ö kõneleb, **ei räägi kaugseirelised tõendid iseenda eest**, vaid on osaks keerulisest tehnoloogilisest ja metodoloogilisest protsessist (Krocker, 2014), mistõttu tuleb **suurendada lõpptarbijate teadlikkust**<sup>2</sup> protsessi olemuse ja võimaluste kohta.
8. Sobiva analüüsi rakendamine võimaldab valmistada satelliitkaugseire andmetest erinevaid rohkemal või vähemal määral **spetsialiseeritud tooteid** (vt ptk 2).
9. Satelliidipõhised tehnoloogiad pole asi iseeneses, **olulised on seosed teiste tehnoloogiatega**, tehisintellekt (AI), stratosfäär, samuti eri tasandid ning erinevad sensorid ja platvormid, nagu maapealsed süsteemid, droonid ja satelliidid (Satelliidi ja MÕS info integreerimise näide), ning erinevate infoallikate (ja infotüüpide) integreerimine (Etioopia Kafa reservaaži näide).
10. Kosmosetehnoloogiate rakendusvõimaluste leidmisel sisejulgeoleku valdkonnas ja *vice versa* sisejulgeoleku vajadustele sobivate tehnoloogiate leidmisel tuleks üha enam rakendada nn **kastist välja mõtlemist**. Siinkohal on asjakohane Bellingcati radarihäirete näide, kus inseneri eksitus viis uue teadmiseni süsteemi võimalustest ja see omakorda uue rakenduse ni.

<sup>1</sup> Madalamatel orbiitidel on olulised konkurentsi ja alternatiivi seosed stratosfääritehnoloogiatega.

<sup>2</sup> Krockeri artiklis on lõpptarbijaks kohtunikud, kuid laiendatult kehtib põhimõte kõigi otsustajate kohta.





# Sissejuhatus

Kosmosetehnoloogiate kasutuselevõtt on ühelt poolt juba toimunud – GPS-positsioneerimise nime all tuntavat teenust kasutavad paljud meie hulgast –, samas on sellel valdkonnal suur rakenduspotentsiaal. See potentsiaal on eriti suur kaugseirelises vaates, mis on seotud maa kohal oleva platvormiga ja laia vaatega. USGS defineerib kaugseiret järgnevalt: kaugseire on maa-ala füüsiliste omaduste leidmine ja jälgimine, mõõtes pinnalt peegeldunud ja eraldunud kiirgust kaugusest (tavaliselt satelliidilt või lennukilt). Spetsiaalsed kaamerad koguvad kaugseirepildid, mis aitavad uurijatel seirata asju maapinnal (USGS, 2022)<sup>3</sup>.

Satelliidil paiknev sensorsüsteem annab teatud eelise lennukil paikneva süsteemi ees, kuna ühe ülelennuga on võimalik katta **oluliselt suurem piirkond**, seejuures on võimalik **koguda andmeid ohtlikest või raskesti ligipääsetavatest kohtadest** (Wikipedia, 2023a), samuti on oluline ülelendude **korduvus ja regulaarsus**, mis võimaldab jälgida pikemaajalisi muutusi (USGS, 2022). Mõne aktiivse kaugseire<sup>4</sup> (nt AMSR, AMSU) viisi puhul **ei ole pilvkate oluliseks takistuseks** (NASA, 2018).

Lisaks seiretehnoloogiatele ja navigatsioonile on kosmosetehnoloogia osaks side, astro- noomia, mehitatud ja mehitamata lennud ning kaalutuse tingimustes tehtavad eksperimendid. Siinsesse analüüsi kaasatakse neist side kui juba praegu toimiv valdkond, mis on laiald- selt kasutuses (võrreldes näiteks kosmoselendudega). Kosmosetehnoloogia kallidust silmas pidades ei võeta vaatluse alla võimalikke *bespoke*-lahendusi kosmoses paikneva riistvara osas ega mehitatud lende, vaid käsitletakse olemasolevaid või lähituleviku platvorme ning nende rakendamisvõimalusi (seire, positsioneerimine, kindel side) maa peal. Järgnevas piirdutakse seega navigatsiooni, side ja kaugseire võimalustega Siseministeeriumi valitsemisalas.

**Märksõnad:** kaugseire, sensorid, aegread, skaleeritavus, GNSS, side, kosmos, mehitamata süsteemid

---

<sup>3</sup> USGS originaal: *Remote sensing is the process of detecting and monitoring the physical characteristics of an area by measuring its reflected and emitted radiation at a distance (typically from satellite or aircraft). Special cameras collect remotely sensed images, which help researchers "sense" things about the Earth.*

<sup>4</sup> Passiivse kaugseire (ingl *passive remote sensing*) puhul mõõdavad sensorid üldjuhul objektilt peegeldunud päikesekiirgust. Aktiivse kaugseire (ingl *active remote sensing*) puhul paikneb sensoritega samal platvormil kiirgur ja sensorid mõõdavad objektilt tagasipeegeldunud kiirgust (Wikipedia, 2023a).

# 1. Siseministeriumi valdkond ja kosmosetehnoloogiad

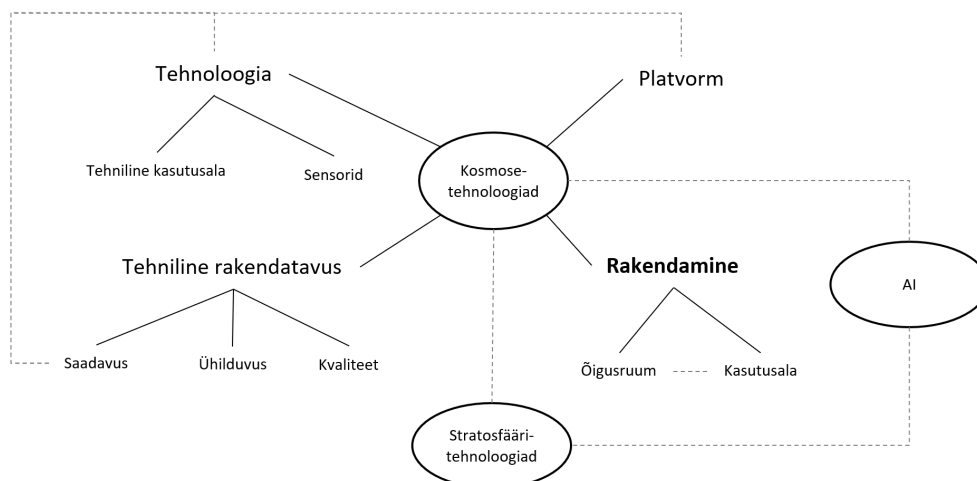
Siseministeriumi valdkonna jaoks sobivate kosmosetehnoloogiate käsitlemisel on fookuses satelliidipõhine tehnoloogia. Vaatluse alla ei võeta mehitatud kosmoselende, orbiidil sooritata- vaid katsed jms, kuna need tegevused on kas teadusuuringute temaatikaks, erakordselt kulukad või võivad Eesti jaoks mõningal määral olulisema rolli saada kauges tulevikus.

Kosmosetehnoloogias on kolm peamist tehnoloogia alamvaldkonda, mis leiavad käsitlust seoses sisejulgeoleku huvides rakendatavusega:

- side,
- satelliitnavigatsioon ja sellest tulenev ajatempli/sünkroniseerimise võimekus,
- kaugseire.

Seejuures on täpne navigatsioon ja võimaluse korral ka turvaline side eduka kaugseire eelduseks olenemata kasutatavast platvormist ja sensoritest.

Satelliidipõhise tehnoloogia (skeemidel 1, 2, 4, 5 ja edaspidi tekstis *kosmosetehnoloogia*) puhul on neli peamist põhiseost: platvorm, tehnoloogia, tehniline rakendatavus ja rakenda- mine (skeem 1). Samuti on tihedalt seotud kaks tehnoloogiaalvaldkonda: stratosfäärитеhnoloogiad ja tehisintellekt (AI). Neist esimene kui alternatiivne platvorm (vt lisa 7) ja teine kui andme- töötamise osa.



Skeem 1. Kosmosetehnoloogiate põhiseosed – satelliidid (autori looming)

Platvorm on siinses kontekstis orbiidi tüüp, millel on tihe seos teenuse kättesaadavusega, seda eriti madalate orbiitide kasutamisel sides ja seires.

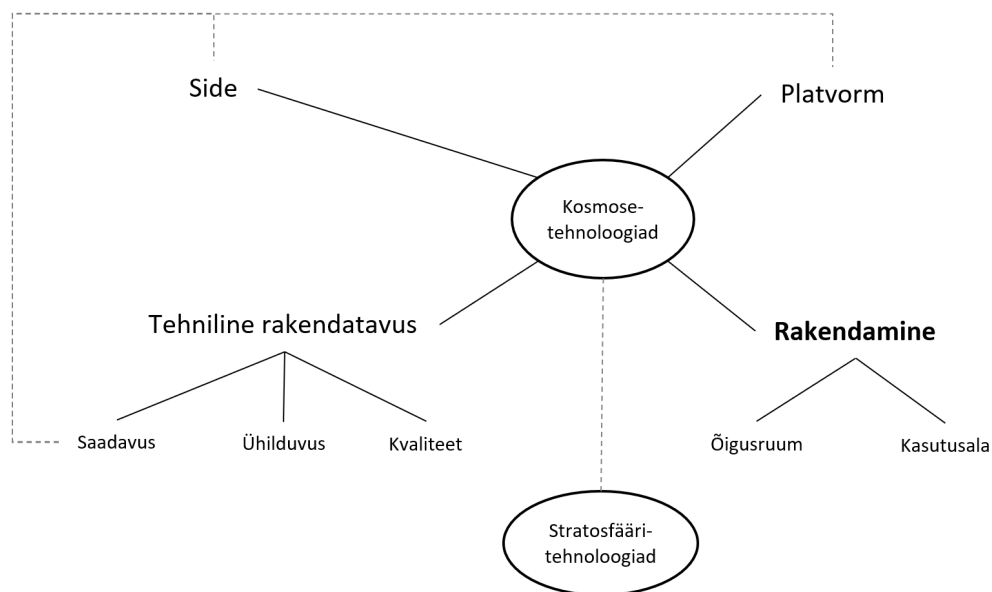
Tehnoloogia on siinses kontekstis peamine kasutusala. Järgnevalt kirjeldatakse neist kolme: side, navigatsioon ja seire. Tehnoloogia väljendub platvormil paiknevates seadmetes, milleks on seire puhul sensorid ning side ja navigatsiooni puhul raadioseadmed vms, millele navigatsioonil lisanduvad täpsed ajamõõtevahendid.

Tehniline rakendatavus ehk (tehnilised) piirangud on seotud nii platvormi (nii tehnilised omadused kui ka näiteks füüsiline paiknemine), sellel paiknevate seadmete võimekuse kui ka maapealse infrastruktuuriga (näiteks ühilduvus).

Rakendamine on kontekst, kus tehnoloogiat rakendada soovitakse. Õigusruumi all mõeldakse nii litsentse, seaduslikke kitsendusi, autoriõigust kui ka teenustasusid. Viimast saab käsitleda ka kättesaadavuse aspektina: kas on raha, et teenust osta või mitte? Kasutusala on see, milleks tehnoloogiat võib (tihedalt seotud muu hulgas õigusruumiga), peaks saama ja tegelikult kasutatakse.

## 1.1. Side

Kosmoses paiknevatel satelliitidel põhinev side vajab käsitlemist kahel põhjusel. Ühelt poolt võimaldab see ühendust näiteks laevadega, aga ka maapealse taristu häirete korral, teiselt poolt muutuvad oluliseks madalad orbiidid ja kõrged sagedused (nt Starlink, ESA 5G ja 6G arendused).

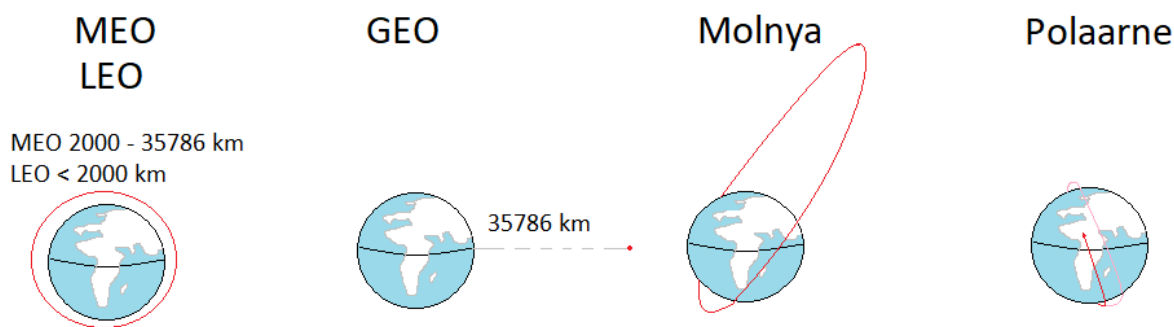


**Skeem 2.** Kosmosetehnoloogial põhineva side põhiseosed (autori looming)

Vajadus satelliitside järele pärineb satelliitide-eelsest ajastust, kui olid tavaraadioside ja telesignaali edastamise pikamaa probleemid kahe maapealse punkti vahel. Kuigi satelliitside algkulutus (raketi start jms) on kallid, siis saab väikese arvu satelliitidega katta raadiosidega terve maakera, võimalik on kasutada eri sagedusi ja saatevõimsuse vajadus on oluliselt väiksem kui täielikult maapealse süsteemi korral (Clarke, 1945). 1950-ndate lõpus ja 1960-ndate alguses katsetati mitmesugust kosmosesidetehnoloogiat. Ka esimesed aktiivsed sidesatelliidid Telstar olid ainult pisut enam kui töötavad prototüübid, selgusid esimesed kättesaadavuse probleemid

jms. 1960-ndate keskpaigas hakkasid tööle esimesed kommertsalustel töötavad sidesatelliidid, hakati kasutama geosünkroonseid orbiite, 1974. aastal rakendusid esimesed geostationaarsel orbiidil olevad sidesatelliidid (Wikipedia, 2023b).

