



ILMATIETEEN LAITOS  
METEOROLOGISKA INSTITUTET  
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

## Sodankylän kansallisen satelliittidatakeskuksen kehitys- ja investointitarpeet tukemaan suomalaista piensatelliittitoimintaa - selvityshankkeen loppuraportti

ILMATIETEEN LAITOS  
Timo Ryyppö  
Tapani Mikkola

Toukokuu 2021



LAPIN LIITTO

**Kestävää kasvua ja työtä -ohjelma**

**Vipuvoimaa**  
**EU:lta**  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto



## Sisällysluettelo

1	Tausta .....	2
1.1	Sodankylän kansallinen satelliittidatakeskus.....	2
1.2	Tarpeen määrittely ja saavutettava hyöty.....	4
2	Käyttäjätarvekysely ja -haastattelut .....	6
2.1	Toteutus ja tiedonhallinta .....	6
2.2	Kyselyn vastaukset ja havainnot.....	7
2.2.1	Teema: Motivaatio ja taustat.....	7
2.2.2	Teema: Tekniset vaatimukset ja tarpeet.....	8
2.2.3	Teema: Resurssit .....	11
2.2.4	Teema: Yhteistyö NSDC:n kanssa .....	12
3	Investointi-, teknologia- ja resurssitarpeet .....	13
3.1	Investoinnit ja niiden kustannusarvio .....	13
3.2	Ohjelmistot, teknologiat ja rajapinnat.....	16
3.3	Työvoima ja osaamistaso .....	17
4	Johtopäätökset ja ehdotetut toimenpiteet.....	20
4.1	Toimenpide-ehdotukset. ....	21
4.1.1	Skenaario 1: Yhteisomisteinen piensatelliittimaa-asema .....	21
4.1.2	Skenaario 2: NSDC:n oma piensatelliittimaa-asema.....	21
4.1.3	Skenaario 3: S-kaistan vastaanoton kahdentaminen .....	21
4.1.4	Skenaario 4: Olemassa olevan kapasiteetin saavutettavuuden parantaminen .....	22
	Lähdeluettelo .....	23
Liite A	Käyttäjäkyselyn kysymykset .....	24

# 1 Tausta

Sodankylän kansallisen satelliittidatakeskuksen kehitys- ja investointitarpeet tukemaan suomalaista piensatelliittitoimintaa -selvityshankkeelle on myönnetty Lapin liiton toimesta vuoden 2020 Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) ja valtion rahoitusta. Hanke toteuttaa Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelman toimintalinjaa Uusimman tiedon ja osaamisen tuottaminen ja hyödyntäminen ja sen erityistavoitetta Tutkimus-, osaamis- ja innovaatiokeskittymien kehittäminen alueellisten vahvuuksien pohjalta. Hankkeen toteutusaika on 1.9.2020-31.5.2021.

Hankkeen loppuraportti on julkinen ja siitä on suodatettu pois kaikki liikesalaisuuden piiriin kuuluvat ja luottamukselliset tiedot. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi tarjousten ja tietopyyntöjen tarkat hintasisällöt ja osa teknisistä toteutustavoista sekä käyttäjäkyselyyn vastanneiden tahojen tiedot henkilötasolla.

## 1.1 Sodankylän kansallinen satelliittidatakeskus

Ilmatieteen laitoksen Arktinen avaruuskeskus (ARK) operoi kansallista satelliittidatakeskusta (NSDC, National Satellite Data Centre) Sodankylässä. NSDC:llä on tällä hetkellä kolme satelliittivastaanottojärjestelmää, joita käytetään pääosin tuottamaan lähes reaaliaikaista tietoa Suomesta ja lähialueilta. Merkittävimmät käyttökohteet ovat Itämeren jääpeitteen monitorointi talvimerenkulkua varten, metsäpalojen havaitseminen, lumipeitteen ja -määrän seuranta sekä otsoni- ja ultraviolettikartat.



Kuva 1. Sodankylän satelliittidatakeskus. Etualla keskuksen kaksi 7,3 metristä vastaanottoantennia (SOD02 ja SOD03). Taustalla EISCAT-yhteenliittymän (European Incoherent Scatter Scientific Association) 32 metrinen tutkavastaanotin.

Kaikilla NSDC:n satelliitivastaanottojärjestelmillä on mahdollista seurata satelliitteja, jotka lähettävät mittaustietonsa X-kaistalla 7,9–8,4 GHz:n taajuudella. Tämän lisäksi yhdellä vastaanottojärjestelmällä voidaan sekä vastaanottaa että lähettää tietoja satelliitin ja maa-aseman välillä S-kaistalla 2,2–2,4 GHz:n taajuudella. S-kaistan lähetys on luvanvaraista toimintaa, johon NSDC on saanut esiluvan Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilta. Säännöllinen lähetystoiminta pitää Traficomien toimesta koordinoita naapurimaiden kanssa, jotta eri laitteet eivät häiritse toisiaan. NSDC:n vastaanottokapasiteetti kasvaa vuoden 2021 lopussa, kun neljäs vastaanottojärjestelmä otetaan käyttöön. Uusi järjestelmä toimii X- ja L-kaistalla laajentaen keskuksen satelliitivastaanottoa ja sitä kautta mahdollistaen uusien satelliittimissioiden tukemisen sekä antennien vastaanottokuorman tasaamisen. Käytössä olevien sekä uuden antennin tekniset tiedot on esitelty Taulukossa 1.

*Taulukko 1. NSDC:n kolmen operatiivisessa toiminnassa olevan antennin sekä vuoden 2021 loppuun mennessä käyttöön otettavan antennin tekniset tiedot.*

ITEM	SOD01	SOD02	SOD03	SOD04
<b>Reflector</b>	2.4 m Cassegrain	7.3 m Cassegrain	7.3 m Cassegrain	3.7 m Cassegrain
<b>Coverage</b>	Hemispherical No keyholes	Hemispherical No keyholes	Hemispherical No keyholes	X/Y pedestal for elimination of overhead keyhole
<b>X-band downlink</b>				
• <b>Frecuency</b>	7.7 – 8.5 GHz	7.7 – 8.4 GHz	7.7 – 8.4 GHz	7,5-8.4 GHz
• <b>G/T</b>	22.8 dB/K	≥31.2 dB/K	≥31.2 dB/K	27 dB/K
<b>S-band</b>	N/A	N/A		N/A
• <b>Downlink</b>			2200 – 2300 MHz	
• <b>Uplink</b>			2025 – 2120 MHz	
<b>L-band downlink</b>	N/A	N/A	N/A	
• <b>Downlink</b>				1693-1710 MHz
• <b>G/T</b>				12 dB/K
<b>Polarizations</b>				
• <b>Data</b>	RHCP/LHCP	RHCP+LHCP	RHCP+LHCP	RHCP/LHCP
• <b>Tracking</b>		RHCP/LHCP	RHCP/LHCP	
<b>Accuracy</b>				
• <b>Pointing</b>	0.1°	0.06°	0.10°	0.09°
• <b>Tracking</b>	0.03°	0.04°	0.05°	
<b>Tracking</b>	Auto and Program Track	Auto and Program Track	Auto and Program Track	Auto and Program Track
<b>De-/anti-icing</b>	Radome	Electrical Heating	N/A	N/A
<b>Satellite support</b>	NASA EOS and S- NPP	LEO > 250 km, MEO, GEO	LEO > 250 km, MEO, GEO	MEO
<b>Data Channels</b>	1	2	2	2
<b>Data Rate</b>	0.665 to 20.8 Mbps	2 to 320 Mbps (expandable)	2 to 1600 Mbps	200 kbps to 2.7 Gbps
<b>Station control</b>	Fully automated	Fully automated	Fully automated	Fully automated
<b>Operational</b>	2003	2011	2017	End of 2021

Satelliittidatakeskuksella on vastaanottojärjestelmien lisäksi prosessointi- ja arkistointikapasiteettia, jotka mahdollistavat satelliittidatan tehokkaan käsittelyn ja jakelun siirtämättä suuria datamääriä ensin toisaalle. Datojen käyttäjinä on sekä kotimaisia että ulkomaisia tahoja. Osa datoista toimitetaan käsittelemättömänä eli niin sanottuna raakadatana eteenpäin loppukäyttäjille ja osasta tehdään pidemmälle jalostettuja tuotteita kuten routaennusteita tai tulva-analyyssejä. Tärkeä käyttäjäryhmä on myös eri viranomaiset, joille toimitetaan muun muassa satelliittimittauksiin perustuvia metsäpalohavaintoja ja jäätilannetietoja lähes reaaliajassa.

Kaksi yleisesti käytettyä satelliittien kiertorataa ovat geostationäärinen sekä polaari- eli naparata. Geostationäärillä radalla olevat satelliitit ovat päiväntasaajan päällä noin 36 000 km korkeudella ja kiertävät maata maapallon pyörimisnopeudella, mikä mahdollistaa tietyn alueen jatkuvan kuvaamisen. Suomen alueella geostationääristen satelliittien erotuskyky on kuitenkin melko vääristynyt johtuen geometriasta, mikä heikentää näiden satelliittien käyttöä. Polaariradalla olevat satelliitit kiertävät maata pääsääntöisesti matalalla, alle 1000 km korkeudella olevalla radalla. Rata kulkee karkeasti ottaen pohjois-etelä suunnassa radan kulkiessa joka ratakierröksellä läheltä napa-alueita. Kiertoradan geometriasta ja maapallon pyörimisestä johtuen napa-alueet saadaan kuvattua monta kertaa vuorokaudessa, kun taas päiväntasaajan alue vain muutaman kerran vuorokaudessa. Tästä syystä satelliittimaa-asemien näkemät polaariradalla olevien satelliittien ylilentomäärät ovat leveysasteesta riippuvia ja sitä suuremmat mitä korkeammalla leveysasteella ollaan. Pohjoisen sijaintinsa (lat 67°N) takia NSDC pystyy näkemään päivässä yhden satelliitin 14 ylilennosta 10, kun vastaava luku esimerkiksi Helsingissä on noin kahdeksan ja päiväntasaajalla vain neljä (Taulukko 2). Sijaintinsa takia NSDC:n maa-asema on kiinnostava ja haluttu kohde, ja omaa suuren potentiaalain kasvavassa satelliittitoiminnassa.

*Taulukko 2. Neljälle eri maa-asemalla lasketut ylilentojen lukumäärät, ylilentojen yhteenlasketut näkyvyysajat sekä näkyvyysajan osuus vuorokaudesta yhden päivän aikana. Laskut on tehty Savoir-simulaatiotyökalulla Suomi NPP -satelliitille 19.9.2019 päivälle.*

Maa-asema	Leveysaste	Ylilentoa päivässä (kpl)	Maa-asemakontaktin kokonaiskesto päivässä (sekuntia)	Maa-asemakontaktien osuus vuorokaudesta (prosenttia)
Sodankylä, Suomi	67,4	10	6773	7,8
Svalbard, Norja	78,2	14	8445	9,8
Matera, Italia	40,6	6	3833	4,4
Mbarara, Uganda	-0,6	4	2829	3,2

## 1.2 Tarpeen määrittely ja saavutettava hyöty

Viime vuosina satelliittien laukaiseminen on tullut mahdolliseksi yhä useammille ja ennen kaikkea pienemmille toimijoille. Satelliittien rakentaminen suoraan kaupasta saatavilla halvoilla komponenteilla sekä piensatelliittien laukaisu päähyötykuorman ohessa (niin sanotut massalaukaisut) ovat mahdollistaneet jopa satojen uusien satelliittien laukaisemisen maan kiertoradalle yhdellä kertaa. Tätä tilannetta, jossa isojen kansallisten toimijoiden rinnalle on syntynyt pieniä kaupallisia toimijoita sekä opiskelijavetoisia yrityksiä ja projekteja, kutsutaan muun muassa nimellä New Space -aikakausi.