Sidesatelliitide puhul on oluline roll orbiidil, sest just see määrab satelliidi kättesaadavuse, satelliidivõrgustiku vajaduse ja muud niisugused parameetrid (skeem 2). Järgnevalt käsitletakse viit levinumat orbiiditüüpi (skeem 3) ja neil paiknevaid satelliite.



Skeem 3. Peamised orbiidid (autori looming)

**1. Madalad orbiidid** (*Low Earth Orbit, LEO*) on üldiselt vahemikus alates 160 km ning kuni 2000 km<sup>5</sup>. Madalamal ei pea maapealne saatetehnika olema väga võimas, samas on ühe satelliidi maapealne nähtavusaken lühike, mis eeldab püsiva side tagamiseks satelliidivõrgustiku olemasolu. Tuntumad LEO-d kasutavad sidesatelliitide võrgustikud on järgmised:

- Iridium on esimene kommertskasutuses satelliittelefoniteenus, mis on kättesaadav alates 1997. aastast. Praegu on võrguklastris 66 satelliiti, mille kõrgus on umbes 780 km (Roadpost, 2023) ja tagatud on ülemaailmne kattuvus (Iridium Communications, 2023).
- Globalstar on satelliittelefoniteenus, mis on kommertskasutuses alates 1999. aasta lõpust (Wikipedia, 2023g). Teenused on regionaalsed, valdavalt suunatud Euroopale, Ameerikale, Kaug-Idale, Austraaliale ja Aafrika lõunaosale<sup>6</sup>, Eesti jääb Globalstari Euroopa katteala idapoolsele äärealale ja teenuse signaal võib olla nõrk (Globalstar, 2023).
- Starlink on satelliidipõhise interneti teenus, mis kasutab madalaid orbiite ja kõrgeid sagedusi. Teenused on riigi- ja kliendilepingupõhised ning sisaldavad **geopiiranguid** jms. Praegu kättesaadav Austraalias, suures osas Euroopas, Ameerikas ja mitmes muus riigis üle maailma<sup>7</sup>.

**2. Keskmised orbiidid** (*Medium Earth Orbit, MEO*) on vahemikus 2000 km kuni 35786 km, satelliitide funktsionaalsus on sarnane LEO satelliitidele, ainult nähtavusaeg on oluliselt parem (tavaliselt 2 tundi kuni 8 tundi). Ajalooliselt kasutas seda esimene üle Atlandi raadiolingi loonud sidesatelliit Telstar, lühike sideaken lõi arusaama, et madalamatel

5 2000 km piir LEO ja MEO vahel on kokkuleppeline.

6 <https://www.globalstar.com/en-gb/coverage-maps>

7 <https://www.starlink.com/map>

orbiitidel on vaja sidesatelliitide võrgustikku, et tagada pidev kaetus (Wikipedia, 2022). Praegu toimib madalatel laiuskraadidel (tavateenus ekvaator  $\pm 50^\circ$ , piiratud teenus  $\pm 62^\circ$ ) MEO-orbiidil lairiba sidesatelliitide võrgustik O3b MEO<sup>8</sup> (SES, 2023).

- 3. Geostatsionaarsel orbiidil (GEO)** paiknevad sidesatelliidid sobivad hästi telepildi jms edastamiseks, kus signaali levikust tulenev viive (ligikaudu 0,24 sekundit kuni 0,28 sekundit) ei ole probleem. Geostatsionaarse orbiidi kasutamine satelliitsideks on üks Arthur C. Clarke'i ideedest 1945. aastal. Kauguseks, mille puhul maa pöörlemise ja satelliidi tiirlemise perioodid on identsed, on 42 000 km maakera keskpunktist (Clarke, 1945) või 35 786 km maakera pinnalt ekvaatori tasandilt.
- 4. Molnya** tugevalt elliptiline orbiit on disainitud tagamaks toimiva side ka Venemaa (ja Kanada) pooluselähedastel aladel, kus geostatsionaarsed satelliidid võivad horisondi taha jääda või vajavad suurt saatevõimsust. Orbiidi nimi tuleb samanimelisest omaaegselt NSVL sidesatelliitide seeriast. Praegu kasutab seda orbiiti Venemaa Meridiani satelliitide võrgustik (Wikipedia, 2023c).
- 5. Polaarne orbiit** on ka päikesesünkroonne, mis tagab ülelendude korduvuse<sup>9</sup>, seda orbiiti kasutataval satelliitidel on sidefunktsioon sageli kõrvalfunktsiooniks, näiteks suhtleb ilmavaatlussatelliit statsionaarsete sensoritega (Wikipedia, 2023d). Sidesatelliitidest kasutab polaarse orbiiti eespool käsitletud Iridium (Song *et al.* 2022).

Tuleviku puhul on teemaks kõrgemad sagedused, 6G-tehnoloogiate puhul on juttu perspektiivsetest sagedustest 100 GHz kuni 3 THz. ESA hinnangul on satelliidipõhine 5G ja 6G oluline edasimineku ühendustehnoloogiates ning seetõttu on loodud ESA arenduskeskus 5G/6G Hub (ESA, 2021).

Satelliitside olulisus Siseministeriumi vaates:

1. Võimalik kasutada maapealsest infrastruktuurist sõltumatu süsteemina (merel või infrastruktuuri häirete jms korral).
2. Sideseadmed muutuvad üha kompaktsemaks, sh 5G võimekusega satelliitide tulek.

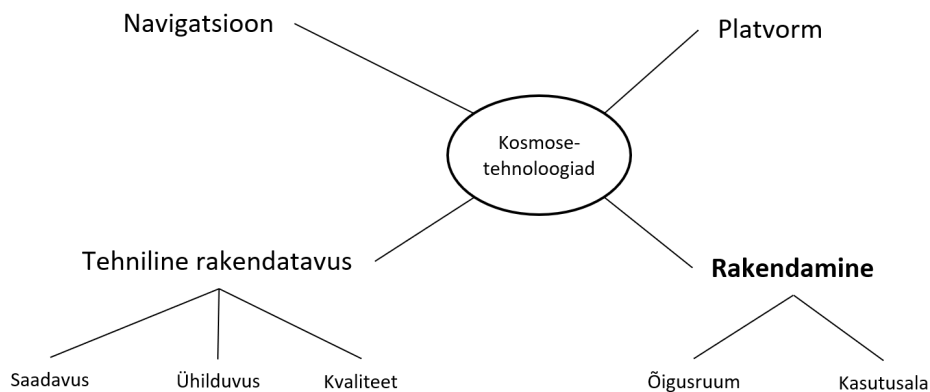
## 1.2. Navigatsioon

Navigatsioon on seireteenuse hädavajalik osa. Navigatsiooni täpsus määrab georeferentseeringu täpsuse ja satelliitnavigatsioonist on kujunenud droonilendude oluline komponent nii lennupiirangute *geofencing*'u kui ka klassikalise navigatsiooni puhul.

Satelliitnavigatsioon sai alguse Johns Hopkins APL-i teadlaste William H. Guieri ja George C. Weiffenbachi tähelepanekust, et Sputnik1 raadiosignaalist saab dopleri efekti tõttu täpsete (asukoht, aeg) maapealsete mõõtepunktide abil arvutada sputniku asukoha. APL teadlane Frank T. McClure analüüsis omakorda, et kui satelliidi asukoht on teada, siis kas on võimalik ka ümberpööratult maapealse täpse asukoha leidmine piisava arvutusvõimsuse korral (Pisacane, 1998). Need põhimõtted kehtivad ka tänapäeval GNSS-süsteemide puhul. John Hopkins APL lõi maailma esimese satelliitnavigatsioonisüsteemi Transit, mis oli kasutuses aastatel 1959–1996 (Wikipedia, 2023e).

8 Luksemburgis registreeritud Société Européenne des Satellites (SES) opereerib satelliidivõrgustikke O3B POWER, O3b MEO ning geostatsionaarseid Astra sidesatelliite.

9 Oluline näiteks seiresatelliitide regulaarsete seireseeriade juures.



**Skeem 4.** Kosmosetehnoloogial põhineva navigatsiooni põhiseosed (autori joonis)

**Tabel 1.** Peamiste GNSS-süsteemide üldinfo

Nimetus	Päritolu	Rakendamine	Tsiviilkasutus	Täpsus (m)
GPS	USA	1978–	1988 <sup>a</sup> /2000 <sup>b</sup>	0,3 kuni 5
GLONASS	NSVL/Venemaa	1982/1993–	2008	2,8(4,5) <sup>c</sup> kuni 7,38
BeiDou	Hiina	2000–	2004	0,1 kuni 3,6(4,4) <sup>d</sup>
Galileo	EL	2011–	2016	0,2 kuni 1

**Märkused:**

a 1983. aasta USA Presidendi pressiteate kohaselt.

b Lõppes tsiviilkäibesse antavale signaalile häirete lisamine.

c 4,5 m tsiviilkasutuse parim täpsus.

d Alates 2022 tsiviilkasutuses, varem 10 m.

Tänapäevased GNSS-süsteemid on suhteliselt suure täpsusastmega (tabel 1), võrgustike satelliidid paiknevad üldjuhul keskmistel orbiitidel<sup>10</sup> ja töötavad valdavalt kahes sagedusalas, neist madalama keskväärtused on 1176,54 MHz kuni 1278,750 MHz ja kõrgemal 1542,500 MHz kuni 1602,000 MHz. Seejuures on lisaks peamistele GNSS-süsteemidele kõrgemas sagedusalas ka SBAS-i sagedusvahemikud. SBAS on geostatsionaarsete satelliitide kaudu edastatav signaal, mille abil on võimalik tuvastada navigatsioonisatelliitide võrgu täpsust ja töökorras olekut. Geostatsionaarsete satelliitide kasutamise tõttu on SBAS piirkondliku iseloomuga (tabel 2), valdavalt mõeldud lennuliikluse navigatsiooni parandamiseks (Galileo GNSS, 2021), kuid leiab kasutust ka põllumajanduses.

10 Erandiks BeiDou, kus on kasutusel nii geostatsionaarsed (GEO), geosünkroonsed (IGSO) kui ka keskmised orbiidid (MED).

Tabel 2. Peamised SBAS-i teenused

Nimetus	Piirkond/Päritolu	Rakendamine	Toetatav GNSS
WAAS	Põhja-Ameerika	2003–	GPS, Galileo
EGNOS	EL	2006/2011–	GPS, Galileo
MTSAT	Jaapan	2007–	GPS
QZSS	Jaapan	2010–	GPS
GAGAN	India	2010/2013–	GPS
BDSBAS	Hiina	2018–	BeiDou
SDKM	Venemaa	2019–	GLONASS
KASS	Korea	2022–	GPS
SouthPAN	Austraalia ja Uus-Meremaa	2022–	GPS, Galileo
A-SBAS	Aafrika	2024 <sup>e</sup>	GPS, Galileo

**Märkused:**

e Kavandatud kasutuselevõtu aasta.

GNSS täpsuse suurendamiseks kasutatakse lisaks lennunduse SBAS-teenusele ka RTK (ingl *real-time kinematic positioning*) maajaamade abi. RTK süsteemide täpsuse määrab RTK baasjaama asukoha nimitäpsus, nt  $\pm 2$  cm. Eestis on Maa-ameti hallatav võrgustik ESTPOS, mis koosneb 29 maajamaamast ja kuulub EPN (EUREF Permanent GNSS Network) võrgustikku (Maa-amet, 2022).

Hea visuaalse ja eestikeelse ülevaate GNSS-süsteemidest on andnud Eesti Maaülikooli geomaatikadotsent Harli Jürgenson Eesti Geodeetide Ühingu (EGÜ) 2021. aasta aastakonverentsil<sup>11</sup> (Jürgenson, 2021).

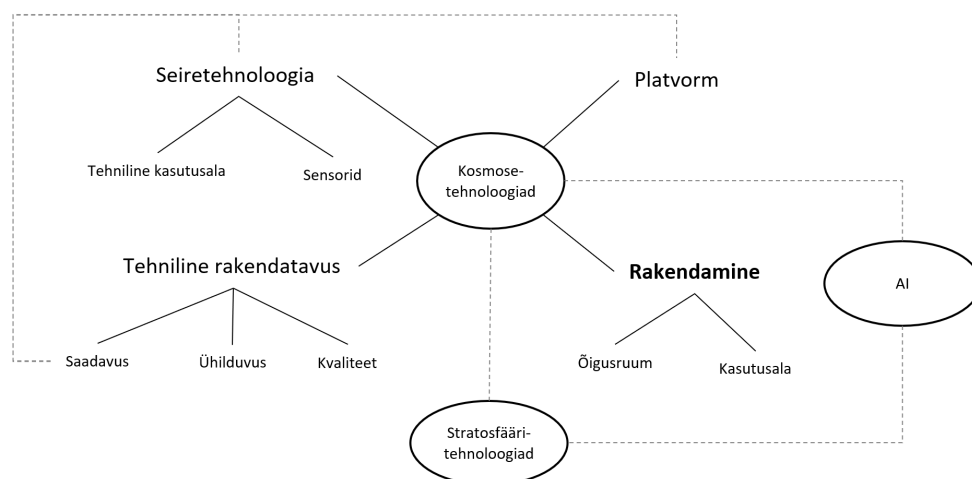
Satelliitnavigatsiooni olulisus Siseministeriumi vaates:

1. Drooninavigatsiooni (ja ka muu navigatsiooni) suurema täpsuse tagamine kas RTK (täpsusaste  $\pm 2$  cm) või SBAS toega annab võimaluse droonipõhise kaugseire tulemi täpseks georefereerimiseks, mis loob omakorda võimalused selle tulemi paremaks väärindamiseks.
2. Euroopa GNSS-võrgu Galileo riiklikult reguleeritud teenus (PRS), kus rakendatakse krüpteeritud kauguskoode ja sobivaid häirevältimise tehnikaid ning mis on mõeldud sisejulgeoleku ja turvalisuse valdkondadele (sh politsei, luure, toll ja mereturvalisus) (European Commission, 2022) ning mis võimaldab nii täpsemat navigeerimist kui ka täpsemast signaalist lähtuvat ajatempli rakendamist (nt täpse salvestushetke fikseerimine).
3. Galileo High Accuracy Service (HAS) on teenus, kus täpsustav signaal saadetakse interneti kaudu, täpsusaste horisontaalselt 20 cm ja vertikaalselt 40 cm. Sihtgrupp on äriarendused (põllumajandus, raudtee, maamöötmise, merendus, maanteed, droonid jms) (EUSPA, 2022).

<sup>11</sup> [https://egu.ee/wp-content/uploads/2021/05/Harli\\_Jyrgenson\\_ettekanne.pdf](https://egu.ee/wp-content/uploads/2021/05/Harli_Jyrgenson_ettekanne.pdf)

## 1.3. Seire

Seiretehnoloogiad vajavad siinses kontekstis suuremat tähelepanu kui navigatsioon või side, seda nii tulemi spetsiifilisuse kui ka sünergia ja ühisosa tõttu (skeem 5). Seejuures on seiseid, lisaks AI-le ja stratosfääripõhisele seirele ka klassikalise MÕS-põhise seirega – just see viimane sünergia on alakasutatud (Alvarez-Vanhard, Corpetti, & Houet, 2021).



Skeem 5. Kosmosetehnoloogial põhineva seire põhiseosed (autori joonis)

Satelliidipõhisel seirel on erinevalt drooni- ja lennukipõhisest kaugseirest mõned olulised eelised, nt pikaajalised aegseeriad (Alvarez-Vanhard, Corpetti, & Houet, 2021), peamised MÕS ja satelliidi erisused on esitatud järgnevas tabelis (tabel 3).

Tabel 3. Kaugseire MÕS-i ja satelliidi võrdlus (Alvarez-Vanhard et al. järgi)

Süsteemi omadus	MÕS <sup>12</sup>	Satelliit
Paindlikkus	Kõrge <sup>13</sup>	Madal
Sõltuvus pilvitusest	Ei	Jah <sup>14</sup>
Otsene ilmastikumõju	Tuul ja sademed	Ei
Eeltöötlus	Kõrge	Analüüsivalmis andmed
Operaatori vajadus	Jah	Ei
Andmehaldus	Kõrge	Madal
Kõrglahenduse (VHSR) kulu	Madal	Kõrge
Laadung (payload)	Vahetatav	Alaline
Õiguslik regulatsioon	Piirav	Puudub

12 MÕS- ja lennukipõhiste süsteemide puhul on määravaks lennutunni hind, mis on MÕS-i kasuks.

13 Eelist andvad omadused poolpaksus kirjas (Alvarez-Vanhard et al. 2021).

14 Eriti optilise sensori puhul.



Satelliidipõhise kaugseire kasutamiseks ei ole ühte universaalset põhjust, on ainult pikenev loetelu põhjustest, miks võiks seda kasutada:

- 1) Pikad aegread (Alvarez-Vanhard *et al.* 2021), siinses kontekstis võimalus märgata muutusi või võrrelda olukorda eri ajahetkedel.
- 2) Globaalne vaade, siinses kontekstis ka võimalus vaadata üle riigipiiride (NASA, 2023a).
- 3) Kaitstus maapealse vaenuliku inimtegevuse eest, st erinevalt lennukist või droonist, mille alla tulistamine võib teatud konflikti puhul olla lihtne, on satelliidivastase relva kasutamine kulukas. Sarnaselt on kaitstus ka ilmastikunähtuste eest (Alvarez-Vanhard *et al.* 2021).
- 4) Võimalus toetuda senisele teadustööle, oluliseks aspektiks on tulemuste skaleeritavus.

### 1.3.1. Peamised sensorid

Sensorid jagunevad põhimõtteliselt kaheks:

- passiivsed sensorid, mis klassikalise kaugseire põhimõtete kohaselt mõõdavad maapinnalt peegeldunud päikesekiirgust;
- aktiivsed sensorid, kus rakendatakse sensorile lisaks aktiivset kiirgurit, näiteks erinevad radarid ja LIDAR (NASA, 2023a).

Järgnevalt on esitatud valik erinevatest sensoritest.

#### 1.3.1.1. Passiivsed optilised sensorid

Optilised sensorid on valdavalt passiivsensorid (nähtav valgus, infrapuna, multispektraalne, hüperspektraalne ja pankromaatiline).

**Nähtav valgus** on klassikalisis kosmosepõhine kaugseire, seda nii fotode kui ka reaajas video (viimast küll valdavalt militaarses valdkonnas) kujul, hilisemal ajal on selle asendanud spetsiifilised lainealad ja pankromaatilised pildid.

**Infrapunasensorid** on laialdaselt kasutuses meteoroloogias, näiteks kasutavad infrapunasensoreid Euroopa geostatsionaarsed EUMETSAT-i ilmasatelliidid (EUMETSAT, 2023), samuti kasutab NASA *fire map*-infrapunasensoreid suutulekahjude lokaliseerimiseks (NASA, 2023b). Samuti sisaldavad multispektraalsed skannerid NIR- ja IR-lainealasiid.

**Multispektraalne** (ingl *multispectral scanner*, MSS) – laineala on jagatud mitmeks alaosaks, näiteks Landsat 8/9 on 11 laineala (vt lisa 2), Sentinel 2 omab samuti 11 laineala, millest laineala 8 on pankromaatiline (vt lisa 3). Multispektraalse sensori info on saadaval alates 1972. aastal startinud Landsat1 seire tulemustest (Ramaseri Chandra *et al.* 2022).

**Hüperspektraalsete** sensoritega satelliitide näiteks on 2019. aastal startinud Itaalia PRISMA ja 2022. aastal startinud Saksamaa EnMAP (Ramaseri Chandra *et al.* 2022). Erinevalt multispektraalsest, kus on kuni mõnieteist laineala, on näiteks EnMAP sensor jaotatud 227 lainealaks (Ramaseri Chandra *et al.* 2022), kusjuures nähtava ja lähis infrapuna VNIR-i puhul on laineala laius 6,5 nm ja lühilainelise infrapuna SWIR-i puhul 10 nm (EnMAP, 2020). Paljukanalisusega on võimalik vaadata pikslit moodustavatesse komponentidesse – näiteks kaks või enam materjali –, samas võib olla ootamatuid segajaid jms (Chein-I, 2003).

**Pankromaatiline** pilt on visuaalselt kujult sarnane mustvalge aerofotoga. Selle puhul kombineeritakse multispektraalsed (RGB) sagedusalad üheks pildiks, millel eristub peegeldunud energia hulk, st RGB sagedusalad ohverdatakse pildi ereduse huvides. Pankromaatilisi

pilte on saada nii Landsati, Sentinel 2 (EOS Data Analytics, 2023) kui Hiina kommertssatelliitidelt (Wang & Yang, 2018).

### 1.3.1.2. Aktiivsed optilised sensorid

**Lidar** on kasutusel näiteks kõrgusmudelite loomisel, seega on selle kasutusala nii kõrgusmudelid, rannikud kui ka loodusõnnetusejärgne kaardistamine, peamised platvormid on lennunduslikud (da Silva, 2020). Kosmoses paikneva LIDAR-i näiteks on Global Ecosystem Dynamics Investigationi (GEDI) seadeldis, mis paikneb alates 2018. aastast ISS-i Jaapani eksperimentaal-moodulis (Ramaseri Chandra et al. 2022).

**Laserkõrgumõõtur** kasutab lidarit, et mõõta platvormi kõrgust maapinnast.

### 1.3.1.3. Radar

**Synthetic Aperture Radar (SAR)** ehk tehisavaradar on radar, mis eeldab antenni, mis peab olema kiire suunaga risti ning mille asukoht on alati täpselt teda – tulemina saadakse fotolaadne toode (Wikipedia, 2022). SAR-süsteemides kasutatakse tavaliselt lainealaid X, C, L ja P (tabel 4) (NASA, 2022b).

Tabel 4. Peamised SAR-i lainealad ja kasutusvaldkonnad (NASA 2022b järgi)

Laineala	Sagedus GHz	Lainepikkus cm	Kasutus
X	8 kuni 12	3,8 kuni 2,4	Kõrge lahutusvõimega SAR
C	4 kuni 8	7,5 kuni 3,8	SAR-i peamine laineala
S	2 kuni 4	15 kuni 7,5	Põllumajandus
L	1 kuni 2	30 kuni 15	Keskmise lahutusvõimega SAR
P	0,3 kuni 1	100 kuni 30	Biomass

Peamisteks keskkonna olukorra muutuse ja omaduste hindamise parameetriteks SAR-i kasutamisel on koherentsus, st mõõtmiste tulemuste ajaline sarnasus, ning tagasihajumine, mis on erinevatel pindadel erinev.

**Scatterometer** on kõrgsageduslik mikrolaineradar, mida kasutatakse tagasihajunud kiirguse mõõtmiseks ookeanide pinnatuule kiiruse ja suuna määramisel (NASA, 2022a).

**Radar kõrgusmõõtur** (ingl *ranging instrument*) mõõdab kaugust instrumendi ja sihtobjekti vahel, võidakse kasutada ka trianguleerimist eri kõrgusmõõturite vahel (NASA, 2022a).

## 1.3.2. Landsat

NASA ja USGS ühisprojekt, esimene start oli 23. juulil 1972. Tegu on pikaajalise maaseire programmiga, kokku on kaheksa õnnestunud starti<sup>15</sup>, praegu kasutuses Landsat 8 ja 9. Orbiidid on lähispolaarsed päikesesünkroonsed, mis tagab korduva ülelennu teatud ajaperioodi järel – praegu kasutatavatel satelliitidel 16 päeva<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Landsat 6 start 5. oktoobril 1993 ebaõnnestus.

<sup>16</sup> Landsat 1–3 18 päeva, vastav orbiidi periood 103 minutit ehk ligikaudu 14 orbiiti päevas, alates Landsat 4 (start 16. juuli 1982) 16 päeva, vastav orbiidi periood 99 minutit ehk ligikaudu 14,5 orbiiti päevas.

### 1.3.3. Sentinel

Euroopa kosmoseagentuuri Copernikus programmi raames on alates 2014. aastast üles saadetud kuus seeriat seiresatelliite, millel on erinevad sensorikad ja kasutusvaldkonnad (tabel 5, lisa 3 ja 4).

Tabel 5. Sentineli satelliidid

Seeria	Satelliidid	Stardid	Otstarve
Sentinel-1	1A, 1B	2014, 2016	Radarsatelliit
Sentinel-2	2A, 2B	2015, 2017	Multispektraalne optiline seire
Sentinel-3	3A	2016, 2018	Ookeanide seire
Sentinel-4	4	2024 <sup>e</sup>	Atmosfääri koostise jälgimine
Sentinel-5	5P <sup>f</sup> , 5	2017, 2021	Õhusaaste jälgimine
Sentinel-6	6A, 6B	2020, 2025 <sup>e</sup>	Merepinna tasandi täppiskõrgusmõõtmised <sup>g</sup>
Sentinel-7 kuni 12			Erinevad otstarbed <sup>h</sup>

#### Märkused:

e Kavandatud aasta.

f 5 Precursor saadeti üles, et katta mõõteauk Envisati kaotuse (2012) ja Sentinel-5 korralise stardi vahel.

g Jätkab NASA Jason-3 satelliidi tegevust.

h Võimalikud Copernicus 2.0 missioonid.