Vaikka satelliitteja on nykyään helpompaa ja halvempaa rakentaa, tarvitsevat ne edelleen maa-aseman, jonka kautta niitä voidaan valvoa ja vastaanottaa mittaustietoja sekä lähettää esimerkiksi kuvauspyyntöjä ja ratakorjauspyyntöjä. Jokaista satelliittia varten ei tarvita omaa maa-asemaa, vaan yksi maa-asema voi tukea useita satelliitteja. Varmatoimisen ja usean satelliittimission tukemiseen pystyvän maa-aseman



perustamiskustannuksissa puhutaan vähintään sadoista tuhansista euroista ja summat voivat kasvaa useisiin miljooniin euroihin riippuen laitteistosta. Lisäksi aseman ylläpito ja huolto sekä operointi ovat merkittäviä kuluja. Pienosatelliittitoimijalle, varsinkin start up -yritykselle tai oppilaitokselle, tällainen investointi voi olla mahdotonta. Ratkaisuna on käyttää olemassa olevaa infrastruktuuria, kuten Arktisen avaruuskeskuksen operoimaa NSDC:tä, johon on investoitu viimeisen 10 vuoden aikana noin 17 miljoonaa euroa.

Tällä hetkellä NSDC:n toiminta on keskittynyt isojen, kansainvälisten toimijoiden satelliittimissioiden vastaanottamiseen. Tässä hankkeessa selvitetään, mitä tarpeita ensisijaisesti suomalaisilla pienosatelliittitoimijoilla on ja millä edellytyksillä, teknologioilla ja mahdollisesti uusilla investoinneilla NSDC voi tukea myös pienosatelliittitoimijoita tarjoamalla yli 15 vuoden kokemuksen maa-asematoiminnasta sekä luotettavan infrastruktuurin.

Pienosatelliitin määritelmä riippuu hieman lähteestä, ja esimerkiksi Euroopan avaruusjärjestö ESA ja Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallintovirasto NASA määrittelevät pienosatelliitin eri painorajoilla (Mostesher 2014). Tässä selvityksessä pienosatelliitilla tarkoitetaan alle 500 kg painavaa satelliittia. Lisäksi pienosatelliitteja voidaan vielä jaotella tarkemmin esimerkiksi Cubesateiksi tai Nanosateiksi koon perusteella. Raportissa tarkempaa jaottelua ei tehdä, vaan käytetään yleisesti termiä pienosatelliitti, sillä kaikkien tunnettujen suomalaisten toimijoiden satelliitit tai suunnitelmat ovat selkeästi alle 500 kg rajan suurimman tiedossa olevan suomalaisen satelliitin painaessa 85 kg (ICEYE 2021).

Selvityksen välilliset hyötyjäät ovat suomalaiset ja myös ulkomaiset pienosatelliittitoimijat, joilla on tarve saada kustannustehokkaasti maa-asemapalveluita. Lisäksi välillisenä hyötyjänä on Lappi ja ennen kaikkea Sodankylä, johon maa-asemapalveluiden osaamiskeskittymä rakennetaan ja pyritään luomaan uusia työpaikkoja. Hanke tukee myös Suomen avaruusstrategian toteuttamista tuoden maa-asemapalveluita hyödynnettäväksi suomalaisessa yhteiskunnassa ja mahdollistaa samalla uuden liiketoiminnan kehittämisen.

Selvityksen perusteella myöhemmin toteutettavat toimenpiteet ovat kestävä kehityksen mukaisia eli hyödynnetään olemassa olevaa infrastruktuuria eikä rakenneta vain uutta ja monisteta jo olemassa olevaa toisaalle. Satelliittimaa-asemapalvelut ovat kaikkien käytössä ja mahdollisissa rekrytoinneissa valitaan henkilöt pelkästään osaamisen perusteella. Tämä huomioi sukupuolten tasa-arvon ja yhdenvertaisuuden.





## 2 Käyttäjätarvekysely ja -haastattelut

### 2.1 Toteutus ja tiedonhallinta

Selvityshanke toteutettiin ottamalla yhteyttä tunnettuihin suomalaisiin avaruusalalan toimijoihin, joilla tiedettiin tai arvioitiin jo olevan piensatelliittitoimintaa tai kiinnostusta ja suunnitelmia tällaiseen. Tunnistettuja tahoja löydettiin noin 20, joista yhdeksältä saatiin tietoja selvitykseen. Suomalaisen avaruusalalan pienuudesta ja keskittymisestä johtuen yksittäinen satelliittiprojekti oli monesti jakautunut usean eri tahon kesken ja samat henkilöt työskentelivät useassa eri projektissa samanaikaisesti.

Seuraavat tahot osallistuivat käyttäjäkyselyyn:

- Aalto Yliopisto
- Arctic Astronautics Oy
- Huld Oy
- ICEYE Oy
- Ilmatieteen laitos
- Reaktor Space Lab Oy
- Sodankylän geofysiikan observatorio, Oulun yliopisto
- Vaasan yliopisto
- VTT

Toimijoiden lähtötietojen kerääminen toteutettiin Google Forms -alustan päälle rakennetulla kyselyllä 15.2.-15.3.2021 välisenä aikana. Käyttäjäkyselyn kysymykset on esitetty liitteessä A. Kysely jaettiin neljään osioon, jotka olivat teemoiltaan toimijan perustiedot, toimijan tarpeiden ja taustojen selvittäminen, teknisten vaatimusten määrittely ja motivaatio piensatelliittitoiminnassa. Kyselyn tulosten perusteella tehtiin tunnetuille antennitoimittajille tietopyyntöjä, millaisten antenniratkaisujen avulla pystyttäisiin parhaiten vastaamaan tarpeeseen ja mikä tällaisen kokonaisuuden hinta-arvio on.

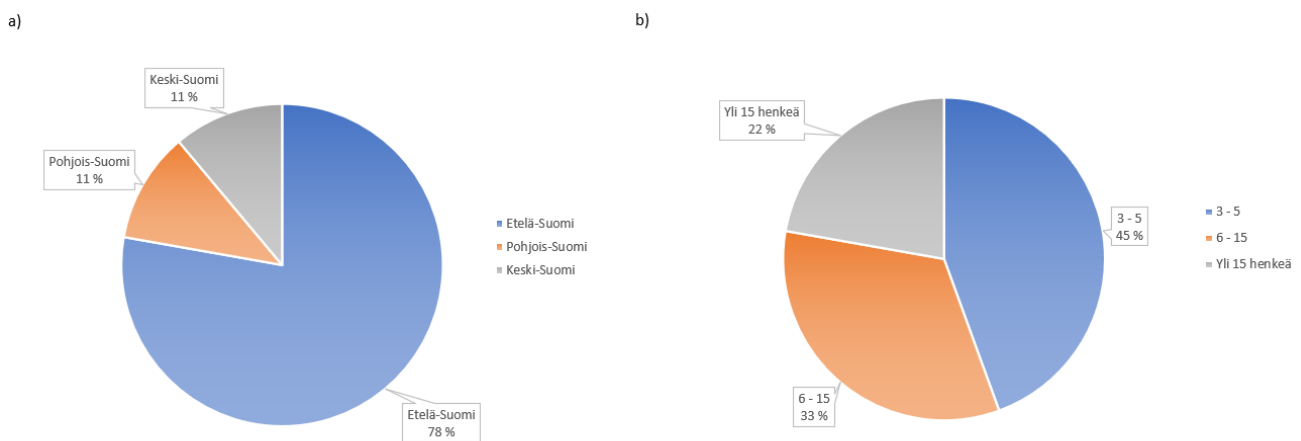
Käyttäjille suunnatun kyselyn pohjalta tehtiin erillisiä haastatteluita tapauksissa, joissa maa-asemakäyttäjien tarpeet ja vaatimukset olivat toteutuksen kannalta katsoen mahdollisia Sodankylän maa-asemalla. Haastatteluissa käytiin läpi mahdollisia tarpeita maa-asematoimintaa varten sekä maa-asemakäyttäjien odotuksia maa-asemalta. Haastattelut toteutettiin etätyövälineiden avulla.

Kyselyn tiedot tallennettiin raakamuodossa, jonka jälkeen vastaukset anonymisoitiin ja vastauksista tehtiin kysymysten asetteluiden mukaisesti, joko numeerisia vertailuja tai avoimien kysymysten tapauksissa yhteenvetoja. Raportissa vastaukset on esitetty siten, että vastaajaa ei voi tunnistaa mutta vastausten perusteella on tarkoitus antaa kuva yleisellä tasolla suomalaisen piensatelliittisektorin tarpeista tämänhetkisessä tilanteessa.

## 2.2 Kyselyn vastaukset ja havainnot

### 2.2.1 Teema: Motivaatio ja taustat

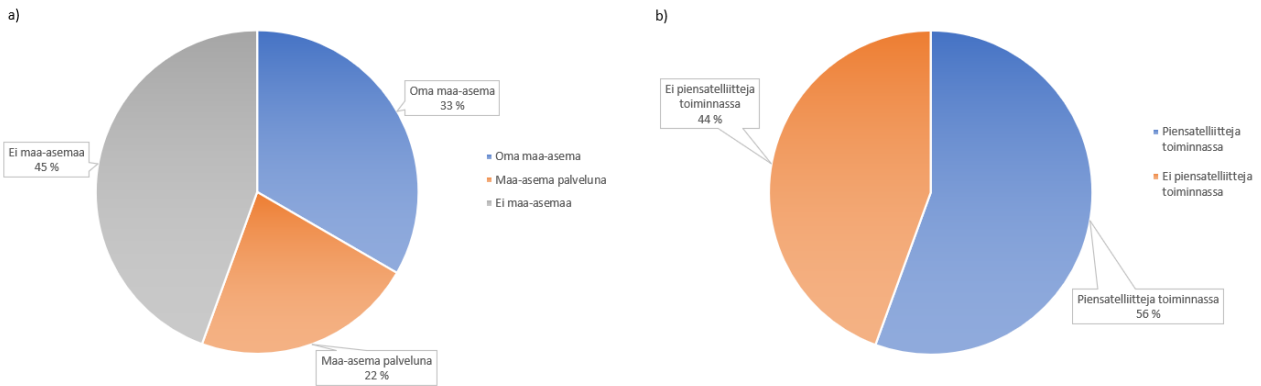
Kyselyyn vastanneiden toimijoiden työntekijämäärä piensatelliittitoiminnassa jakaantui kyselyssä annetulle skaalalle siten, että 3–5 henkeä työllistäviä oli neljä kappaletta, 6–15 henkeä työllistäviä kolme ja yli 15 henkilöä työllistäviä toimijoita oli kaksi kappaletta. Toimijoista hieman yli puolet oli julkisella tai koulutussektorilla ja loput yksityisellä sektorilla. Pääosa toimijoista oli Etelä-Suomesta, joskin osalla vastaajista toimintaa on useammassa eri toimipisteessä eri puolella Suomea. Henkilö- ja sijaintijakauma on esitetty Kuvassa 2.



Kuva 2. Käyttäjäkyselyyn vastanneiden toimijoiden maantieteellinen sijainti (a) sekä työntekijämäärä piensatelliittitoiminnoissa (b).

Isoimpien toimijoiden havaittiin rakentavan käyttämänsä piensatelliitit omatuotantonaan ja julkisen sektorin toimijoiden yhteistyössä toisten julkisten sektorin toimijoiden sekä yksityisen puolen kanssa. Vastaajista yli puolella oli oma piensatelliitti toiminnassa, mutta heistä kaikilla ei ollut omaa maa-asemaa (Kuva 3). Avointen vastausten perusteella oman maa-aseman omaavilla toimijoilla olisi kuitenkin tarvetta käyttää ulkoisia maa-asematoimijoita toimintojensa tukena. Vastaajien maa-asemat olivat pääosin rakennettu ostetuista osakokonaisuuksista, jotka sitten oli rakennettu omana työnä.





Kuva 3. Vasemmalla on esitetty jakauma maa-asemapalveluiden hankintatavoista ja oikealla vastaajien tämänhetkinen tilanne piensatelliittitoiminnassa.