Nii Landsati kui ka Sentineli tulem on kättesaadav SENTINEL Hubi kaudu<sup>17</sup>.

### 1.3.4. TanDEM-X

TanDEM-X (*TerraSAR-X-Add-on for Digital Elevation Measurements*) satelliit on TerraSAR-X („Terra“ – ladina keeles Maa, SAR – Synthetic Aperture Radar, „X“<sup>18</sup> – satelliidi tandem-satellit, mille omanik on DLR ja mis töötab aastast 2010). Eesmärk on maapinna stereograafiline mõõtmine, selleks hoitakse kahe 97,4° orbiidi ja 95-minutise tiirlemisperioodiga satelliidi vahemaad orbiidil võimalikult täpselt 200 m – tulemiks on 10 km, 30 km või 100 km laiad triibud, kus eristumisvõime on 1 m, 3 m ja 16 m (kõrguste puhul vähem kui 2 m) (Wikipedia, 2021) (DLR, 2009).

TandDem-X tulem on kätte saadav vastavast *hub*'ist<sup>19</sup>.

### 1.3.5. PlanetScope

PlanetScope on kommertsfirma Planet Labs PBC kuubiksatellitide (Dove) parv, mida on üles saadetud eri grupistartidega (ESA, 2022), esimesed grupid 2014. aastal. Kasutatakse üle 200

17 <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>

18 X-laineala mikrolained vahemikus 8 GHz kuni 12,4 GHz.

19 <https://tandemx-science.dlr.de/>

(Planet Labs PBC, 2023a) väikesemöödulise kuubiksatellidi päikesesünkroonsel orbiidil kaldega 98° ja pikslisuurusega 3,0 m kuni 4,1 m (ESA, 2023), mis suudavad tagada korduse ühe päeva jooksul, st püsivaate üle terve maakera (ESA, 2022).

PlanetScope'i kuubiksatelliidid tagavad sagedasema korduse (1 päev vs. 10 päeva kuni 12 päeva) ja parema piksli suuruse (3 m kuni 4 m vs. 15 m kuni 100 m) kui klassikalised seiresatelliidid, kuid kasutusel on vähem lainealasiid (8 vs. 11) kui klassikalistes seiresatelliitide multipektraalsetes sensorites, samuti on tegu kommertsproduktiga.

Teenusepakkujal on koduleht planet.com ja firma teeb tihedat koostööd maailma juhtiva geoinfosüsteemide ettevõttega ESRI (Planet Labs PBC, 2023b).

### 1.3.6. ICEYE

ICEYE SAR mikrosatelliitide parv on samanimelise Soome firma pakutava teenuse osa (ICEYE, 2023), kava on suurendada parve 18 satelliidini (Amos, 2018).

Kuna tegu on klassikalise SAR-teenusega, siis leiab kasutust sarnaselt Sentinel 1-ga, ICEYE ise propageerib AI kasutuselevõttu ja alates 2022. aastast on kasutusel Ukrainas<sup>20</sup> (ICEYE, 2022). Võrreldes muude SAR-satelliitide teenustega, kus tagatakse maa-ala seire mõnepäevase intervalliga, tagab ICEYE seda ühetunnise intervalliga (ICEYE, 2023) ning selle pikslisuurus on kuni 25 cm (Laurila, 2020).

### 1.3.7. Lisainfo seireteenuste kohta

Alljärgnevalt on esitatud satelliitseire oluline lisainfo, sealhulgas uued satelliidid, üldised trendid ja satelliitseire rakendamise asjaolud.

Hea ülevaate praegu kättesaadavatest ja lähitulevikus kasutusse jõudvatest seiresatelliitidest annab USGS kodulehel kuue föderaalagentuuri koostatud ülevaade (Ramaseri Chandra *et al.* 2022), muu hulgas on kodulehel üleval selle dokumendi varasemad versioonid.

Seiresatelliitide võimalused arenevad pidevalt, samuti lisandub võimalikke kasutusalasid, on olemas satelliitkaugseire kasutusvõimaluste esisaja nimekiri<sup>21</sup> (Pelton, 2019).

Oluline küsimus on, kas teenus on tasuline või tasuta ning kui teenus on tasuta, siis kas järgnev andmetöötlus toimub Siseministeriumi haldusalas või tuleb andmetöötlus (sh AI jms arendused) teenusena sisse osta.

Satelliitseire piirangud Siseministeriumi vaates:

1. Erinevalt tavafotost, mis n-ö kõneleb, **ei räägi kaugseirelised tõendid iseenda eest**, vaid on osaks keerulisest tehnoloogilisest ja metodoloogilisest protsessist (Kroker, 2014), mistõttu tuleb **suurendada lõpptarbijate teadlikkust**<sup>22</sup> protsessi olemuse ja võimaluste kohta.
2. Tasuta kättesaadava teenuse piksli suuruse küsimus.
3. SAR-radaripildist lõpptarbijale sobiva toote valmistamine eeldab teaduslikke arendustegevusi, sh masinõppega mudeldamine jms.
4. Satelliitide eluiga on piiratud, nt Sentinel 2 planeeritud eluiga on seitse aastat ja stardid toimusid 2016 ja 2017 ning Sentinel 1B tegevus lõpetati rikke tõttu 3. augustil 2022.

20 Esimese viie kuuga tuvastasid Ukraina relvajõud ICEYE SAR-i abil üle 7000 sihtmärgi (Defense Express, 2023).

21 <https://gisgeography.com/100-earth-remote-sensing-applications-uses/>

22 Krokeri artiklis on lõpptarbijaks kohtunikud, kuid laiendatult kehtib põhimõte kõigi otsustajate kohta.

Satelliitseire olulisus Siseministeriumi vaates:

1. Ülelennu regulaarsus võimaldab hinnata olukorra muutust intervalliga 10 päeva kuni 16 päeva ühe satelliidi puhul, mitme satelliidi puhul päevade arv muutub.
2. Andmete pikad aegread, näiteks Landsati fotod on saadaval alates 1972. aastast.
3. Satelliidipark ja koos sellega sensorikavõimalused avarduvad – samas tähendab see pidevat jälgimist, mis satelliidid ja milliste võimalustega on lähiaastatel juurde tulemas.
4. Satelliitseire andmete töötlemisega tegeleb mitu spetsialiseerunud analüüsifirmat, Eestis näiteks Kappazeta, kus valmivad erinevad analüüsiproduktid, sh põllumaade üleniitmise hindamise lahendus PRIA-le.
5. Andmeid on võimalik integreerida suuremasse süsteemi ja kasutada koos muul moel kogutud infoga.

## 1.4. Võimalikud arengud

Tulevikus on palju võimalikke arenguid, siinses peatükis võetakse lühidalt vaatluse alla AI, kaksik-satelliidid, madalad orbiidid, mikrosatelliidid, erinevad tegevustasapinnad ja optiline andmeside ning lisas 6 käsitletakse stratosfääritehnoloogiate võimalusi. Arengud võivad puudutada nii loetletud kui ka siin käsitlusest välja jäänud asjaolusid, seda nii üksikult kui ka eri kombinatsioonides.

**AI** ja veel täpsemalt Deep Learning võimaldab õpetada arvutit sarnase protsessiga kui inimest, mis tähendab, et arvuti saab teha sarnaseid klassifitseerimisi ja tuvastamisi kui inimene, samas võimaldab see piisava arvutusvõimsuse ja andmehulga puhul klassifitseerida andmeid tunduvalt kiiremini ja kvaliteetsemalt kui inimene.

**Kaksiksatelliidid** võimaldavad stereoskoopset andmehanget, eripäraks on satelliitide vahekauguse täpne hoidmine, näiteks on SAR-i kasutatav paar TanDEM-X ja TerraSAR-X (DLR, 2009).

**Madalal orbiidil** on satelliit mingi geograafilise punkti kohal vaid lühikest aega, seetõttu on vaja mitut satelliiti või lausa satelliidiparve. Samas võimaldab satelliidiparv katta alaliselt ja pidevalt suure maa-ala kas igapäevase ülemaailmse seire (nt PlanetScope) või side (nt Starship jt) puhul, viimasel juhul lisanduvad veel kõrgemad sagedused ja võimalus näiteks ühilduda maapealsete sidevõrkudega.

**Mikrosatelliidid** kuuluvad kokku madalate orbiitidega, kuid mikrosatelliitide kasutuselevõtul muutub oluliseks satelliidiparvede rakendamine, kus pidev ülemaailmne kattuvus tagatakse paljude mõne kilogrammi kaaluvate suhteliselt odavate objektidega.

**Erinevate tegevustasapindade** puhul on arenguid toimumas nii kaugseirelises vaates (vt ptk 2.7) kui ka sides, eriti 5G võimalused satelliidilt (ESA, 2021).

**Optiline andmeside** on oluline teema, kuna see võimaldab suure hulga andmete reaajas kiiret segamis- ja pealtkuulamiskindlat ülekannet. Eripäraks on otsenähtavuse nõue side osapoolte vahel ning vastuvõtu- ja saatesüsteemide ülitäpse reaajas suunamise vajadus. Näiteks on Saksamaal tehtud praktilisi katseid, kus looduskatastroofi piirkonnast edastati vaatluslennukil seireandmeid maale (Schmidt *et al.* 2013). Kosmoses kasutatakse Tenerifel alates 2006. aastast katsetamisel olevat teleskoopi ESA Space Debris Telescope ja laserside maajaama ESA Optical Ground Station (Wikipedia, 2023f).

# 2. Praktikad

## Siseministeeriumi valdkonnale lähedastest kosmosetehnoloogiate rakendamistest

### 2.1. Liiklusohutus

**Hokaido ülikooli liiklusohutuse ennustamise mudeli projekt USA-s.** 2012. kuni 2016. aasta andmete põhjal loodi liiklusohutuse ennustamismudel, kus rakendati satelliidifotosid, AI-d ja liiklusohutuse info allikana NBRIS-süsteemi sisestatud avalikult kättesaadavaid andmeid. Selle abil loodi AI-põhine mudel, mis suudab satelliidifoto põhjal liiklusohutlikke kohti ennustada. New Yorgi linna andmetel põhineva mudeli headust katsetati Denveris, kus võrdlusmaterjaliks oli Denveri politseijaoskonna kogutud andmed, kui New Yorgis oli ennustuse täpsuseks 78%, siis Denveris 73% (Najjar *et al.* 2017).

### 2.2. Kuritegevusevastane võitlus

**Harvard Humanitarian Initiative (HHI) poolt Satellite Sentinel Projecti (SPP) pilootfaasis saadud kasutatav tsiviilelanike vastu sooritatud sõjakuritegude kaardistamisega seotud teemade analüüsi projekt Sudaani ja Lõuna-Sudaani piiril** (Lichtman & Nair, 2015). HHI projekt toob välja kitsaskohti ja puudujääke, mis on seoses kaugseire rakendamisega rahvusvahelise kriminaalkohtu jaoks, alustades sõltuvusega kolmandatest osapooltest (analüüsivõimekus), andmete piirangutest ja lõpetades andmete omandi küsimusega (Kroger, 2014). Krogeri välja toodud probleemide hulgas on eraldi esiletõstmist vääri vaid kaks, mis on ülekantavad kaugseirele üldiselt ja olulised ka Eesti jaoks. Need kaks probleemi on seotud kaugseire rakendamisega kohtulise tõendina.

1. Kaugseire võimaldab näha muutusi, Krogeri näites külade hävinemine ja massihauad. Samas pole võimalik klassikalise satelliitide abil tehtava kaugseire kaudu siduda konkreetset tegijat sündmusega või kirjeldada sündmust sama hästi kui tavapärase kohapealne foto. Siin mängib oma osa saadud materjal, mida on sageli ebapiisavalt või mis on halva kvaliteediga (põhjuseks kommertshuvi puudumine).

2. Kaugseire kaudu kogutud tõendite puhul ei pruugi kohtunikud mõista, et kaugseirelised tõendid ei räägi iseenda eest, vaid on osaks keerulisest tehnoloogilisest ja metodoloogilisest protsessist. Alles siis, kui kohtunikud mõistavad neid protsesse, saavad nad hinnata tõendite vastavust teaduslikele nõuetele ja tõendite tõenduslikku kaalu (Kroker, 2014)<sup>23</sup>.

Neile kahele probleemile pakub Kroker kaks lahendust: teaduslikku kinnitust omavate standardprotsesside väljatöötamine ning kohtunike väljaõpe, et mõista kaugseire tehnoloogiad, võimalusi ja piiranguid (Kroker, 2014).