Kaikkien vastaajien suunnitelmissa oli piensatelliitin rakentaminen tulevaisuudessa. Ensisijaisena käyttötarkoituksena valtaosa ilmoitti tutkimuksen. Tämän jälkeen vastaukset jakaantuvat koulutuksen, demonstraation ja kaupallisen toiminnan alle. Tämänhetkinen tilanne piensatelliittien suunnittelun tai jo mahdollisen rakentamisen osalta oli jakautunut vastaajien kesken ajatusasteesta olemassa olevaan sarjatuotantoon. Lisäksi useammalla taholla oli useita samanaikaisia piensatelliittiprojekteja, joista osa oli vastaajien kesken yhteisiä. Vain kahdella vastaajalla piensatelliittitoiminta oli vasta ajatus- tai selvitysasteella muiden ollessa vähintään jo satelliitin suunnitteluvaiheessa. Yhteensä vastaajilla oli suunnitelmissa laukaista neljä piensatelliittia vuoden 2021 aikana ja viisi vuosina 2022–2023.

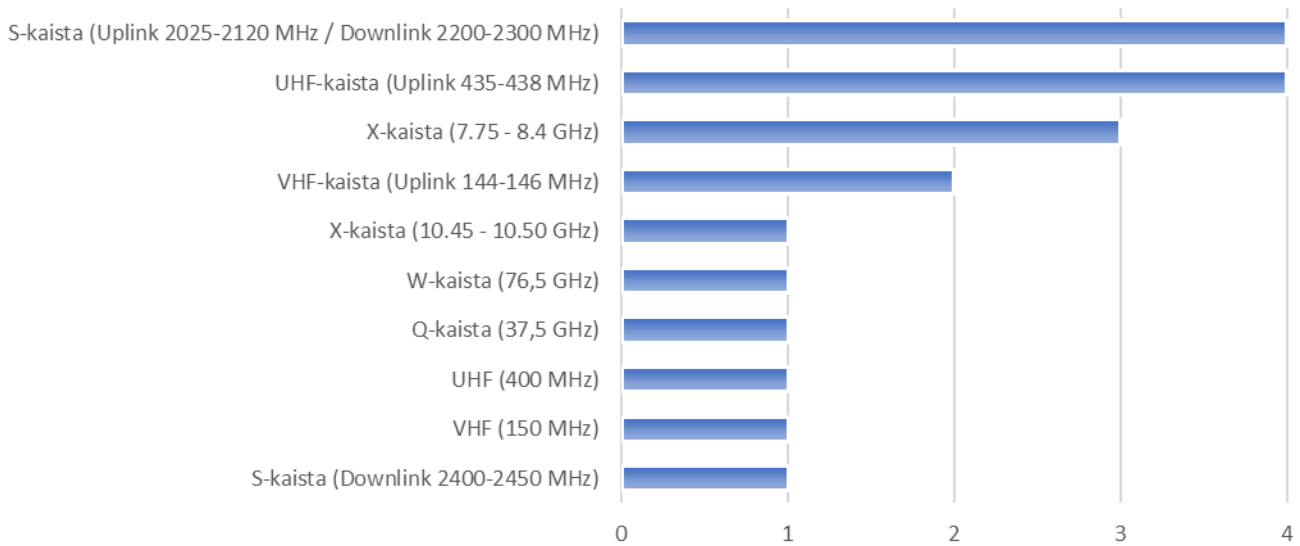
Kuudella vastaajalla oli suunnitelmissa käyttää omaa maa-asemaa kommunikoimaan satelliittinsa kanssa. Näistä kuudesta yksi koki pelkän oman maa-aseman riittäväksi, ja muut suunnittelivat käyttävänsä myös ulkopuolista maa-asemaa. Kolme vastaajista suunnitteli käyttävänsä vain ulkopuolista maa-asemaa toiminnoissaan.

## 2.2.2 Teema: Tekniset vaatimukset ja tarpeet

### 2.2.2.1 Satelliitti

Kyselyn vastausten perusteella suunniteltujen satelliittien ratakorkeudet olivat 550–700 km korkeudessa polaariradalla, joista osa sen erityisellä aurinkosynkronisella radalla. Tiedossa olleiden polaarirataisten satelliittien inkliinaatiot olivat välillä 88–100 astetta. Yksi vastaaja ilmoitti suunnitelmasta käyttää geostationaarista rataa piensatelliitilleen, mutta tälle ei ollut määritelty tarkempaa sijaintia.

Piensatelliitin ja maa-aseman väliseen kommunikointiin käytetyistä tai suunnitelluista taajuuskaistoista S-kaista, UHF-kaista ja X-kaista olivat käytetyimmät (Kuva 4). Eri taajuuskaistojen käyttötarkoitukset on tarkasti määritetty Kansainvälisen televiestintäliitto ITU:n (International Telecommunication Union) radio-ohjesäännössä (ITU 2020). Taulukkoon 3 on listattu yleisesti polaarirataisten satelliittien käyttämät taajuuskaistat sekä niiden käyttötarkoitukset. Kuitenkin kansallisilla määräyksillä on mahdollista muuttaa taajuuksien käyttötarkoitusta. Esimerkiksi voimassa olevan radiotaajuusmääräyksen (Traficom 2019a) mukaan ITU:n määrittelemältä S-kaistan satelliittikommunikaation varatulalta lähetystaajuusalueelta on allkoitu 2025–2070 MHz välinen alue kansallisesti sotilaskäyttöön, mikä kaventaa merkittävästi taajuuskaistan alkuperäistä käyttötarkoitusta.



Kuva 4. Satelliitin ja maa-aseman väliseen kommunikaation suunnitellut taajuuskaistat. Osan taajuusalueiden osalta on erotettu lähetyksen (uplink) ja vastaanotto (downlink) erikseen.

Käytetyistä tai suunnitelluista polarisaatioista RHCP (Right Hand Circular Polarization) eli oikeakätinen ympyräpolarisaatio oli käytetyin datan vastaanotossa eli kommunikaatiossa satelliitista maa-asemalle. Vasenkätistä ympyräpolarisaatiota eli LHCP:tä (Left Hand Circular Polarization) käytettiin joissain tapauksissa lähetystoimintaan eli kommunikaatioon maa-asemalta satelliittiin. Noin puolella vastaajista modulaatio oli tiedossa. Yleisimmät suunnitellut tai käytössä olevat modulaatiot olivat GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying) ja GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Lisäksi muitakin modulaatioita kuten QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) ja 8PSK (8 Phase Shift Keying) mainittiin, joita käytetään useasti, kun vaaditaan suurempia datanopeuksia.

Piensatelliittien datanopeudet satelliitista maa-asemalle olivat toteutuksesta ja laitteistosta riippuen 9.6 kbps–500 Mbps välillä, keskimäärin tarpeen ollessa alle 100 Mbps. Siirrettävän datan määrä yhden maa-asemakontaktin aikana oli verrannollinen vaadittuun datanopeuteen ollen pienimmillään alle 1 MB ja suurimmillaan noin 35 GB. Datan siirto varmennetaan virheenkorjauksella ja luottamuksellisuutta vaativissa tapauksissa käytetään lisäksi salausta. Käytettyjä virheenkorjauskoodeja olivat muun muassa Reed-Solomon, Trellis Coded Modulation (TCM), Forward Error Coding (FEC) ja Convolutional Codes (CC).

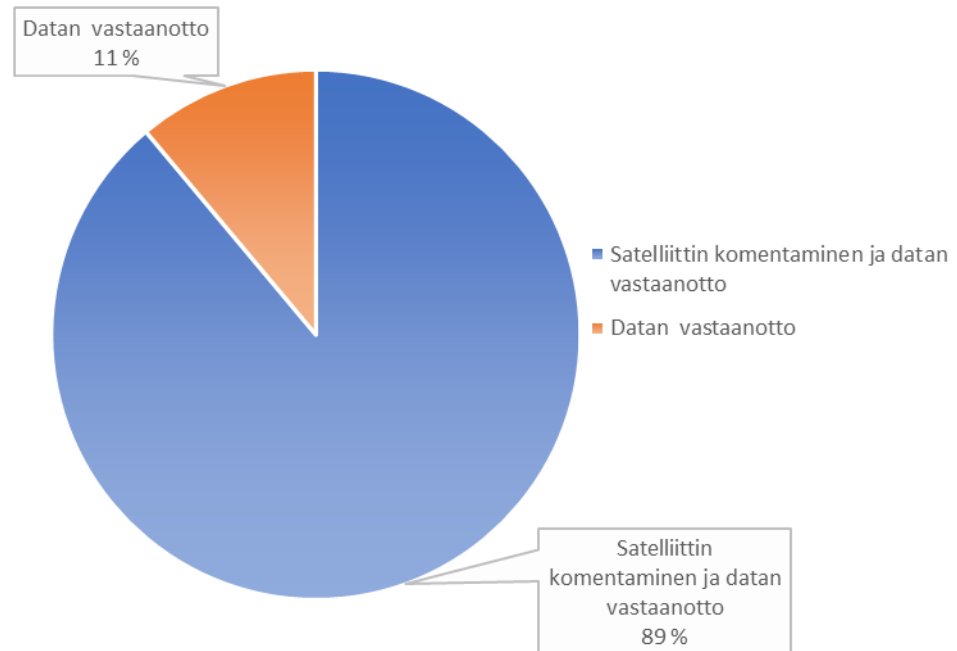
Kaikkien vastaajien piensatelliitit lähettivät tai oli suunniteltu lähettävän dataa maa-asemalle päivittäin ja monessa vastauksessa vielä tarkennettuna useasti. Mittaukset ja kuvantamiset tapahtuisivat pääosin kuvaussuunnitelman mukaisesti ja joissain tapauksissa jatkuvana mittauksena. Mittausdata lähetetään pääosin maa-asemakontaktisuunnitelman mukaisesti ja kahdessa tapauksessa käytetään ohjattua lähetystä. Maa-aseman komentolinkeä arvioitiin käytettävän puolella kyselyn vastauksista useasti päivässä ja lopuissa vähintään viikoittain. Puolet vastaajista oli suunnitellut piensatelliittinsa toiminta-ajaksi yli kaksi vuotta ja puolet 1–2 vuotta.

Taulukko 3. Kansainvälisen televiestintäliitto ITU:n radio-ohjesäännöstä koostettu taulukko eri taajuusalueiden käytöstä satelliitin ja maa-aseman välisessä kommunikoinnissa. Earth-to-space tarkoittaa maa-aseman lähetettä satelliittiin (uplink) ja space-to-Earth satelliitin maa-asemalle lähettämää signaalia (downlink).

Frequency	Allocation
144–146 MHz	AMATEUR AMATEUR-SATELLITE
49.9–150.05 MHz	MOBILE-SATELLITE (Earth-to-space)
399.9–400.5 MHz	MOBILE-SATELLITE (Earth-to-space)
432–438 MHz	RADIOLOCATION Amateur Earth exploration-satellite (active)
1 690–1 700 MHz	METEOROLOGICAL-SATELLITE (space-to-Earth)
1 700–1 710 MHz	METEOROLOGICAL-SATELLITE (space-to-Earth)
2 025–2 110 MHz	SPACE OPERATION (Earth-to-space) (space-to-space) EARTH EXPLORATION-SATELLITE (Earth-to-space) (space-to-space)
2 110–2 120 MHz	SPACE RESEARCH (deep space) (Earth-to-space)
2 200–2 290 MHz	SPACE OPERATION (space-to-Earth) (space-to-space) EARTH EXPLORATION-SATELLITE (space-to-Earth) (space-to-space) SPACE RESEARCH (space-to-Earth) (space-to-space)
2 290–2 300 MHz	SPACE RESEARCH (deep space) (space-to-Earth)
2 300–2 450 MHz	RADIOLOCATION Amateur
7 450–7 550 MHz	METEOROLOGICAL-SATELLITE (space-to-Earth)
7 550–7 750 MHz	FIXED-SATELLITE (space-to-Earth)
7 750–7 900 MHz	METEOROLOGICAL-SATELLITE (space-to-Earth)
7 900–8 025 MHz	FIXED-SATELLITE (Earth-to-space)
8 025–8 175 MHz	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (space-to-Earth) FIXED-SATELLITE (Earth-to-space)
8 175–8 215 MHz	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (space-to-Earth) METEOROLOGICAL-SATELLITE (Earth-to-space)
8 215–8 400 MHz	EARTH EXPLORATION-SATELLITE (space-to-Earth) FIXED-SATELLITE (Earth-to-space)
10,45–10,50 GHz	RADIOLOCATION Amateur-satellite

### 2.2.2.2 Maa-asema

Suunniteltujen ja toivottujen maa-asemien sijainneissa oli hajontaa. Puolet vastaajista toivoi maa-asemalta pohjoista sijaintia, kuten Sodankylää. Muutamassa tapauksessa Etelä-Suomi olisi optimaalinen paikka, mikä mahdollistaa reilusti alle tai yli 90 asteen inkliinaatiokulmassa maata kiertävien satelliittien vastaanottamisen korkeita leveysasteita tehokkaammin. Vastauksissa oli myös havaittavissa käytettävyyteen ja fyysiseen saavutettavuuteen perustuvaa sijaintitoivetta eli maa-asema samassa paikassa kuin vastaajan toiminnat. Yhdellä toimijalla oli tarve maailmanlaajuiseen maa-asemaverkostoon, jossa maa-asemia olisi tasaisin välein. Tällöin reagointi-aika mittaus- ja kuvaussuunnitelman muutoksiin on pieni, kun satelliitin komentaminen voidaan tehdä nopeasti ilman merkittävää viivettä. Käyttötarkoituksena maa-asemalle nähtiin pääsääntöisesti sekä piensatelliittien komentaminen että datan vastaanotto (Kuva 5). Maa-aseman vapaan horisontin eli esteettömän signaalipolun maa-aseman ja satelliitin välillä toivottiin olevan 5 astetta, joskin tätä pienemmät korkeuskulmat olivat myös mahdollisia satelliitin osalta, mikäli maa-aseman tekniset vaatimukset toteutuisivat.



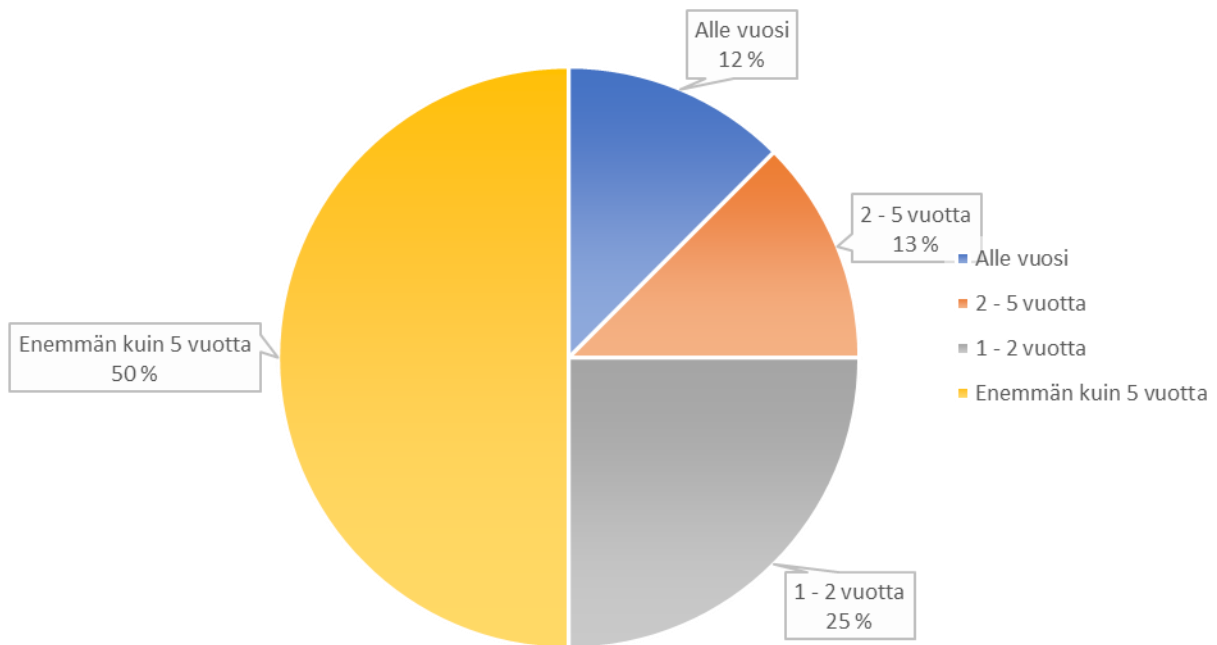
Kuva 5. Maa-aseman käyttötarkoitus satelliittikommunikaatiossa.

Vain muutamalla käyttäjällä maa-aseman tekniset vaatimukset olivat tarkasti tiedossa, ja näissäkin tapauksissa kyse oli korkeammista taajuuksista kuten S- ja X-kaistoista. Teknisiltä ominaisuuksiltaan maa-aseman vastaanottojärjestelmän tulisi S-kaistalla saavuttaa minimissään 12–15 dB/K tehokohinasuhde (engl. gain-to-noise-temperature, G/T) ja X-kaistalla 29 dB/K. S-kaistan lähetystehovaatimus oli vähintään 50 dBW:n efektiivinen säteilyteho (engl. Effective radiated power, EIRP). Maa-aseman saatavuusvaatimus oli vahvistettujen kontaktien osalta 99,5 % ja muuten aseman pitäisi olla saatavilla vähintään puolet ajasta. Mikäli maa-asemaa operoisi ulkopuolinen taho eli joku muu kuin satelliitin operaattori, reagointiaikavaatimus datan vastaanotto- ja komentopyyntöihin vaihteli sekunneista aina viikkoon toiminnan luonteesta riippuen. Useassa vastauksessa nostettiin myös esille tarve nopeaan reagointiin hätätilanteissa.

Piensatelliitista vastaanotettu data haluttiin siirtää maa-asemalta vastaajalle raakadatana tai vain vähän prosessoituna, vaikkakin kiinnostusta oli myös NSDC:n tarjoamalle datan prosessointi- ja arkistointimahdollisuuksille. Raakadatan lähetystä varten tarvittava siirtonopeus vaihteli vastaajien kesken suurimman vaatimuksen ollessa vähintään 500 Mbps mutta yleisimmin tarve oli pieni. Maanpäällisten siirtoyhteyksien ollessa nykyään nopeita, tiedonsiirron pullonkaulan oletettiin jatkossakin olevan linkki satelliitin ja maa-aseman välillä.

### 2.2.3 Teema: Resurssit

Suurimmalla osalla kyselyyn vastanneista oli kokemusta ja osaamista piensatelliitin ja maa-aseman välisestä kommunikoinnista. Piensatelliittien rakentamiskokemusta oli kaikilla vastaajilla. Neljällä vastaajalla oli kokemusta yli viisi vuotta, kolmella 2–5 vuotta ja lopuilla tätä vähemmän. Vastaukset kokemukseen maa-aseman rakentamisesta (Kuva 6) olivat lähes identtiset satelliitin rakentamiskokemuksen kanssa. Suurimpana erona oli, että vähän piensatelliitin rakentamiskokemusta omaavilla oli vähemmän tai ei ollenkaan kokemusta maa-aseman rakentamisesta.



Kuva 6. Vastaajien kokemus maa-asemien rakentamisesta.

Lähes jokaiselta käyttäjäkyselyyn vastanneelta löytyi piensatelliittien rakentamiseen vaadittavat tilat tai niitä oltiin lähiaikoina rakentamassa. Piensatelliitin rakentamiseen vaadittavien puhdistilojen lisäksi osalla vastaajista oli myös erilaisia laboratorioita ja radiolaitteistoa satelliitin testaamiseen. Vastaajien arvion mukaan diplomi-insinöörin tai insinöörin koulutus olisi hyvä lähtökohta piensatelliitin ja maa-aseman rakentamiseen. Lisäksi pitkä elektroniikka- ja ohjelmistokokemus nähtiin onnistumisen kannalta tärkeinä ja varsinkin harrastuneisuus näihin nostettiin tärkeänä osana koulutuksen rinnalle. Vastausten perusteella toiminnallisuuksien saattaminen vaaditulle tasolle vaatii poikkitieteellistä osaamista toteuttajataholta, mutta esimerkiksi yksinkertainen piensatelliitti pystytään toteuttamaan hyvällä elektroniikka- ja ohjelmistotaustalla hyödyntäen valmiita komponentteja. Itse toteutetut kokonaisuudet puolestaan vaativat paljon enemmän ja laaja-alaisempaa tietämystä avaruusteknologiasta ja siihen liittyvistä ratkaisuista.

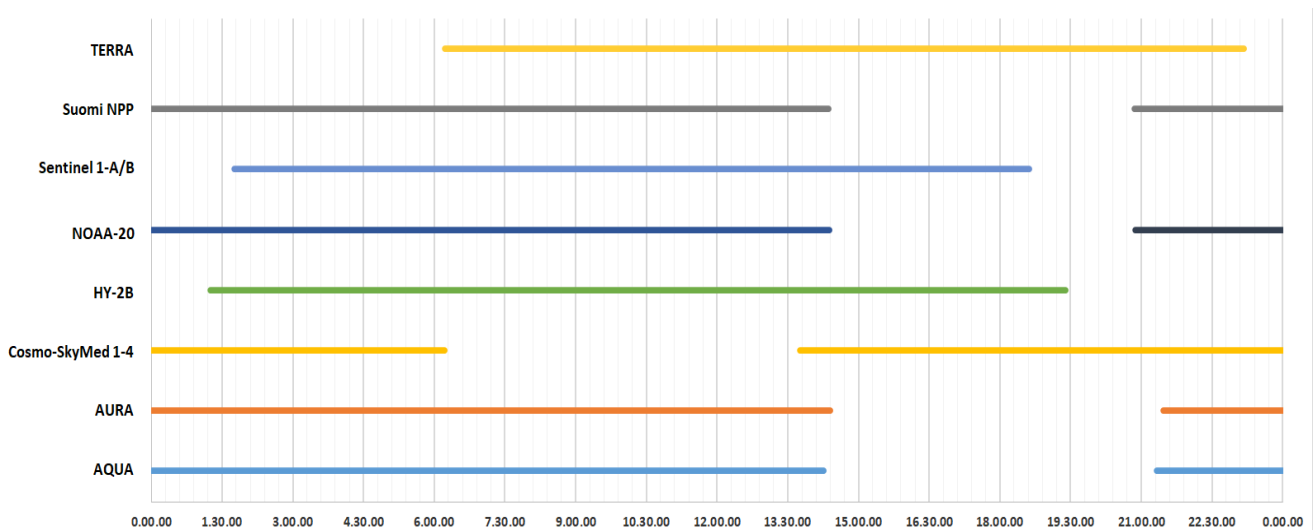
#### 2.2.4 Teema: Yhteistyö NSDC:n kanssa

Kahdeksan kyselyyn vastannutta toimijaa ilmoitti olevansa kiinnostuneista tai erittäin kiinnostuneista NSDC:n tarjoamista maa-asemapalveluista tai yhteistyöstä. Yksi vastaajista ilmoitti mahdollisesta kiinnostuksesta, mikäli se olisi taloudellisesti toteutettavissa ja maa-asematoiminta vaatisi jatkuvaa ylläpitoa ja operointia. Vastauksissa nostettiin esiin myös tarve tukea toimijoiden kaupallisia palveluita. NSDC:n mahdollisen piensatelliittimaa-aseman kehitysohjelmaan ja määrittelyyn tuli kaikilta vastaajilta positiivinen vastaus, ja lisäksi erilaisia konkreettisia yhteistyöehdotuksia saatiin ohjelmistoratkaisuista, teknologioista ja testauksesta.

### 3 Investointi-, teknologia- ja resurssitarpeet

Tällä hetkellä NSDC operoi kolmea satelliitivastaanottojärjestelmää seuraten vuorokaudessa yhteensä noin 70 satelliitin ylilentoa. Jos oletetaan, että yhden satelliitin ylilento kestää 15 minuuttia saadaan käyttöasteeksi kolmelle vastaanottoantennille noin 24 % vuorokaudessa. Tämä arvio on hyvin karkea ja puhtaasti laskennallinen mutta kertoo, että antennit eivät ole jatkuvassa käytössä. Todellisuudessa kolmella vastaanottojärjestelmällä NSDC:llä on päivittäin konflikteja eri satelliittien välillä, sillä tietyt satelliittien radat ovat suosituimpia kuin toiset. Erityisesti niin sanonut noon-midnight- ja dawn-dusk-radat ovat sekä mittausten ajallisen toistuvuuden että satelliitin energiabudjetin takia laajasti käytössä.