**Wageningeni ülikooli kaugseireprojekt Etioopias UNESCO Kafa biosfääri reservaadis.** Projekti eesmärk on jälgida metsas toimuvaid muutusi võimalikult reaalselt lähedalt (ebaseaduslikud metsaraied jms). Seni kasutatakse Etioopias kaht sorti infot: ülalt alla ehk satelliidid (Landsat) jms sensorid ning alt üles, st kohalikult kogukonnalt laekuv info. Mõlemal infotüübil on oma puudused ja eelised. Näiteks lendab satelliit regulaarselt, positiivne on korduvus, puuduseks on perioodi pikkus järgmise ülelennuni. Kogukonnalt info saamine on seni olnud kulukas, samas suudavad eksperdid anda lisasüvateavet. Vajadus on eelised ühendada, et puudusi vähendada. Tulemiks on interaktiivne veebipõhine lahendus, mis koondab ühele veebiplatvormile satelliitidelt lähtuva ja kohaliku elanikkonna mobiilsideseadmetelt saadava info, seejuures on satelliitidelt lähtuvad alarmid võimalik suunata elanikkonnale kontrolliks (Pratihast et al. 2015).

**Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni (ÜRO) Uimastite ja Kuritegevuse Büroo (UNODC) ebaseaduslike põllukultuuride seireprogramm (ICMP).** Loodud 1998. aastal ÜRO Peasamblee eristungijärgu raames. Lisaks satelliidifotode analüüsile rakendatakse kohapealset info kogumist ja mitmefaktorilist analüüsi. Suunatud koka-, oopiumi-, mooni- ja kanepikasvatuste leidmisele ning peamised tegevuspiirkonnad on Colombia, Boliivia, Peruu, Mehhiko, Nigeeria, Myanmar ja Afganistan (Bussink, 2018). Oluline on fotode ja muu info interpreteerimine, sealhulgas on andmete saamiseks oma nõuded: piirangute puudumine, territoriaalne terviklikkus, mõistlik hind, korduvus ja hea ilm (Suchenwirth, 2007). ICMP ja muud sarnased seired on tihedalt seotud põllumajandusliku ja sõjaväelise satelliidifotode analüüsiga, sõjaväelise klassikalise fotode interpreteerimisega, vajaduse korral info kohapeal kogumise, põllumajanduslike multispektraalsete jms andmetega ning aegridadega, lisaks kasutatakse veel eesmärgipärast andmetöötlust.

## 2.3. Maa-alade järelevalve

**Eestis PRIA tellimusel põllumaade hooldeseisundite hindamise automaatsüsteem.** Kappazeta OÜ töötas aastatel 2016 kuni 2018 Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Ameti tellimusel välja rohumaade niitmise hindamise tarkvaralaheduse, mis kasutab Sentinel satelliitidelt saadud infot. Lahendus kasutab Sentinel-1 ja Sentinel-2 aegridasid lähireaalajas muutuste hindamiseks, andes täpsusastmeks 85% ja katab alates 2018. aastast terve Eesti (Kappazeta OÜ, 2023). Seejuures on Sentinel-1 eraldusvõime sõltuvalt režiimist alates 5 m kuni 40 m ja Sentinel-2 eraldusvõime 10 m kuni 60 m<sup>24</sup>.

23 Krokeri originaal: *RS analyses, unlike photographs, do not "speak for themselves"; but are results of a complex technical and methodological process based on the division of labor. Familiarity with the processes of RS enables them to better evaluate its reliability and probative value. Only when judges understand the underlying techniques and methods are they able to determine, whether the methods employed are scientifically established, to evaluate the expertise of expert witnesses, to detect possible technical errors, and to consider the possibility of alternative interpretations of events. Because of the current lack of knowledge of RS techniques, judges' ability to independently assess reliability and probative value is limited.*

24 Sentineli satelliitide võimekus on esitatud lisas 2.

**Hiina Guangxi Tšuangi maa- ja ressursiinfo keskuse projekt.** Hiina kaugseire kommertsatelliitidel on parima pankromaatilise pildi piksli suuruseks 1 m ja multispektraalsel pildil 4 m<sup>25</sup>. 2016. aasta esimesel poolel kogutud andmeid töödeldi ENVI/IDL tööriistaga ja interpreteeriti käsitsi. Hilisemal kontrollil tuvastasid korrakaitsejõud 1092 ebaseaduslikku maakasutust ja 16 ebaseaduslikku kaevandust (Wang & Yang, 2018).

## 2.4. Infrapunasaatelliitide kasutamine

**Tulekahjude avastamiseks** kasutatakse lähireaalajas (NRT) MODIS- ja VIIRS-sensoreid, uuen- dused on tagatud kolmetunnisete intervallidega, välja arvatud USA ja Kanada, kus aktiivseid tule- kahjusid saab jälgida reaalajas (NASA, 2023b). Praktilise tähelepanekuna oli näiteks 2022. aastal võimalik märgata Ukrainas rindejoonel toimunud termilisi reaktsioone.

## 2.5. Õlisaaste otsimine merelt

**Meresaste otsimine** on üheks SAR<sup>26</sup> kasutusvõimaluseks ja SAR on üheks oluliseks õlisaaste otsingu kaugseireliseks viisiks (Jafarzadeh *et al.* 2021), muu hulgas otsitakse neid merelaineid, mis pole teravad, vaid on õli tõttu ümarate nurkadega.

## 2.6. SAR radaridetektorina

**Bellingcati radarihäirete leidja.** Kui israeli georuumiinsener Harel Dan 2018. aastal Sentinel-1 satelliidi Synthetic Aperture radari (SAR) piltidel häireid elimineeris, siis ta hoopis kogemata<sup>27</sup> võimendas neid. Saadud tulemi analüüs viitas võimsate segajate olemasolule nende häirete asukohades, st tuvastati mingi maapealse kiirgaja lisandus SAR-i tagasipeegeldusele. Need segajad osutusid aktiivseteks maapealseteks radariteks<sup>28</sup>. Ollie Ballinger arendas sellest välja SAR radarihäirete leidja, mis määrab täpse asukoha 5 x 250 km suuruste Sentinel-1 SAR-piltide ristumiskohtade abil (Ballinger, 2022), st kahel ristuvaal pildil on samas geograafilises kohas häire. Ollie Ballingeri arendatud radarihäirete leidja koduleht paikneb Githubis, leht sisaldab nii tutvustust, sh Rootsi merevalve radarisüsteemi kaardistust antud rakenduse abil, kui ka leidja tarkvara lähtekoodi (Bellingcat, 2022) ning on olemas veebipõhine rakendus<sup>29</sup>. Kuigi tegu on pigem militaarvaldkonnaga, näitab see Sentinel-1 laialdasi kasutusvõimalusi ja seondub Sise- ministeeriumi vastutusalast piirivalvetegevustega.

## 2.7. Erinevate platvormide kaugseire integreerimine

**MÕS-i abil sooritatud kaugseire ja satelliidi abil sooritatud kaugseire integreerimisel** on mitmeid põhjusi, üheks neist on nende seiretüüpide tulemite erinevused, MÕS-i puhul paindlikkus

25 2014. aastal startinud Geofen-2 ametlikud GSD-näitajad USGS andmetel: pankromaatiline 0,8 m ja multispektraalne 3, 24 m (Ramaseri Chandra *et al.* 2022).

26 Siinses kontekstis on SAR Synthetic Aperture Radar, mitte Search and Rescue.

27 Juhuslikud äpardused on andnud olulisi teaduslikke arenguid, nt Flemingu poolt penitsilliini avastamine.

28 Tsiiviilne C-laineala, mis on SAR-i põhilaineala, kattub oluliselt militaarse G-lainealaga, mida kasutatakse näiteks õhutõrjaradarites.

29 <https://ollieballinger.users.earthengine.app/view/bellingcat-radar-interference-tracker>



ja teravus (VSHR), satelliidi puhul aegread. Integreerimisel võib andmeid kombineerida mitmel viisil:

- andmete võrdlus;
- erinevatel mõõtkavadel selgitus<sup>30</sup>, kus on satelliidiga üldpilt ja MÕS-iga teatud väike osa sellest;
- mudeli kalibreerimine, seejuures kalibreeritakse valdavalt satelliitkaugseirega kogutud MÕS-iga saadud detailse info abil;
- andmete ühendamine (*data fusion*).

Integreerimine on ideaalis seotud nii andmete riskasutuskõlblikkuse, masinõppe kui ka andme- jagamisega (Alvarez-Vanhard *et al.* 2021).

**Eri tasapindadel erinevate kaugseireliste platvormide<sup>31</sup> koostoime rakendamise arendamine** on kaugseirelise protsessi hädavajalik osa, mida mõistavad paljud autorid, integratsiooni puhul on tasanditeks nii kosmosepõhised platvormid kui ka lennunduse- ja MÕS-põhised platvormid ning maapealne andmekogumine. Olulise rolli saavad seejuures treeningandmestikud, millel on sama piirkonna kohta eri platvormide kogutud kaugseire- list infot – st nii satelliit (erinevad sensorid), lennuk, MÕS kui ka kohapealsed fotod ja ka nt LIDAR abil saadu – ning mis annab võimaluse kalibreerimiseks ja saab teenida nn etalo- nina sihtmärgi leidmise harjutamisel (Jha *et al.* 2020). Samuti muutub oluliseks platvormide riskasutatavus<sup>32</sup>. Riskasutuse testimisel on tehtud sarnaseid katseid, kuhu on kaasatud nii MÕS, Kuubiksatelliidid kui ka Sentinel-2 ja Landsat 8, peaküsimuseks on refereerimise täpsus (Jiang *et al.* 2022).

---

30 Sellel tegevusel on ilmselt tugevaim seos Siseministeeriumi valdkonnaga. Põhimõtteliselt saadakse satelliidiga üldpilt, mille analüüsil leitakse kahtlased kohad, mis on lõppfaasis MÕS-i abil detailselt üle vaadatud ja antud lõplik interpretatsioon – järele- valve ja menetluse klassikaline seos.

31 Ingl *Multi-platform*.

32 Ingl *Interoperability*.

# Kokkuvõte

Kosmosetehnoloogiate puhul pole küsimuseks mitte see, millist tehnoloogiat kasutada, vaid see, millist lisandväärtust on võimalik kosmosetehnoloogiate parema integreerimisega saavutada. Seejuures pole oluline, kas tegu on navigatsiooni, side või seirega. Oluline on, et kosmosetehnoloogia võimalused on saanud märkamatult meie igapäevaelu osaks: GPS (GNSS) on tänapäeval nii telefonides, autodes kui ka robotniidukites.

Lisandväärtuste leidmine erineb kolme vaadeldava teema puhul, see on lihtsaim navigatsiooni ja keerulisim seire puhul. Navigatsioonis on tehnoloogia juba kohal ja tulevikus paraneb pigem ainult täpsusaste – see annab nii suure eelise asukoha määramisel kui ka näiteks GALILEO puhul ajatempli funktsioonide loomise. Side on paljuski sarnases seisus GNSS-teenustega, ka siin on valmislahendused olemas, kuid tulevik töötab olukorda, kus ka mobiiltelefonid<sup>33</sup> on võimelised satelliitsides osalema. Seire on oluliselt mitmekesisem valdkond, selles pole mitte kolm suurt osalist, nagu madalaid orbiite kasutavas<sup>34</sup> sides, ega neli põhitegijat, nagu navigatsioonis, vaid oluliselt rohkem tegijaid, kellel võib olla väga erinevate sensoritega satelliite (vt Iridium). Samuti on teemasid, millel on ühisosa kõigi kolme valdkonnaga: kasutatavad orbiidid, parvede suurused jms.

Kui eespool esitatud tehnoloogiate kirjeldused ja praktikate näited annavad ainult kitsalt piiritletud hetkepildi kiiresti muutuvast maailmast, siis allpool on küsimused, millele tuleb kosmosetehnoloogiate rakendamise eel mõelda.

1. Millised tehnoloogilised lahendused on juba kasutusel: valmislahendused ja saada olevad teenused, viimase puhul nii füüsiline saadavus (näiteks seires on oluline eelis SAR-rakendustel võrreldes optiliste sensoritega) kui ka see, kas tegu on tasulise või tasuta teenusega (nt Sentinel vs. PlanetScope).
2. Integreerimise küsimus: ühelt poolt AI ja muude tehnoloogiatega ühilduvus, teisalt integreerimine struktuuridesse ja protsessidesse.

**Olemasolevad tehnoloogiad** ja tegevused on näited nii tehnoloogiatest kui ka praktikatest. Illustreerimiseks võib ette kujutada olukorda, kus madalatel orbiitidel on palju satelliidiparvi, mis kas katavad maakera sidega (nt Starlink) või korduva seirega, kas igapäevaselt (nt PlanetScope) või mitu korda päevas (nt ICEYE sagedus on firma esindajate sõnul kord tunnis). Parve kasuks räägib üksiku satelliidi odavus ja kerge asendatavus ja ühiku odavam start kui suuremate satelliitide puhul. Samas tuleb näiteks side puhul vaadata leviala ja muude sobivate parameetritega sidesüsteemi kattuvust, navigatsiooni puhul vajalikku täpsusastet ning seire puhul piksli suurust (vt lisa 6), ülelennu sagedust, spektrumi lainelaid ja muude sensorite võimekusi. Kõigi kolme teema puhul on ühiseks küsimuseks teenuse rahaline pool, see tähendab, et kas on tegu EL-i vms rahastusega tasuta teenusega või tuleb teenus sisse osta, seejuures ei tohi unustada, et ka

33 Samuti hakkavad suure tõenäosusega satelliitsides osalema tsiviilkasutuses olevad MÖS-id.

34 On ka geostatsionaarne side, kuid selles eeldatakse saatmisel üldiselt fikseeritud maajaama olemasolu või liikuva sõiduki puhul reaalaajas suunatavaid antenne.

tasuta saadud seireandmete töötlus võib spetsiifilisema vajaduse puhul olla tasuline (oskusteabe maksumus).

**Integreerimise puhul** on juba nimetatud tehnoloogiate ühisosa, nii suudab AI objekte paremini klassifitseerida kui inimene, oma osa mängivad eri tasanditel toimivad erinevad seireviisid või ka madalate orbiitide asendamine stratosfäärитеhnoloogiatega (vt lisa 7). Struktuuridesse ja protsessidesse integreerimine on teiste sõnadega spetsialiseeritud andmeanalüüs, mille väärtuse mõistmiseks on vaja lõpptarbijaid ja otsustajaid koolitada andmete väärimise protsessi mõistma (vt HHI näide).

Kolmas ja kõige olulisem küsimus on seotud tulevikuvaatega:

3. Mida uut või millised uusi teenused või vana olulist muutmist oleks vaja ning kas oleks võimalik selleks kosmosetehnoloogiat või sellega seonduvat rakendada?

Sellele küsimusele vastamiseks on vaja nii teadmist olemasolevast, viibimist infoväljas või selle läheduses, aga ka teadmist tehnoloogiate ja struktuuride integreerimisest, kuid veel enam eeldab see „kastist välja mõtlemist“. Eelnevalt toodud Bellingcati radaridetektori näide on juhtum, kus saadud tulem oli vastupidine esialgsele kavandatule, kuid samas andis see uue praktilise kasutusala. Hüpoteetiliseks näiteks oleks kosmosetehnoloogiate jaoks arendatud Hokaido ülikooli liiklusohutuse AI treenimine Eesti oludele ja mitte satelliitidele, vaid aerofotodele. Nii võiks olla võimalik hinnata uute tee-ehituste arenduste tõenäolist liiklusohutust.

Need kolm küsimust ja näited näitavad, et kokkuvõtvalt on tegu uue maailmaga, millega tuleb kursis olla. Siinne analüüs annab sissejuhatuse teemasse, mille iga kitsama valdkonna käsitus eeldab suuremat detailsust ja valdkondlikku teadmist, kas siis selleks, et luua uut või mõista juba loodu väärtust.

# Lühendid ja akronüümid

5G	Fifth-generation technology standard for cellular networks
6G	Sixth-generation technology standard for cellular networks
AI	Artificial intelligence
AMSR	Advanced microwave scanning radiometer
AMSU	Advanced microwave sounding unit
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DORIS	Doppler orbitography and radiopositioning integrated by satellite
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EGÜ	Eesti Geodeetide Ühing
EL	Euroopa Liit
ENVI	ENVI geoinfo visualiseerimise, töötlemise ja analüüsi tarkvara
ESA	European Space Agency
EstHUB	Eesti riiklik satelliidiandmete keskus
ESTPOS	Maa-ameti GNSS püsijaamade võrgustik
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
EUSPA	European Union Agency for the Space Programme
EW	Elektroniline sõjapidamine, ingl <i>electronic warfare</i>
GEO	Geostationary orbit
GLONASS	Глобальная навигационная спутниковая система
GNSS	Global navigation satellite system
GPS	Global positioning system
GSD	Ground sample distance
HHI	Harvard Humanitarian Initiative
ICMP	UNODC Global Illicit Crop Monitoring Programme
IDL	Interactive data language
IGSO	Inclined geosynchronous orbits
IMINT	Imagery intelligence
IR	Infrared
ISS	International space station
LEO	Low Earth orbit
LIDAR	Light detection and ranging
MEO	Medium Earth orbit
MODIS	Moderate resolution imaging spectroradiometer
MSS	Multispectral scanner
MWR	Microwave radiometer
MÕS	Mehitamata õhusõiduki süsteem
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBRIS	National incident-based reporting system
NIR	Near-infrared

NRT	Near real-time
OLCI	Ocean and land colour instrument
OLI	Operational land imager
PRIA	Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Amet
PRS	Public Regulated Service
ROI	Region of interest
RTK	Real-time kinematic positioning
SAR	Tehisavaradar, ingl <i>synthetic aperture radar</i>
SATIKAS	Satelliidiandmete kasutamise infosüsteem
SBAS	Satellite based augmentation system
SES	Société Européenne des Satellites
SIM	Siseministeerium
SLSTR	Sea and land surface temperature radiometer
SNIR	Shortwave near-infrared
SPP	Satellite sentinel project
SRAL	Synthetic aperture radar altimeter
TIRS	Thermal infrared sensor
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNODC	United Nations Office on Drugs and Crime
USA	Ameerika Ühendriigid, ingl <i>United States of America</i>
USGS	United States Geological Survey
ÜRO	Ühinenud Rahvaste Organisatsioon
VHSR	Very high spatial resolution
VIIRS	Visible infrared imaging radiometer suite
VNIR	Visible and near-infrared

# Mõõtühikud

Tabel 6. Pikkusühikud

Tähis	Nimetus	Suurus standardkujul meetrites (m)
km	kilomeeter	$10^3$
m	meeter	$10^0$
cm	sentimeeter	$10^{-2}$
mm	millimeeter	$10^{-3}$
$\mu\text{m}$	mikromeeter	$10^{-6}$
nm	nanomeeter	$10^{-7}$

Tabel 7. Sagedusühikud

Tähis	Nimetus	Võrdlus perioodiga	
		Sagedus	Periood
mHz	Mikroherts	1 mHz ( $10^{-3}$ Hz)	1 ks ( $10^3$ s)
Hz	Herts	1 Hz ( $10^0$ Hz)	1 s ( $10^0$ s)
kHz	Kiloherts	1 kHz ( $10^3$ Hz)	1 ms ( $10^{-3}$ s)
MHz	Megaherts	1 MHz ( $10^6$ Hz)	1 $\mu\text{s}$ ( $10^{-6}$ s)
GHz	Gigaherts	1 GHz ( $10^9$ Hz)	1 ns ( $10^{-9}$ s)
THz	Teraherts	1 THz ( $10^{12}$ Hz)	1 ps ( $10^{-12}$ s)

# Lingid

EUSPA	<a href="https://www.euspa.europa.eu/">https://www.euspa.europa.eu/</a>
ESA	<a href="https://www.esa.int/">https://www.esa.int/</a>
Globalstar	<a href="https://www.globalstar.com/en-gb/">https://www.globalstar.com/en-gb/</a>
Iridium	<a href="https://www.iridium.com/">https://www.iridium.com/</a>
Starlink	<a href="https://www.starlink.com">https://www.starlink.com</a>

## Sidesatelliitide levialade kaardid

Globalstar	<a href="https://www.globalstar.com/en-gb/coverage-maps">https://www.globalstar.com/en-gb/coverage-maps</a>
Starlink	<a href="https://www.starlink.com/map">https://www.starlink.com/map</a>

## Seiresatelliitide väljundid<sup>35</sup>

SENTINEL Hub	<a href="https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser">https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser</a>
TanDEM-X	<a href="https://tandemx-science.dlr.de/">https://tandemx-science.dlr.de/</a>
NASA fire map	<a href="https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map">https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map</a>
Eumetsat	<a href="https://www.eumetsat.int/">https://www.eumetsat.int/</a>

## Kokkuvõtvad materjalid

GNSS eesti keeles	<a href="https://egu.ee/wp-content/uploads/2021/05/Harli_Jyrgenson_ettekanne.pdf">https://egu.ee/wp-content/uploads/2021/05/Harli_Jyrgenson_ettekanne.pdf</a>
Seiresatelliidid	<a href="https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1500">https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1500</a>

---

<sup>35</sup> Eeldab kasutajakontot.

# Allikad

- Alvarez-Vanhard, E., Corpetti, T. & Houet, T., 2021. UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. *Science of Remote sensing*, 3. doi:<https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100019>
- Amos, J., 2018. European Space Agency teams with ICEYE Finnish start-up. *BBC News*. Leitav: <https://www.bbc.com/news/science-environment-43544211>
- Ballinger, O., 2022. Radar Interference Tracker: A New Open Source Tool to Locate Active Military Radar Systems. *Bellingcat*. Leitav: <https://www.bellingcat.com/resources/2022/02/11/radar-interference-tracker-a-new-open-source-tool-to-locate-active-military-radar-systems/>
- Bellingcat, 2022. sar interference tracker. *Github.com*.
- Bussink, C. (2018). The use of geospatial data for monitoring areas with. Deqing: UNODC. Allikas: <https://ggim.un.org/unwgic/presentations/7.4-Coen-Bussink.pdf>
- Chaudhary, V. & Kumar, S., 2023. Marine Oil Slick Detection Using Synthetic Aperture Radar Remote Sensing Techniques. rmt: S. Kumar, P. Siqueira, H. Govil, & S. Agrawal (Toim), *Spaceborne Synthetic Aperture Radar Remote Sensing. 1st Edition*. CRC Press. doi:10.1201/9781003204466-9
- Chein-I, C., 2003. *Hyperspectral Imaging [electronic resource]: Techniques for Spectral Detection and Classification*. Springer Science & Business Media. Leitav: [https://archive.org/details/springer\\_10.1007-978-1-4419-9170-6/mode/2up](https://archive.org/details/springer_10.1007-978-1-4419-9170-6/mode/2up)
- Clarke, A. C., 1945. Extraterrestrial Relays: Can Rocket Stations Give World-wide Radio Coverage? *Wireless World*, pp. 305–308. Leitav: <http://clarkeinstitute.org/wp-content/uploads/2010/04/ClarkeWirelessWorldArticle.pdf>
- da Silva, D. (toim.), 2020. *Satellites Sensors and Properties*. Satellites in Global Development. Leitav: <https://landscape.satsummit.io/capture/satellites-sensors-properties.html>
- Defense Express, 2023. *ICEYE Makes a Difference: Ukrainian Intelligence Spotted and Destroyed Over 7,000 Targets Thanks to the SAR Satellite*. Leitav: Defense Express: [https://en.defence-ua.com/news/iceye\\_makes\\_a\\_difference\\_ukrainian\\_intelligence\\_spotted\\_and\\_destroyed\\_over\\_7000\\_targets\\_thanks\\_to\\_the\\_sar\\_satellite-5999.html](https://en.defence-ua.com/news/iceye_makes_a_difference_ukrainian_intelligence_spotted_and_destroyed_over_7000_targets_thanks_to_the_sar_satellite-5999.html)
- DLR, 2009. *TanDEM-X*. Leitav: dlr.de: [https://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/documents/TanDEM-X\\_web.pdf](https://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/documents/TanDEM-X_web.pdf)
- EnMAP, 2020. *EnMAP Specifications*. Leitav: enmap.org: [https://www.enmap.org/data/doc/EnMAP\\_Specs.pdf](https://www.enmap.org/data/doc/EnMAP_Specs.pdf)
- EOS Data Analytics, 2023. *Panchromatic Imagery And Its Band Combinations In Use*. Leitav: eos.com: <https://eos.com/make-an-analysis/panchromatic/>
- ESA, 2016. *Sentinel-3*. ESA. Leitav: <https://web.archive.org/web/20160609154042/https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-future-missions/sentinel-3>
- ESA, 2021. *Space for 5G & 6G*. Leitav: ESA: <https://artes.esa.int/space-5g-6g>
- ESA, 2022. *PlanetScope*. Leitav: Copernicus: <https://spacedata.copernicus.eu/planetscope>
- ESA, 2023. *PlanetScope*. Leitav: <https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope>
- EUMETSAT, 2023. *Meteosat Second Generation (MSG) provides images of the full Earth disc, and data for weather forecasts*. Leitav: <https://www.eumetsat.int/meteosat-second-generation>



European Commission, 2002. GALILEO Mission High Level Definition. Leitav: [https://web.archive.org/web/20170106173741/http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](https://web.archive.org/web/20170106173741/http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf)

EUSPA, 2022. *Galileo High Accuracy Service (HAS)*. Leitav: [Euspa.europa.eu: https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/galileo-high-accuracy-service-has](https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/services/galileo-high-accuracy-service-has)

Galileo GNSS, 2021. Ten years of safer skies with Europe's other satnav system. Leitav: <https://galileognss.eu/ten-years-of-safer-skies-with-europes-other-satnav-system/>