NSDC:n antennien käyttö ei ole päivän aikana tasaisesti jakautunut ja tiettyinä aikoina päivässä konfliktien määrä satelliittien kesken on huomattavasti suurempi kuin toisina hetkinä (Kuva 7). Pahimmassa tapauksessa Kuvan 7 mukaan kahdeksan satelliitin ylilentoa voi olla päällekkäin, jolloin näistä pitää valita kolme, joista vastaanotetaan dataa.



Kuva 7. NSDC:n vastaanottamien satelliittien mahdolliset maa-asemakontaktiajat Sodankylässä vuorokauden aikana. Todelliset ylilentoajat vaihtelevat päivittäin mutta tapahtuvat aina kuvassa esitetyn aikajanan sisällä, minkä alkukohta on ensimmäinen mahdollinen ylilentoaika ja loppukohta viimeinen mahdollinen. Kuvassa esitetyt ajat ovat UTC-aikaa.

Käyttäjäkyselyn vastausten perusteella esiin nousseet tarpeet on käsitelty kolmena eri aihealueena kappaleissa 3.1–3.3. Kyselyn vastausten lisäksi tarvemäärittelyn pohjana sekä toteutustapojen ja -vaihtoehtojen selvittämisessä on hyödynnetty NSDC:n 15 vuoden kokemusta maa-asematoiminnasta ottanen huomioon toiminnan nykytilan, olemassa olevat teknologiat, infrastruktuurin ja työvoiman sekä hyödyntämällä laajaa kumppanuusverkostoa.

#### 3.1 Investoinnit ja niiden kustannusarvio

Käyttäjäkyselyn perusteella usealla vastaajalla oli oma satelliittimaa-asema mutta suurimmalla osalla oli myös halu ja tarve käyttää ulkopuolisen tahon maa-asemaa. Kaksi maa-asematyyppiä nousi selvimmin esiin käyttäjien tarpeissa. Tutkimus- ja demonstraatiokäytössä oli suunniteltu käytettävän radioamatööritaajuuksia UHF- VHF- ja S-kaistalla. Operatiivisessa ja kaupallisessa toiminnassa oli tarve käyttää korkeampia taajuuksia eli S- ja X-kaistoja, joiden käyttöön ohjaavat myös säädöksen ja määräykset. Traficom radioamatöörimääräyksen (Traficom 2019b) mukaan radioamatööritaajuuksien käyttö edellyttää

luvanhaltijalta pätevyystodistuksen radiolähettimen käyttöön radioamatööriviestintään tai vastaavan pätevyystodistuksen radioamatööriaseaman valvojalta.

Kahden tunnistetun maa-asematyyppin perusteella selvitettiin piensatelliittimaa-aseman investointikustannuksia tekemällä tietopyyntöjä suoraan tunnetuille antennivalmistajille ja tutustumalla heidän Internet-sivuillaan esiteltyihin vaihtoehtoihin. Lisäksi kustannusarvioissa hyödynnettiin NSDC:n aikaisemmista projekteista keräämään tietoa ja saatuja hinta-arvioita. Investointien kustannusarvioissa ei ole otettu huomioon operointi- ja ylläpitokuluja, joilla on merkittävä osuus antennijärjestelmien elinkaarikustannuksissa. Tietopyyntöjen ja toteutuneiden hankintojen perusteella antennijärjestelmän vuosittaiset huolto- ja ylläpitokulut antennivalmistajan tuottamana palveluna ovat vähintään 6–9 % järjestelmän hankintahinnasta. Operointikulut riippuvat maa-aseman toiminnan luonteesta sekä saatavuus- ja laatuvaatimuksista. Minuuttien vasteaikavaatimus maa-asemalle vaatii henkilökunnan jatkuvaa läsnäoloa tarkoittaen työskentelyä vuorokauden ympäri jokaisena päivänä vuodessa, jolloin henkilöstökustannukset ovat merkittävästi suuremmat verrattuna esimerkiksi vain virka-aikaan tapahtuvaan työskentelyyn.

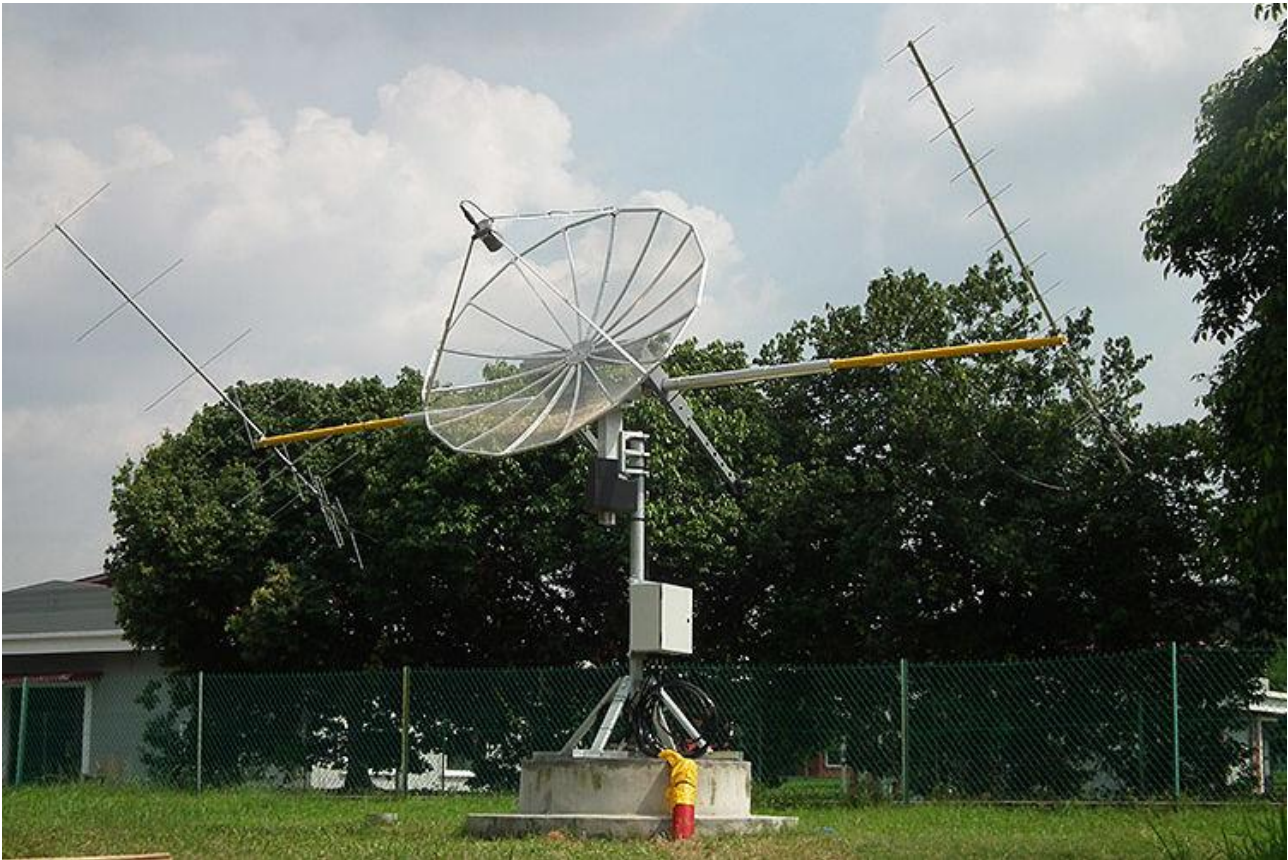
Tunnetuilla isoilla kansainvälisillä antennivalmistajilla ei ollut ratkaisuja UHF/VHF-alueen piensatelliittivastaanottoon ja tietopyynnöissä he kertoivat, etteivät nähneet potentiaalisia markkinoita kyseisellä taajuuskaistalla, jota pääsääntöisesti käytetään demonstraatio- ja amatööritarkoituksessa eikä kaupallisesti. Sen sijaan ratkaisuna piensatelliittitoimintaan tarjottiin yhdistettyjä S- ja X-kaistan lautasantennijärjestelmiä alkaen 3,5 m halkaisijan lautasantenneista. Näissä järjestelmissä S-kaistaa käytetään satelliitin komentamiseen ja telemetriatiedon vastaanottamiseen ja X-kaistaa datan vastaanottamiseen. S/X-kaistan vastaanottojärjestelmiä on saatavilla usealta eri toimittajalta avaimet käteen asennuksena, joiden hintaluokat lähtevät noin 500 000 eurosta ja käytännössä hankintahinnat kasvavat rajattomasti riippuen lautasantennin halkaisijasta, järjestelmään sisällytettävistä oheislaitteista (esimerkiksi demodulaattori, datanprosessointi, kytkinmatriisi) sekä halutusta toimintavarmuudesta ja redundanttisuudesta. 3,5 m kokoluokan antennin perustuksille, maanrakennustöille, kaapeloinnille ja muulle tuki-infrastruktuurille pitää lisäksi vielä varata vähintään 100 000 € riippuen antennin lopullisesta sijoituspaikasta ja -korkeudesta. Hinta-arvioissa ei ole otettu huomioon laitetiloja, mutta sellaiset löytyvät jo valmiina NSDC:lta. Yksinkertaisimmillaan laitetila voi olla pieni, tarkoitukseen suunniteltu kaappi, kun puolestaan operatiivinen ja luotettava toiminta vaatii kahdennetuilla palvelin- ja talotekniikkalaitteistoilla varustetun konesalin sekä turvatun sähkösyötön esimerkiksi varavoimakoneella toteutettuna.

UHF- ja VHF-alueen antennijärjestelmissä käytetään suuntaavia Yagi- eli tutummin harava-antenneja. Toisinaan kaksi tällaista antennia yhdistetään S-kaistan lautasantenniin, jolloin samalla antennijärjestelmällä voidaan käyttää kolmea eri taajuuskaistaa (Kuva 8). Markkinakartoituksen perusteella tällaisia valmiita kokonaisuuksia tarjoavia yrityksiä on huomattavasti vähemmän kuin esimerkiksi S/X-kaistan lautasantennijärjestelmiä tarjoavia. Puhtaasti piensatelliittitoimintaan keskittyneet yritykset voidaan luokitella kuuluvan pieniin ja keskisuuriin yrityksiin ja monet niistä ovat spin-off-yrityksiä aikaisemmista yliopistosatelliittihankkeista. UHF- ja VHF-kaistan satelliittitoiminta liittyy vahvasti ei kaupallisiin tarkoituksiin, jolloin monessa tapauksessa käyttäjä rakentaa itse tarvitsemansa antennikonaisuuden eri lähteistä hankituista komponenteista.

Itse rakennettujen järjestelmien osalta komponenttien ja ostettavien ohjelmistojen hinnat saadaan tarkastikin selvitettyä, mutta tällaisen järjestelmän suunnitteluun, rakentamiseen, ohjelmoimiseen ja testaamiseen käytettyä työaika ja sitä kautta henkilökustannuksia on hankala arvioida tarkasti. Suomessa aikaisemmin toteutetuista maa-asemista olisi saatavilla käytettyjä tai arvioituja työmääriä, mutta näiden, pääsääntöisesti opiskelijavetoisten maa-asemarakennusprojektien työmäärien peilaaminen yrityksen tai viraston henkilökustannuksiin ei ole yksinkertaista vaan korkeintaan suuntaa antavaa varsinkin



ensimmäisen itse rakennettavan maa-aseman osalta. Ensimmäisen oman maa-aseman rakentamisen jälkeen kustannusten arvioiminen on paljon helpompaa ja tarkempaa seuraavan maa-aseman osalta, koska siinä voidaan hyödyntää yritys- tai virastokohtaista tietoa.