Globalstar, 2023. *Coverage Maps*. Leitav: <https://www.globalstar.com/en-us/coverage-maps>

ICEYE, 2022. *CEYE Signs Contract to Provide Government of Ukraine with Access to Its SAR Satellite Constellation*. Leitav: [iceye.com: https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-signs-contract-to-provide-government-of-ukraine-with-access-to-its-sar-satellite-constellation](https://www.iceye.com/press/press-releases/iceye-signs-contract-to-provide-government-of-ukraine-with-access-to-its-sar-satellite-constellation)

ICEYE, 2023. *About company*. Leitav: [iceye.com: https://www.iceye.com/company](https://www.iceye.com/company)

Iridium Communications, 2023. *Iridium*. Leitav: [Iridium: https://www.iridium.com/](https://www.iridium.com/)

Jafarzadeh, H., Mahdianpari, M., Homayouni, S., Mohammadimanesh, F. & Dabboor, M., 2021. Oil spill detection from Synthetic Aperture Radar Earth observations: a meta-analysis and comprehensive review. *GIScience & Remote Sensing*, 58(7). doi:<https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1952542>

Jha, S. S., Kumar, M. & Ridamanuri, R. R., 2020. Multi-platform optical remote sensing dataset for target detection. *Data in Brief*. doi:[10.1016/j.dib.2020.106362](https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106362)

Jiang, J., Johansen, K., Tu, Y.-H. & McCabe, M. F., 2022. Multi-sensor and multi-platform consistency and interoperability between UAV, Planet CubeSat, Sentinel-2, and Landsat reflectance data. *GIScience & Remote Sensing*, 937–958. doi:[10.1080/15481603.2022.2083791](https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2083791)

Jürgenson, H., 2021. GNSS arengud. Leitav: [https://egu.ee/wp-content/uploads/2021/05/Harli\\_Jyrgenson\\_ettekanne.pdf](https://egu.ee/wp-content/uploads/2021/05/Harli_Jyrgenson_ettekanne.pdf)

Kappazeta OÜ, 2023. *Research & development*. Leitav: <https://kappazeta.ee/r-d>

Kroker, P., 2014. *Emerging issues facing the use of remote sensing evidence for international criminal justice*. Leitav: Harvard Humanitarian Initiative: [https://hhi.harvard.edu/sites/hwpi.harvard.edu/files/humanitarianinitiative/files/emerging\\_issues\\_rs\\_and\\_ij\\_kroker.pdf](https://hhi.harvard.edu/sites/hwpi.harvard.edu/files/humanitarianinitiative/files/emerging_issues_rs_and_ij_kroker.pdf)

Laurila, P., 2020. *New benchmark in imaging from sar microsatellites: iceye presents 25 cm azimuth resolution*. Leitav: <https://www.iceye.com/blog/new-benchmark-in-imaging-from-sar-microsatellites-iceye-presents-25-cm-azimuth-resolution>

Lichtman, A. & Nair, M., 2015. Humanitarian Uses of Drones and Satellite Imagery Analysis: The Promises and Perils. *American Medical Association Journal of Ethics*, 17(10), 931–937.

Maa-amet, 2022. ESTPOS – national GNSS satellite data center. Leitav: <https://geoportaal.maaamet.ee/eng/Spatial-Data/ESTPOS-national-GNSS-satellite-data-center-p839.html>

Najjar, A., Kaneko, S. & Miyanaga, Y., 2017. Combining Satellite Imagery and Open Data to Map Road Safety. *Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence*, pp. 4524–4530. San Francisco.

NASA, 2018. *How the Sensors “See”*. Leitav: NASA: [https://atrain.nasa.gov/sensors\\_see.php](https://atrain.nasa.gov/sensors_see.php)

NASA, 2022a. *Active sensors*. Leitav: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/active-sensors>

NASA, 2022b. *What is Synthetic Aperture Radar?* Leitav: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar>

NASA, 2023a. *What is Remote Sensing?* Leitav: EarthData: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>

NASA, 2023b. *Fire Information for Resource Management System*. Leitav: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

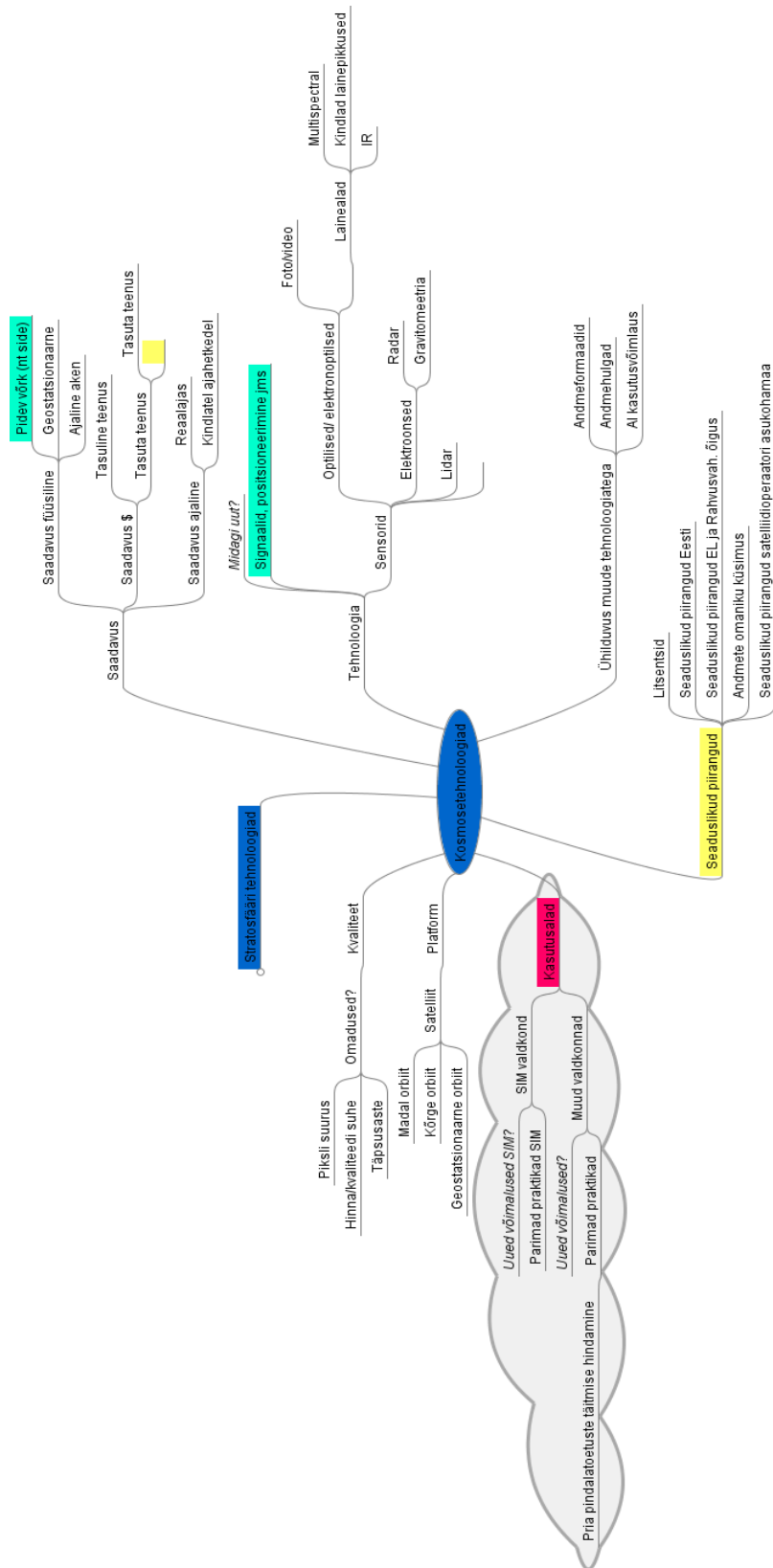
Pelton, J. N., 2019. Key Trends in Remote-Sensing Satellite Systems and Services. rmt: J. N. Pelton, *Space 2.0*. Springer Praxis Books. Springer, Cham. doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-030-15281-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15281-9_3)

Pisacane, V. L., 1998. The Legacy of Transit: Guest Editor's Introduction. *Johns Hopkins Apl Technical Digest*, 19, 1.

- Planet Labs PBC, 2023a. *Planet for defense and intelligence*. Leitav: <https://www.planet.com/markets/defense-and-intelligence/>
- Planet Labs PBC, 2023b. *Planet and Esri*. Leitav: <https://www.planet.com/partners/esri/>
- Pratihast, A. K., DeVries, B., Avitabile, V., de Bruin, S., Herold, M. & Bergsma, A., 2015. Design and Implementation of an Interactive Web-Based Near Real-Time Forest Monitoring System. (B. Bond-Lamberty, Toim.). *PLoS ONE* 11. doi:10.1371/journal.pone.0150935
- Ramaseri Chandra, S. N., Christopherson, J. B., Casey, K. A., Lawson, J. & Sampath, A., 2022. *2022 Joint Agency Commercial Imagery Evaluation—Remote Sensing Satellite Compendium*. Leitav: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/cir1500>
- Roadpost, 2023. *Iridium Communications Network*. Leitav: <https://www.roadpost.com/iridium-satellite-network>
- Schmidt, C., Horwarth, J., Shrestha, A., Moll, F., Brechtelsbauer, M. & Fuchs, C., 2013. High-speed, high-volume optical communication for aircraft. *SPIE Newsroom*. doi:10.1117/2.1201310.005174
- SES, 2023. *O3b MEO*. Leitav: <https://www.ses.com/our-coverage/o3b-meo>
- Song, H., Lee, J. & Yi, Y., 2022. Feasibility Study of Communication Access via Iridium Constellation for Small-Scale Magnetospheric Ionospheric Plasma Experiment Mission. *Journal of Astronomy and Space Sciences*, 39(3), 109–116. doi:10.5140/JASS.2022.39.3.109
- Suchenwirth, L., 2007. *Mapping of Coca Cultivation Areas in the MetaGuaviare Region of Colombia using an Object-based Approach of Satellite Image Analysis*. Diplomarbeit. Universität Wien.
- USGS, 2019. *What are the band designations for the Landsat satellites?* Leitav: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>
- USGS, 2022. *What is remote sensing and what is it used for?* Leitav: <https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used>
- Wang, N. & Yang, R., 2018. The Application of Chinese High-spatial-resolution Remote Sensing Satellite Image in Land Law Enforcement Information Extraction. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3, 1751–1755. doi:<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1751-2018>
- Wikipedia. *TanDEM-X*. Leitav: <https://de.wikipedia.org/wiki/TanDEM-X> [Kasutatud 04.04.2021].
- Wikipedia. *Medium Earth orbit*. Leitav: [https://en.wikipedia.org/wiki/Medium\\_Earth\\_orbit](https://en.wikipedia.org/wiki/Medium_Earth_orbit) [Kasutatud 28.01.2023].
- Wikipedia. *Synthetic Aperture Radar*. Leitav: [https://de.wikipedia.org/wiki/Synthetic\\_Aperture\\_Radar](https://de.wikipedia.org/wiki/Synthetic_Aperture_Radar) [Kasutatud 24.04.2023].
- Wikipedia. *Remote Sensing*. Leitav: [https://en.wikipedia.org/wiki/Remote\\_sensing](https://en.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing) [Kasutatud 24.04.2023].
- Wikipedia. *List of communications satellite firsts*. Leitav: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_communications\\_satellite\\_firsts](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_communications_satellite_firsts) [Kasutatud 01.03.2023].
- Wikipedia. *Molniya orbit*. Leitav: [https://en.wikipedia.org/wiki/Molniya\\_orbit](https://en.wikipedia.org/wiki/Molniya_orbit) [Kasutatud 01.02.2023].
- Wikipedia. *Polar Orbit*. Leitav: [https://en.wikipedia.org/wiki/Polar\\_orbit](https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_orbit) [Kasutatud 28.01.2023].
- Wikipedia. *Trsantit (satellite)*. Leitav: [https://en.wikipedia.org/wiki/Transit\\_\(satellite\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Transit_(satellite)) [Kasutatud 21.04.2023].
- Wikipedia. *ESA Optical Ground Station*. Leitav: [https://en.wikipedia.org/wiki/ESA\\_Optical\\_Ground\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/ESA_Optical_Ground_Station) [Kasutatud 05.04.2023].
- Wikipedia. *Globalstar*. Leitav: <https://en.wikipedia.org/wiki/Globalstar> [Kasutatud 14.04.2023].

# LISA 1.

## Kosmosetehnoloogiad ja sellega seotud valdkonnad



# LISA 2.

## Landsat 8 ja 9

Landsat OLI ja TIRS-i pildid koonevad üheksast lainealast piksli suurusega 30 m (sagedusala 1–7 ja 9). Uus sagedusala 1 on mõeldud ranniku uurimiseks. Uus sagedusala 9 on mõeldud kiudpilvede leidmiseks. Pankromaatilise sagedusala 8 piksli suurus on 15 m. Infrapunasagedusala 10 ja 11 on mõeldud pinnatemperatuuri täpseks mõõtmiseks ning neil on piksli suurus 100 m. Ligi-kaudne kaadri suurus on põhjast lõunasse 170 km ja idast läände 183 km. Landsat 9 on Landsat 8 ajakohaseks edasiarenduseks (USGS, 2019)<sup>36</sup>

Landsat 8–9 OLI ja TRS

Sagedusala	Lainepikkus (µm)	Eraldusvõime (m)
Sagedusala 1 - Coastal aerosol	0,43-0,45	30
Sagedusala 2 - Blue	0,45-0,51	30
Sagedusala 3 - Green	0,53-0,59	30
Sagedusala 4 - Red	0,64-0,67	30
Sagedusala 5 - Near Infrared (NIR)	0,85-0,88	30
Sagedusala 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1,57-1,65	30
Sagedusala 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2,11-2,29	30
Sagedusala 8 - Panchromatic	0,50-0,68	15
Sagedusala 9 - Cirrus	1,36-1,38	30
Sagedusala 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10,6-11,19	100
Sagedusala 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11,50-12,51	100

Eluiga: 5 aastat / 15 aastat  
Orbiit: 98,22° Päikesesünkroonne orbiit / 98,2° Päikesesünkroonne orbiit  
Kõrgus: 704 / 705 km  
Periood: 98,8 / 99 min  
Tsükkel: 16-päevane kordustsükkel

<sup>36</sup> USGS originaal: Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) images consist of nine spectral bands with a spatial resolution of 30 meters for Bands 1 to 7 and 9. New band 1 (ultra-blue) is useful for coastal and aerosol studies. New band 9 is useful for cirrus cloud detection. The resolution for Band 8 (panchromatic) is 15 meters. Thermal bands 10 and 11 are useful in providing more accurate surface temperatures and are collected at 100 meters. Approximate scene size is 170 km north-south by 183 km east-west (106 mi by 114 mi). The instruments on Landsat 9 are improved copies of those on Landsat 8.

# LISA 3.

## Sentinel 2 optiline seire

Sagedusalad	2A		2B		Eraldusvõime (m)
	Laine kesk-pikkus (nm)	Laine-vahemik (nm)	Laine kesk-pikkus (nm)	Laine-vahemik (nm)	
Sagedusala 1 – Coastal aerosol	442,7	21	442,2	21	60
Sagedusala 2 – Blue	492,4	66	492,1	66	10
Sagedusala 3 – Green	559,8	36	559,0	36	10
Sagedusala 4 – Red	664,6	31	664,9	31	10
Sagedusala 5 – Vegetation red edge	704,1	15	703,8	16	20
Sagedusala 6 – Vegetation red edge	740,5	15	739,1	15	20
Sagedusala 7 – Vegetation red edge	782,8	20	779,7	20	20
Sagedusala 8 – NIR	832,8	106	832,9	106	10
Sagedusala 8A – Narrow NIR	864,7	21	864,0	22	20
Sagedusala 9 – Water vapour	945,1	20	943,2	21	60
Sagedusala 10 – SWIR – Cirrus	1373,5	31	1376,9	30	60
Sagedusala 11 – SWIR	1613,7	91	1610,4	94	20

Eluiga: 7 aastat  
Orbiit: 98,6° Päikese-sünkroonne orbiit  
Kõrgus: 797 / 786 km  
Periood: 100,6 / 100,4 min  
Tsükkel: 10-päevane kordustsükkel

# LISA 4.

## Sentinel 1 Radarsatelliit

**Andur:** C-SAR (Radar)

**Platvorm:**

Eluiga: 7 aastat

Orbiit: Lähispolaarne (98,18°) Päikesesünkroonne orbiit

Kõrgus: 693 km

Periood: 98,6 min

Tsükkel: 12-päevane kordustsükkel

Pööret tsükli kohta: 175

**Töörežiimid:**

1. *Stripmap* 5x5 m teravus ja 80 km ulatus
2. *Interferometric Wide Swath (IW)* 5x20 m teravus ja 250 km ulatus
3. *Extra-Wide Swath (EW)* 20x40 m teravus ja 400 km ulatus
4. *Wave (WV)* pikki orbiiti 20x20 km näidispildid 100 km intervalliga

Sentinel 1 satelliitidest ühe eluiga on lõppenud.

# LISA 5.

## Sentinel 3 Ookeanide ja maa kaugseire

### Andurid:

1. Mere ja maismaa pinna kiirgustermomeeter SLSTR, 1420 km ulatus
2. Ookeani ja maismaa värvuse mõõtja OLCI, eraldusvõime piksli suurus on 300 m, 1270 km ulatus
3. Sünteetilise apertuuriga radar-kõrgusemõõtja SRAL
4. Raadiopositsioneerimissüsteem DORIS
5. Mikrolainete raadiomeeter MWR

### Platvorm:

Eluiga:	7 aastat
Orbiit:	98,6° Päikesesünkroonne orbiit
Kõrgus:	814,5 km
Periood:	100,99 min
Tsükkel:	27-päevane kordustsükkel

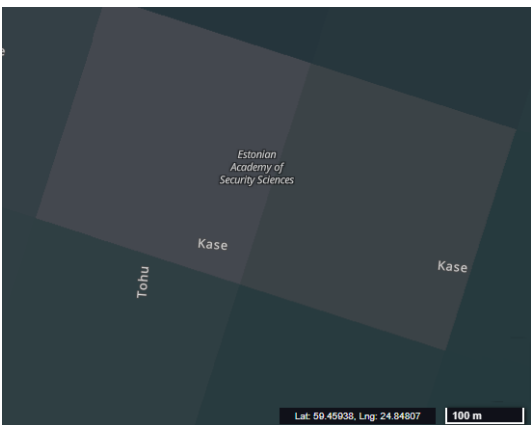

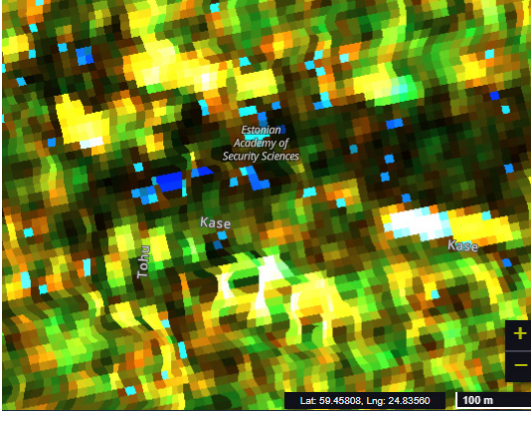

Eesmärgid: mõõta merepinna topograafiat, merepinna kõrgust ja laine kõrgust, ookeani ja maismaa pinnatemperatuuri, ookeani ja maismaa pinnavärvi, maa soojuskiirgust atmosfäärirakenduste jaoks, **jälgida** mere ja maismaa jää topograafiat, merevee kvaliteeti ja reostust, maismaavee-kogusid, muutusi maismaakasutuses, **teha** ookeaniprognose, **jälgida ja modelleerida** kliimat, **kaardistada** metsa, **leida** tulekahjusid ning ilma ennustada (ESA, 2016).

# LISA 6.

## Piksli suuruse ja objekti võrdlus

Resolutsioon	Pikslite vahemik (m)	Rakendus	Näide			Tulemi kirjeldus
			Piksel (m)	Satelliit	Sensor	
Madal resolutsioon	Üle 30	Globaalne	300	Sentinel 3	Optiline (OLCI)	Ilmastiku-nähtused, veereostus jms laiaulatuslikud nähtused
			100	Landsat 8/9	Optiline (TIRS)	Soojuskaardid ja hinnanguline pinnaseniiskus
Keskmine resolutsioon	2–30	Lokaalne	15	Landsat 8/9	Optiline (Pankromaatileine)	Hoonete üldkujud on tuvastatavad
			5	Sentinel 1	SAR	Hoonete üldkujud on paremini tuvastatavad. Näha ka veoautode jms suurused objektid
Kõrge resolutsioon	alla 2		0,5	Komposat 3	Optiline	Üksikud puud on tuvastatavad, hooned on täpse kujuga
			25	ICEYE	SAR	Autod, tankid, helikopterid jms on äratuntava kujuga



<p><b>Sentinel 3 (SKA peahoone 2023.05.29)</b></p>		<p>Piksli suurus 300 m, võimalik eristada üldist erinevust</p>	<p>Optilistel süsteemidel suur sõltuvus ilmastikuoludest (pilvitus), eriti väiksema pikslisuuruse korral</p>
<p><b>Landsat 8-9 LZ (SKA peahoone 2023.04.21)</b></p>		<p>Piksli suurus 15 m, võimalik eristada üldkuju</p>	<p></p>
<p><b>Sentinel 1 (SKA peahoone 2023.05.25)</b></p>		<p>Piksli suurus 5 m, eristuvad veoautosuurused objektid</p>	<p>SAR võib eeldada spetsiifilist andmetöötlust eriprobleemide lahendamiseks, samas on saadud tulemlisandväärtusega ja ilmastikukindlam kui optiliste sensoritega saadu</p>
<p><b>ICEYE (Rotterdam tsisternide mahtude muutus) (Laurila, 2020)</b></p>		<p>Piksli suurus 25 cm, võimaldab hinnata olulisi pisimuutusi ja nt määrata sõiduki tüüpi</p>	<p></p>

# LISA 7.

## Stratosfääritehnoloogiad

Stratosfääritehnoloogiad on kosmosetehnoloogiate paralleeltehnoloogia, mis on viimastel aastatel üha enam esile kerkinud. Põhjuseks on praktilised vajadused ja stratosfääritehnoloogia olulised eelised võrreldes kosmosetehnoloogiate ja traditsioonilise mehitamata lennundusega. Stratosfääris toimivate süsteemide olulised eelised on missiooni MÕS-laadne paindlikkus, odavus võrreldes satelliidiga, kuid rakendub satelliidiga sarnane suure maa-ala kattuvus ja tulemi täpsus. Võrreldes MÕS-iga on oluline eelis paiknemine ülalpool tavalisi lennuteid ja kestvuslennu võimekus.

Eelised võrreldes kosmosetehnoloogiatega:

- Madalad orbiidid, nt 800 km on oluliselt ülerahvastatud<sup>37</sup>, stratosfäär 20 km kõrgusel pole seda.
- Saab rakendada sensoreid, mis pole kosmoses rakendatavad, nt mõnda tüüpi gaasisensorid.
- Kandurseadmete hind ühe kilogrammi transpordil oluliselt madalam kui kosmoses, st langeb ära raketitehnoloogia jms kulukas ja saastav.
- Stratosfääris rakendatava platvormi hind on oluliselt madalam kui satelliidil.
- Seadmeid on võimalik hoolduseks maale tagasi tuua. Samuti saab maal viibimise ajal sensorpakette vms vahetada.
- Reageerimis- ja ümberpaiknemiskiirus on võrreldav drooniga. Ümberpaiknemisele kulutatud energia hankimine on oluliselt lihtsam kui satelliitidel, kuna viimastel on raketikütuse varu piiratud ja lõplik, kuid stratosfääritehnoloogia platvormi saab laadida päikesepatareide abil.

Eelised võrreldes traditsioonilise mehitamata lennundusega:

- Paikneb lennuteedest kõrgemal.
- 20 km kõrgusel on tuult vähem, samas õhk veel kannab.
- Katab suure maa-ala.

Puudused võrreldes traditsioonilise mehitamata lennunduse ja kosmosetehnoloogiatega:

- Tehnika ei oma veel samaväärset küpsust.
- Seadmed on õrnad.
- Kosmos on vastavaid reegleid järgides kõigile kättesaadav, samas stratosfäär on osa riigi õhuruumist, mis seab teiste riikide operaatoritele piirangud. Samuti on stratosfääris paiknev tehnika haavatav odava konventsionaalse rünnakuga, kosmosetehnoloogia vastu on vaja satelliiditõrjerelva, mille tehnoloogia on kallis (raketite stardikulu jms).

---

37 Vt reaalaajas satelliitide paiknemisinfo: <http://astria.tacc.utexas.edu/AstriaGraph/>



Kosmosetehnoloogiate kasutuselevõtt on küll juba toimunud, kuid samas on sellel valdkonnal suur rakenduspotentsiaal. Kosmosetehnoloogia kallidust silmas pidades ei võeta vaatluse alla võimalikke *bespoke*-lahendusi kosmoses paikneva riistvara osas ega mehitatud lende, vaid käsitletakse olemasolevaid või lähituleviku platvorme ning nende rakendamisvõimalusi: side, navigatsioon ja seire. Eraldi vaadeldakse seiretehnoloogiate rakendamist, seejuures pole keskseks küsimuseks mitte see, millist tehnoloogiat kasutada, vaid see, millist lisandväärtust on võimalik kosmosetehnoloogiate parema integreerimisega saavutada.



[sisekaitse.ee](http://sisekaitse.ee)