*Kuva 8. Esimerkkikuva antennijärjestelmästä, jossa lautasantennin molemmille sivuille on kiinnitetty Yagi-antenni.*

Markkinakartoituksen perusteella avaimet käteen -ratkaisut UHF/VHF/S-kaistan järjestelmissä ovat hinnaltaan kertaluokkaa pienemmät kuin S/X-kaistan lautasantenniratkaisut. Tämä selittyy järjestelmien teknisillä ratkaisuilla ja muun muassa tarvittavan S-kaistan amatööritaajuuksien vaatiman lautasantennin koolla, johon riittää noin 2 metrin halkaisijalla oleva lautasantenni. Pienemmän lautasan liikuttamiseen riittää pienempi koneisto, jolloin myös kustannukset ovat pienemmät. Antennin halkaisijan koon kasvaessa järjestelmän hinta ei nouse lineaarisesti vaan eksponentiaalisesti, minkä selittää isompien järjestelmien vaatimat tehokkaammat, ja yleensä myös monimutkaisemmat laitteistot ja koneistot.

Tietopyynnöillä ja julkisista lähteistä saatujen tietojen perusteella antennijärjestelmien hinnat, jotka sisältävät kaksi Yagi-antennia ja 2 metrin lautasantennin, lähtevät noin 100 000 eurosta. Halvimpaan järjestelmään sisältyy pelkkä antennikonaisuus asennettuna ja toimitettuna, mutta muun muassa maatyöt, kaapelointi, perustukset ja sääsuojaus voivat jopa kaksinkertaistaa antennijärjestelmän kokonaishankintahinnan. Etenkin sääsuojan eli radomin hinta on merkittävä, jos sellaista on olosuhteiden vuoksi käytettävä. Radomien hinnat alkavat useista kymmenistä tuhansista euroista ja hinnat kasvavat koon ja materiaalin mukaan. Sodankylässä tuuliolosuhteet eivät vaadi radomin käyttöä, mutta lumi ja ennen kaikkea alhaiset lämpötilat voivat tehdä radomista pakollisen, jotta antennijärjestelmän käyttölämpötilavaatimukset toteutuvat.

Kokonaiskustannusarvio avaimet käteen -tyyppiselle UHF/VHF/S-kaistan satelliittivastaanottojärjestelmälle on noin 200 000 € ilman henkilötyökuluja. Vastaavista järjestelmistä ei kuitenkaan ollut saatavilla referenssejä niiden toiminnasta Sodankylän kaltaisista sääolosuhteista. Joten toimintavarmuuden takaaminen pitää ottaa huomioon jo suunnittelussa. Ääriolosuhteiden huomioon ottaminen jo suunnitteluvaiheessa voi kasvattaa kustannuksia, mutta etukäteen huomioon otettuna kustannusten kasvu on huomattavasti pienempi kuin asennetun järjestelmän korjaaminen ja jälkikäteen muokkaaminen olosuhteisiin sopivaksi.

### 3.2 Ohjelmistot, teknologiat ja rajapinnat

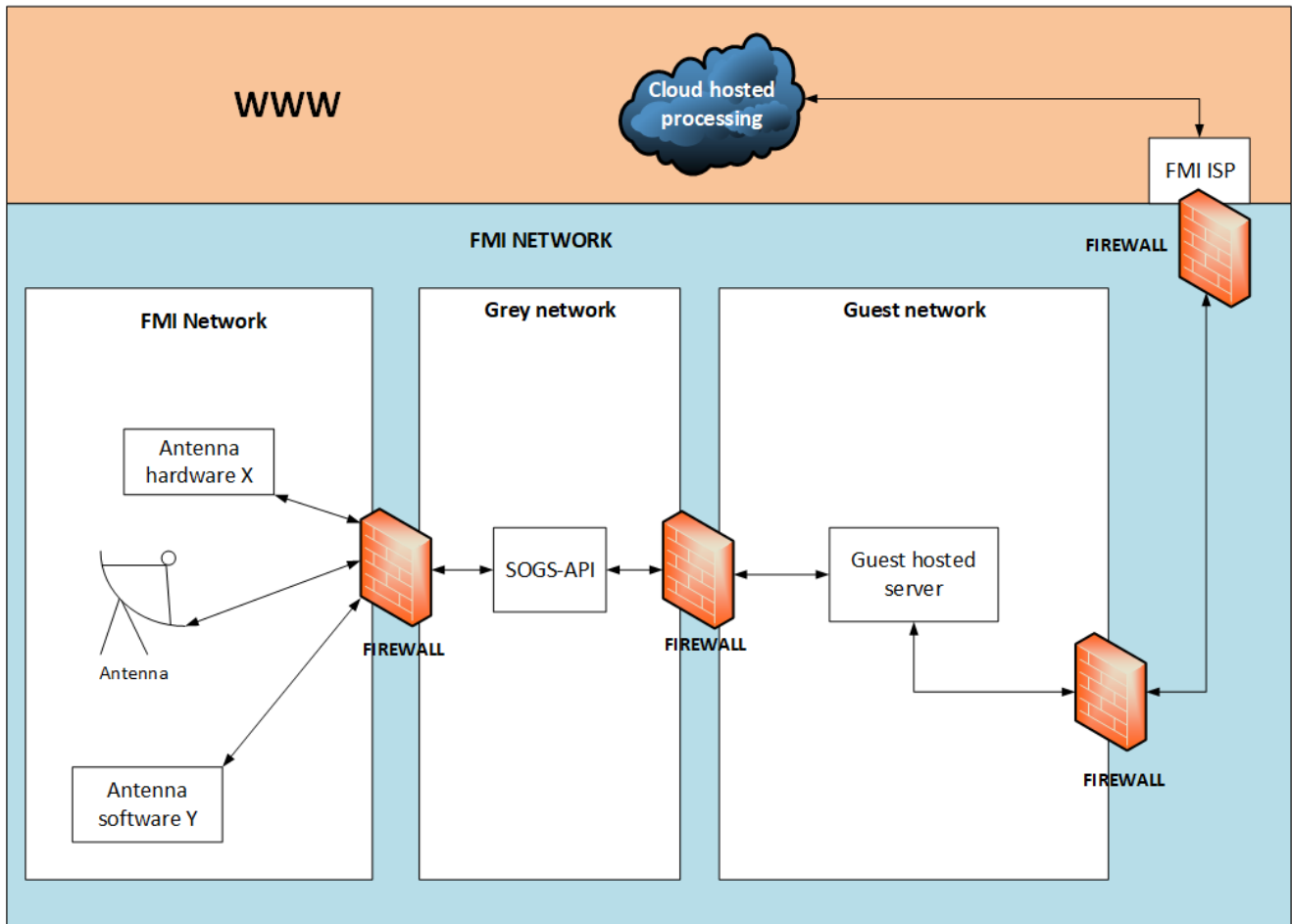
Lähes kaikki käyttäjäkyselyyn vastanneet kertoivat maa-aseman käyttötarkoitukseen satelliitin komentamisen ja datan vastaanottamisen. Jos maa-asema ei ole satelliitin operoijan omistama, tämä tarkoittaa kahdensuuntaista tietojenvaihtoa maa-aseman ja satelliittia operoivan tahon kanssa, jotta halutut komennot voidaan lähettää satelliitille ja vastavuoroisesti satelliitin lähettämä mittaus- ja telemetriadata voidaan toimittaa satelliitin operoijalle. Miten tietojenvaihto toteutetaan, riippuu maa-aseman palvelukonseptista ja maa-aseman omistussuhteista.

Mikäli maa-asema rakennetaan ja ohjelmoidaan omana työnä, pitää ohjelmiston kehittäjälle tai siitä vastaavalle taholle antaa suora pääsy maa-aseman hallintaan. Tällä hetkellä NSDC:llä ei ole henkilöresursseja oman maa-aseman rakentamiseen ja tämä vaihtoehto tulee kyseeseen vain yhteistyön kautta. Tekniset edellytykset maa-aseman hallinnan mahdollistamiseksi NSDC:n ulkopuoliselle taholle ovat jo olemassa ja pääsy voidaan toteuttaa sallimalla tarvittavat protokollat tunnetuista lähdeosoitteista rajatulle verkkoalueelle. Vastaava lähestymistapa on jo käytössä NSDC:n tarjoamissa pilvityyppisissä palveluissa, joissa ulkopuoliset tahot hyödyntävät keskuksen prosessointikapasiteettia ja satelliittidata-arkistoa.

Vaihtoehtoinen, joskin paljon rajallisempi lähestymistapa ulkopuolisen tahon maa-aseman hallintaan on järjestää yhteysmahdollisuus fyysisesti joltakin päätteeltä. Tämä kuitenkin tarkoittaa paikkaan sidottua järjestelmää ja rajoittaa hallintamahdollisuuksia eikä vastaa nykypäivän mukaisia toteutustapoja. Tällainen järjestely voi tulla kyseeseen turvallisuuskriittisessä toiminnassa, jossa etäyhteyttä ei haluta sallia ja maa-asemajärjestelmä on kokonaan erotettu normaalista verkkoliikenteestä.

Avaimet käteen -tyyppisessä maa-asemaratkaisussa ohjelmistot on yleensä varustettu ohjelmistorajapinnoilla, joista käytetään nimitystä API (Application Programming Interface). API:t mahdollistavat komentoriviltä tehtävät pyynnöt ja komentamiset maa-asemajärjestelmään ja sitä kautta esimerkiksi järjestelmän automatisointiasteen lisäämisen sekä valvonta- ja hälytysjärjestelmien rakentamisen. API:en kautta myös ulkopuolisten tahojen on mahdollista joko suoraan tai välillisesti kommunikoida maa-aseman kanssa, jolloin maa-aseman hallinta pysyy NSDC:llä mutta satelliitin operoijalla on mahdollisuus kommunikoida satelliittinsa kanssa kuin maa-asema olisi heidän omansa.

NSDC hyödyntää jo tällä hetkellä API-ratkaisuun perustuvaa palvelua, jolla ulkopuolisen tahon on mahdollista lähettää pyyntöjä vastaanotettavista ylilennoista, saada kyseisten ylilentojen aikana tietoja muun muassa antennin suunnasta ja signaalitasoista sekä tallentaa dataa suoraan vastaanotetusta signaalista prosessoitavaksi omissa järjestelmissään. Olemassa oleva, SOGS-API-niminen (Sodankylä Ground Station API) rajapintaratkaisu mahdollistaa jo nyt useamman eri tahon hyödyntää NSDC:n antennikapasiteettia, sekä nykyistä että tulevaa, ja kommunikoida välillisesti antennijärjestelmien kanssa. SOGS-API toimii rajapintana ulkopuolisen tahon ja antennijärjestelmien API:en välillä tarjoten vain välttämättömät toiminnot ulkopuoliselle käyttäjälle. Viime vuosina vastaavia palveluita on syntynyt useita, mutta erona olemassa oleviin palveluihin SOGS-API on suunniteltu räätälöitäväksi eri käyttäjien tarpeisiin.



Kuva 9. Havainnekuva SOGS-API:n toiminnasta. Ulkopuolisen käyttäjän on mahdollista lähettää ennalta määriteltyjä komentoja ja pyyntöjä SOGS-API:lle, joka toimii rajapintana eri antennijärjestelmien ja käyttäjän välillä. Käyttäjälle voidaan myös sallia pääsy Ilmatieteen laitoksen (FMI, Finnish Meteorological Institute) verkkoon sijoitetulle palvelimelle (Guest hosted server), jossa käyttäjä voi esimerkiksi prosessoida dataa ja siirtää vain lopputuotteet itselleen.

API-tyyppisiä rajapintaratkaisuja piensatelliittien maa-asemapalveluina tarjoaa tällä hetkellä useampikin kaupallinen toimija kuten KSAT (<https://www.ksat.no/ground-network-services/ksatlite/>), ATLAS Space Operations (<https://atlasground.com/freedom-network-services/>), RBC Signals (<https://rbcsignals.com/customers/commercial-leo/>). Monella näistä toimijoista on globaali maa-asemaverkosto, mikä nopeuttaa yhteyden saamista satelliittiin. Toisaalta globaalin antenniverkon ylläpito kustantaa enemmän kuin yksittäisen maa-aseman, mikä voi näkyä palvelun hinnoittelussa.

### 3.3 Työvoima ja osaamistaso

Työvoiman ja ennen kaikkea osaamistason tarvetta arvioitiin käyttäjäkyselyn vastausten perusteella. Eri työtehtävien ja osaamisprofiilien työmääriä satelliittimaa-aseman hankinnassa, rakentamisessa ja operoinnissa arvioitiin perustuen NSDC:n kolmesta, vuosina 2010, 2017 ja 2021 käyttöön otetuista tai otettavista antennijärjestelmistä saatuihin kokemuksiin sekä toteutuneisiin työmääriin. Arvioituja työmääriä on skaalattu piensatelliittimaa-aseman kokoluokkaan silloin, kun sille on nähty tarvetta. Esimerkiksi rakennusteknisesti työmäärään vaikuttaa järjestelmän fyysinen koko, mutta järjestelmän vaatimusmäärittelyyn tarvittava työmäärä on lähes sama järjestelmästä riippumatta.

Käyttäjäkyselyn vastauksissa piensatelliittitoiminnassa korostuivat elektroniikka- ja ohjelmisto-osaaminen ja vain muutama käyttäjä vastasi lisäksi tarpeen ymmärtää myös esimerkiksi ilmakehän fysikaalisia ilmiöitä, jotka liittyvät satelliitin mittausten hyödyntämiseen. Kiinnostus ja harrastuneisuus piensatelliittitoimintaan nostettiin merkittävänä esiin, minkä voidaan tulkita tarkoittavan sekä sitoutumista että omatoimista itsensä kehittämistä ja kouluttamista. Maa-asematoiminnan osalta radioviestintätekniikan tunteminen tai koulutus nähtiin tarpeelliseksi.

Maa-asemahankinnassa vaatimusten määrittelyllä on suuri merkitys. Vaatimustenmäärittelyyn on syytä varata tarpeeksi aikaa ja osaamista niin tekniseltä kuin toiminnalliselta kannalta. Puutteellisista tai väärin tehdyistä määrityksistä johtuvia hankintoja voi olla hankala tai mahdotonta korjata jälkikäteen. Hankinnan mahdollinen kilpailutusprosessi, oli sitten kyseessä kokonainen antennijärjestelmä tai sen osakomponentti, on aikaa vievää ja vaatii hankintalain tai hankintasäädösten tuntemista. Tämän lisäksi valittujen toimittajien kanssa tehdään yleensä sopimus, mikä myös osaltaan vaatii asiantuntemusta juridiikasta. Maa-aseman rakentamisvaiheessa tarvitaan lisäksi rakennusteknistä osaamista sekä, riippuen antennin koosta ja sen kiinnitysratkaisuista, mahdollisesti myös tuntemusta rakennuslupaprosessista. Esimerkiksi rakennuttajakonsultille on kuitenkin mahdollista ulkoistaa rakennustekniset asiat, sillä ne eivät vaadi erityistä tuntemusta satelliiteista tai maa-asemista.

Mikäli maa-asema hankitaan avaimet käteen -ratkaisuna, eri järjestelmien yhteen toimivuuteen ei tarvitse varata työvoimaa, vaan tällöin tämä tulee ostopalveluna sisältyen toimituksen hintaan. Mikäli maa-asemajärjestelmä rakennetaan itse, tarvittavan työvoiman määrä ja osaamistaso riippuu käytettävien komponenttien, osien ja järjestelmien valmiusasteesta. Itse rakennetun maa-aseman työmäärän ja vaadittavan osaamistaustan vaihteluväli on laaja, riippuen rakennetaanko kaikki itse komponenttitasolta lähtien vai käytetäänkö valmiita osakokonaisuuksia, jotka saatetaan toimimaan keskenään. Esimerkiksi vastaanottoantenni voidaan toteuttaa hankkimalla erikseen muun muassa moottorit, peili, syöttötorvi, kaapelit ja ohjelmoida ne toimimaan yhdessä halutulla tavalla tai hankkimalla tämän osakokonaisuuden valmiina pakettina, joka sitten integroidaan muihin järjestelmiin kuten demodulaattoreihin, lähettäjiin ja antennin aikataulujärjestelmään.

Maa-aseman rutiinioperointi ja valvonta voidaan hoitaa kouluttamalla tehtävään perustietotekniset taidot omaava henkilö sekä luomalla selkeät ohjeet, joista löytyy kattavasti ohjeet eri vikatilanteisiin sekä säännöllisiin ylläpito- tai huoltotoimiin. Mikäli antennijärjestelmä on hankittu avaimet käteen -ratkaisuna, se sisältää yleensä toimituksen yhteydessä operointi- ja ylläpitokoulutuksen sekä ohjeistuksen tunnetuissa vikatilanteissa toimimiseen. Valmiisiin antenniratkaisuihin on yleensä myös saatavilla huolto- ja ylläpitosopimus, jonka avulla rutiinioperoinnin ulkopuolinen toiminta, kuten esimerkiksi vuosihuolto tai korjaustoimenpiteet, on ulkoistettu valmistajalle. Tällöin maa-asemalla ei tarvita niin paljon teknistä henkilökuntaa, kun toiminnassa voidaan keskittyä operointiin ja valvontaan. Ulkoistettu huolto-, ylläpito- ja tukipalvelu kuitenkin maksaa sisällöstä riippuen tuhansista euroista satoihin tuhansiin euroihin vuodessa.

Itse tehtynä maa-aseman operointiohjeiden luominen ja vaativammat vianselvitykset vaativat laajempaa ymmärrystä itse järjestelmästä sekä tuntemusta muun muassa ohjelmoinnista, elektroniikasta ja radioviestinnästä. Tähän tehtävään vaaditaan jo laajempaa koulutustaustaa kuten soveltuvan alan insinöörin tai diplomi-insinöörin tutkintoa. Itse tehdyssä ratkaisussa järjestelmä ja sen osat tunnetaan tarkemmin ja niitä voidaan vapaammin muokata kuin ostetussa kokonaisuudessa, mutta tällaisessa ratkaisussa osaavien tai rakentamisessa mukana olleiden henkilöiden siirtymisellä muihin tehtäviin on suurempi merkitys toiminnallisuuteen, sillä järjestelmätukea ei tarjoa mikään ulkopuolinen taho vaan se on riippuvainen saatavilla olevista paikallisista henkilöresursseista.



Mikäli toimintaan liittyy myös ulkopuolisia tahoja, vaaditaan kommunikaatiotaitoja, jotka korostuvat etenkin, mikäli maa-asema tuottaa maksullisia palveluita. Maa-aseman asiakassuhteet tai yhteistyö yhden tai useamman tahon kanssa vaativat myös sopimusten tekemistä, jolloin tarvitaan juridista osaamista. Markkinointi- ja myyntitaitoja puolestaan tarvitaan, mikäli maa-aseman toimintaa on kaupallistettu ja maa-asepalveluita on tarkoitus tarjota avoimesti.



## 4 Johtopäätökset ja ehdotetut toimenpiteet

UHF/VHF/S-kaistoilla toimivaan satelliittivastaanottojärjestelmään on selkeä tarve suomalaisessa piensatelliittitoiminnassa. Vaikka useammalla toimijalla on jo oma maa-asema tai sellainen suunnitteilla, lähes kaikki vastaajat ilmoittivat suunnitelmistaan käyttää ulkopuolista maa-asemaa. Tällä hetkellä NSDC ei ole tunnistanut kyseiseltä taajuusalueelta satelliitteja, joita Ilmatieteen laitos voisi hyödyntää operatiivisessa toiminnassaan kuten sääennustuksissa, talvimerenkulussa tai muussa lakisäätötoiminnassa. Pelkästään PR-syistä tai kansallisena viranomaispalveluna tuotettava UHF/VHF/S-kaistan maa-asemainvestointia ei nähdä taloudellisesti järkevänä vaihtoehtona mutta sopivan yhteistyökumppanin kanssa hankinta olisi mahdollista. Lisäksi ehto radioamatöörimääräyksen vaatimuksesta radioamatööritoimintaan pätevyyden omaavasta luvanhaltijasta tai aseman valvojasta ei toteudu tällä hetkellä NSDC:ssä.

Usealla käyttäjäkyselyyn vastanneella taholla, joilla oli piensatelliittitoimintoja suunnitteilla ja maa-asemaratkaisua ei vielä ollut lyöty lukkoon, oli kiinnostusta yhteistyöhön NSDC:n kanssa. Näiden tahojen kanssa olisi luontevaa lähteä selvittämään yhteistyön mahdollisuuksia, ja ennen kaikkea yhteisen maa-aseman hankintaa. Esimerkiksi Lappi-satelliitin teknologiaratkaisun, palvelukonseptin ja rahoituksen selvityshankkeessa (SGO, 2019) on suunniteltu Lappi-satelliittia komennettavan ja datan vastaanoton tapahtuvan NSDC:n maa-asemalta. Oletuksena selvityksessä oli, että asema on teknisesti yhteensopiva satelliitin kanssa.

Yhteisen maa-aseman hankkiminen pienentäisi investointiin tarvittavaa rahamäärää tai vaihtoehtoisesti yhteishankintana tehtävään maa-asemahankintaan olisi käytettävissä enemmän rahaa, jolloin esimerkiksi maa-aseman toimintaominaisuuksia voisi lisätä. Yhteistyön myötä piensatelliitin rakentava taho pystyisi pienentämään omia operointiin ja ylläpitoon tarvittavia resursseja hyödyntämällä NSDC:n yli 15 vuoden kokemusta maa-asematoiminnoista. Mikäli rakennettavan piensatelliitin suunnitellaan käyttävän radioamatööritaajuuksia, satelliitin operoijan on täytettävä ehdot kyseisten taajuuskaistojen käytölle. Satelliitin operoijan täyttäessä radioamatöörimääräyksen luvanhaltijan ehdot, voidaan niiden avulla mahdollistaa yhteisomisteisen maa-aseman toiminta.

NSDC:llä on jo olemassa useita X-kaistalla toimivia satelliittivastaanottojärjestelmiä sekä yksi S-kaistalla lähettämään ja vastaanottamaan kykenevä järjestelmä. Nykyisellä infrastruktuurilla on jo mahdollista tukea ja tuottaa palveluita tahoille, jotka vaativat X-kaistan vastaanotto-toiminnassa redundanttisuutta eli käytännössä harjoittavat kaupallista toimintaa tai toiminta on määritelty hyvin kriittiseksi. S-kaistan osalta yhdellä antennilla vastaavaa palvelutasoa ei voida taata. S/X-kaistalla ei nähdä olevan investointitarvetta, jota voisi perustella pelkästään suomalaisten piensatelliittitoimintojen tukemismahdollisuudella mutta investointitarve ja -valmius on olemassa, mikäli suomalainen toimija sitoutuu yhteistyöhön. Yleisesti, kaikki satelliittitoiminnot huomioon ottaen, ennen kaikkea S-kaistan lähetys- ja vastaanottokyvyn kahdentaminen avaisi kuitenkin NSDC:lle mahdollisuuksia osallistua kansainvälisiin maa-asemalukkipailutuksiin, joissa vaatimuksena yleensä on redundanttisuus. Kapasiteetin kasvusta hyötyisivät välillisesti myös suomalaiset toimijat, kun NSDC voisi tukea useampaa eri tahoa samanaikaisesti, mikä myös osaltaan lisäisi kustannustehokkuutta.

## 4.1 Toimenpide-ehdotukset

Selvityshankkeen perusteella on saatu muodostettua hyvä kuva siitä, millainen suomalainen piensatelliittisektori on tällä hetkellä ja millaisia tarpeita sillä on tulevaisuudessa. Tulevaisuuden tarpeita varten on tunnistettu erilaisia vaihtoehtoja, joilla NSDC voisi tukea suomalaista piensatelliittitoimintaa. Vaihtoehdot on esitetty neljänä erilaisena skenaariona, jotka eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan ne voidaan myös toteuttaa rinnakkain tai toisiaan tukevina. Jokaiselle skenaariolle on esitetty niiden tuoma hyöty, ja toteutukseen liittävät riskit sekä kustannusarvio pelkän investoinnin osalta ottamatta huomioon ylläpidosta tai operoinnista syntyviä kustannuksia.

### 4.1.1 Skenaario 1: Yhteisomisteinen piensatelliittimaa-asema

UHF/VHF/S-kaistalla toimiva piensatelliittimaa-asema omistetaan yhdessä satelliitin operoijan kanssa. Maa-asema rakennetaan pääosin itse hyödyntämällä valmiita osakokonaisuuksia ja on suunniteltu ensisijaisesti satelliitin operoijan tarpeisiin.

**Hyödyt:** Maa-asemalle on olemassa selkeä tarve ja määrittely ennen investointia. Ymmärrys maa-aseman toiminnasta ja sen hallinta on omistajien käsissä. Riippuen kumppanista, radioamatööri-kaistojen käyttö on mahdollista. Investointikustannukset pienenevät rakentamalla maa-asema osittain itse.

**Riskit:** Erillisinä ostettujen komponenttien saattaminen yhteentoimiviksi ja omat ohjelmistoratkaisut vievät arvioitua enemmän henkilöresursseja. Ei ulkopuolista huolto- ja ylläpitotukimahdollisuutta. Maa-asema tukee vain yhteistyökumppanin piensatelliittia tai vastaaville ominaisuuksille suunniteltua satelliittia. Omistajien väliset konfliktit maa-aseman saatavuudessa ja operoinnissa.

**Investoinnin kustannusarvio:** 100 000 €

### 4.1.2 Skenaario 2: NSDC:n oma piensatelliittimaa-asema

NSDC:n kokonaan omistama ja operoima piensatelliittimaa-asema, joka toimii UHF/VHF/S-kaistoilla. Maa-asema hankitaan avaimet käteen -periaatteella valmiina kokonaisuutena.

**Hyödyt:** Hankittu tukemaan erityisesti suomalaista piensatelliittitoimintaa. Laajentaa NSDC:n toiminta-alueita uusille taajuuskaistoille. Ei useamman omistajan välisiä ristiriitoja tai konflikteja käytön ja operoinnin suhteen.

**Riskit:** Satelliittien operoijat käyttävät NSDC:n sijasta olemassa olevia maa-asemapalveluita, joilla globaali maa-asemaverkosto. Ei Sodankylän olosuhteisiin sopivaa valmista ratkaisua tai sääsuojaus nostaa hankintahintaa merkittävästi. Toimittajan huolto- ja ylläpitotukipalvelu nostavat elinkaarikustannuksia. Kaupallisen vastaanottopalvelun tarjoaminen nostaa laitteiston laatuvaatimuksia ja resurssoinnin määrää, mitkä lisäävät kustannuksia.

**Investoinnin kustannusarvio:** 250 000 €

### 4.1.3 Skenaario 3: S-kaistan vastaanoton kahdentaminen

S-kaistan vastaanotto- ja lähetyskyvyn kahdentaminen uudella 3,5–7,3 m suuruisella vastaanottojärjestelmällä, joka sisältää myös X-kaistan vastaanottokyvyn. Suomalaiset piensatelliittitoimijat, pois lukien kaupalliset toimijat, eivät ole tässä skenaariossa ensisijaisia hyötyjiä.



**Hyödyt:** Operatiivisen toiminnan taso nousee kaupallisten ja turvallisuuskriittisten palveluiden vaatimalle tasolle redundanttisuuden myötä. Mahdollistaa osallistumisen kansainvälisiin maa-asemal palvelutarjouspyyntöihin.

**Riskit:** Suomalainen piensatelliittitoiminta ei hyödy pelkästä S-kaistan taajuusalueesta. Hankintahinta estää skenaarion toteutuksen.

**Investoinnin kustannusarvio:** 1 000 000–2 500 000 €

#### 4.1.4 Skenaario 4: Olemassa olevan kapasiteetin saavutettavuuden parantaminen

Laskennallinen käyttöaste NSDC:n antenneilla on 24 %. Käyttöasteen lisäämistä varten ”ylimääräistä” vastaanottoaikaa saatetaan tarjolle olemassa olevan SOGS-API-rajapinnan kautta.

**Hyödyt:** Antennien käyttöaste kasvaa ja toiminta tehostuu. Satelliitin operoija säästää oman maa-aseman investointikustannuksissa ja NSDC saa katettua antennien operointiin ja ylläpitoon liittyviä kustannuksia. Kustannustehokas ratkaisu olemassa olevan S/X-kaistan taajuusalueen käyttöön.

**Riskit:** Uudet vastaanotettavat satelliitit lisäävät satelliittien välisiä konflikteja ja kaikkia suunniteltuja ylilentoja ei voida ottaa vastaan.

**Kustannusarvio:** ~10 000 € (1 HTKK/uusi satelliitti)



## Lähdeluettelo

ICEYE, <https://www.iceye.com/sar-data/satellite-capabilities>, 2021. Luettu 26.5.2021.

ITU. Radio Regulations, Articles, Edition of 2020, 2020.

Mosteshar, Sa'id. Small satellites and their regulation. Space Policy. 30. 10.1016/j.spacepol.2014.09.001, 2014.

SGO. Sodankylä geofysiikan observatorion Lappi-satelliitin teknologiaratkaisun, palvelukonseptin ja rahoituksen selvityshanke, 2019.

Traficom. Liikenne- ja viestintävirasto 4Y/2019M, Radiotaajuusmääräys, 2019a.

Traficom. Liikenne- ja viestintävirasto 6K/2019M, Radioamatöörimääräys, 2019b.

## Liite A Käyttäjäkyselyn kysymykset

### PUNAISET KYSYMYKSET PAKOLLISIA

	Kysymys	Vastausvaihtoehdot
0.	Annan luvan käsitellä tietojani piensatelliittihankkeen kyselyn toteuttamisen ja analysoinnin yhteydessä sekä kyselystä laadittavan raportin tekemisen ja käytön yhteydessä ja hyväksyn kyselyssä käytetyn Google Forms palvelun yksityisyys ehdot.	kyllä/ei

#### Teema Toimijan perustiedot

1.1	<b>Organisaatio</b>	avoin
1.2	Vastaaajan nimi, sähköpostiosoite ja puhelinnumero	avoin
1.3	Työntekijämäärä piensatelliittitoiminnassa	1-2, 3-5, 6-15, enemmän
1.4	Toimiala	Julkinen, koulutus, yksityinen
1.5	Sijainti	Etelä-Suomi, Keski-Suomi, Pohjois-Suomi

#### Teema Tämän hetkinen motivaatio ja taustat

2.1	<b>Onko teillä tällä hetkellä piensatelliitteja operatiivisessa, tutkimuksellisessa tai vastaavassa toiminnassa?</b>	kyllä/ei
2.2	Jos kyllä kohdassa 2.1, oletteko itse rakentaneet satelliitin, tehneet sen yhteistyössä jonkun tahon kanssa (kenen) vai ostaneet satelliitin (keneltä)?	avoin
2.3	Jos kyllä kohdassa 2.1, onko teillä omaa maa-asemaa vai käytättekö ulkopuolista tahoja tai palvelua kommunikoidaan piensatelliittinne kanssa (ketä)?	avoin
2.4	Jos teillä on oma maa-asema, oletteko itse rakentaneet sen, tehneet yhteistyössä jonkun tahon kanssa (kenen) vai ostaneet sen (keneltä)?	avoin
2.5	<b>Oletteko suunnittelemassa pienoissatelliitin rakentamista?</b>	kyllä/ei
2.6	Jos kyllä kohdassa 2.5, mihin käyttötarkoitukseen? (Esim. demo, tutkimus, kaupallinen, avaruussää)	avoin
2.7	Jos kyllä kohdassa 2.5, missä vaiheessa piensatelliitin suunnittelu tai rakentaminen on?	avoin
2.8	Jos kyllä kohdassa 2.5, milloin piensatelliitti on tarkoitus laukaista ja ottaa käyttöön?	avoin
2.9	Jos kyllä kohdassa 2.5, onko teillä tarkoitus rakentaa oma maa-asema piensatelliitin kanssa kommunikoidmiseen vai käytettäväkö ulkopuolista tahoja tai palvelua?	avoin

**Teema Tekniset vaatimukset ja tarpeet satelliitille ja maa-  
asemalle**  
**Satelliitti**

3.1	Satelliitin kiertorata	Polaarirata, aurinkosynkrononinen rata, geosynkrononinen rata, muu AVOIN
3.2	Suunniteltu ratakorkeus (km)	avoin
3.3	Satelliitin inkliinaatio	avoin
3.4	Käytettävät taajuuskaistat	UHF, VHF, L, S, C, X, Ku, Ka, muu AVOIN
3.5	Käytetty polarisaatio	RHCP, LHCP,
3.6	Käytettävä modulaatio	BPSK, QPSK, 8PSK, muu AVOIN
3.7	Datanopeus satelliitista maa-asemalle	avoin
3.8	Lähetettävä datamäärä yhden maa-asemakontaktin aikana	avoin
3.9	Käytetäänkö datanlähetyksessä virheenkorjausta, salausta, tms.	avoin
3.10	Kuinka usein satelliitti lähettää dataa maa-asemalle?	Useasti päivässä, Päivittäin, Viikottain, Harvemmin
3.11	Mittaako satelliitti jatkuvasti vai tarpeen mukaan?	Jatkuva mittaus, kuvaussuunnitelman mukaisesti
3.12	Satelliitin mittausdatan lähetystapa	Jatkuva lähetys, ohjattu lähetys, Maa-asemakontaktisuunnitelman mukaan
3.13	Kuinka usein komentolinkkiä arvioidaan käytettävän	Useasti päivässä, Päivittäin, Viikottain, Harvemmin
3.14	Satelliitin suunniteltu toiminta-aika	Alle vuosi, 1 - 2 vuotta, yli 2 vuotta

**Maa-asema**

3.15	Suunniteltu tai toivottu sijainti	avoin
3.16	Maa-aseman käyttötarkoitus?	Lähetys/vastaanotto/lähetys ja vastaanotto/muu AVOIN
3.17	Tarvittava tehokohinasuhde (G/T)	avoin
3.18	Tarvittava lähetysteho	avoin
3.19	Maa-aseman saatavuus (% availability)	avoin
3.20	Vaadittu reagointiaika datan vastaanotto- ja komentopyyntöihin mahdollisen ulkopuolisen tahon operoidessa maa-asemaa	avoin

3.21	Vapaa-horisontti	avoin
3.22	Kuinka pitkälle/mille tasolle vastaanotettua dataa on tarkoitus prosessoida maa-aseamalla?	avoin
3.23	Tiedonsiirtovaatimukset maa-asemalta eteenpäin	avoin

**Teema Resurssit**

4.1	Minkälainen kokemus tai osaaminen teillä on piensatelliittien ja maa-asemien välisestä kommunikaatiosta?	avoin
4.2	Kuinka pitkä kokemus teillä on piensatelliittien rakentamisesta?	Alle vuosi, 1 - 2 vuotta, 2 - 5 vuotta, enemmän kuin 5 vuotta
4.3	Kuinka pitkä kokemus teillä on maa-asemien rakentamisesta?	Alle vuosi, 1 - 2 vuotta, 2 - 5 vuotta, enemmän kuin 5 vuotta
4.4	Onko teillä omat työtilat piensatelliittien ja maa-asemien rakentamiseen?	avoin
4.5	Minkälaisen koulutuksen arvioitte satelliittien ja maa-asemien rakentamisen vaativan?	avoin

**Teema Yhteistyö ARK:n kanssa**

4.6	Oletteko kiinnostuneet Sodankylän satelliittidatakeskuksen tarjoamista maa-asemapalveluista tai -yhteistyöstä mikäli se on teknisesti mahdollista?	avoin
4.7	Onko kiinnostusta osallistua maa-aseman kehitysohjon tai sen määrittelyyn omia tarpeita ajatellen?	avoin
4.8	Onko teillä tarvetta ulkoiselle prosessointi- tai arkistointikapasiteetille hyödyntäen esimerkiksi pilvipalvelutyyppejä ratkaisua?	avoin

**Teema Loppuraportti ja seminaari tuloksista**

5.1	<b>Haluatteko selvityksen loppuraportin sähköpostiisi?</b>	kyllä/ei
5.2	<b>Oletteko kiinnostuneet osallistumaan selvityksen loppuraportin virtuaaliseen esittelytilaisuuteen?</b>	kyllä/ei