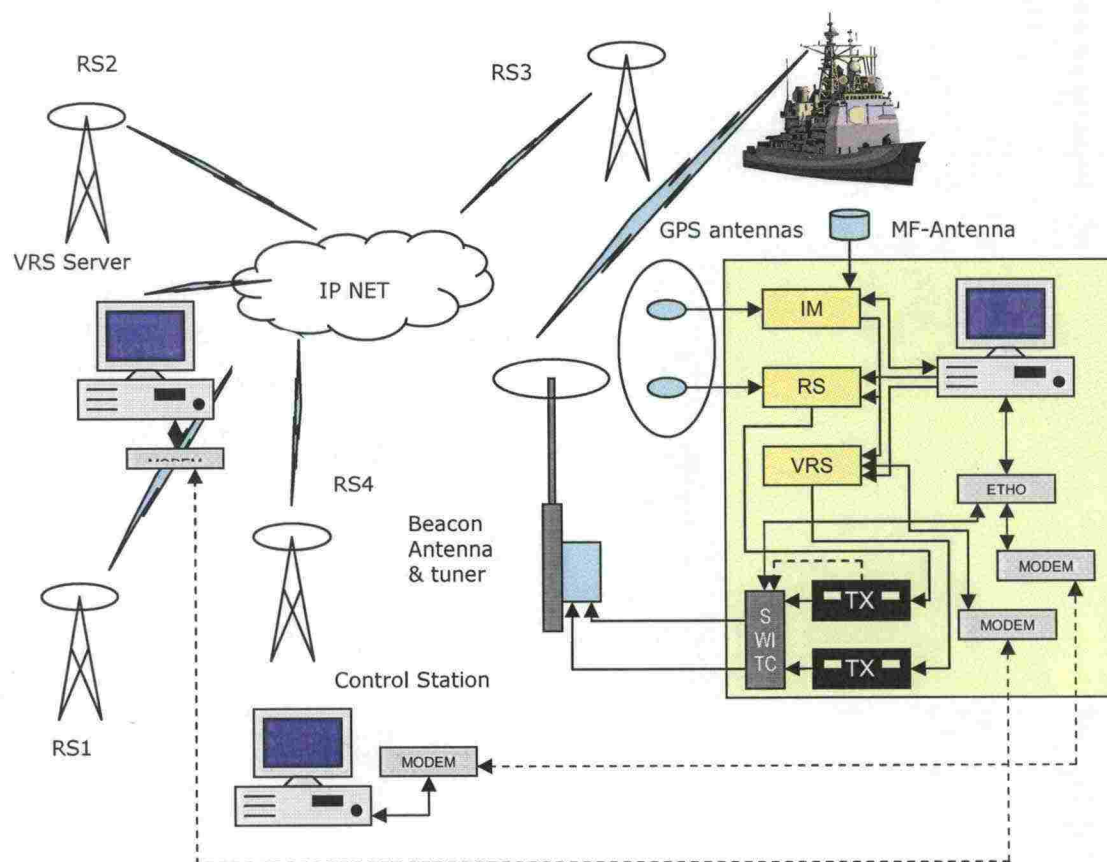


Selvitys avusteisen satelliittinavigointijärjestelmän uusimisen periaatteista





Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja	
Indagon Oy Mikko Weckström		Toimeksiantaja MKL / Kaisu Heikonen	
		Toimielimen asettamispäivämäärä	
Julkaisun nimi Selvitys avusteisen satelliittinavigointijärjestelmän uusimisen periaatteista			
Tiivistelmä			
<p>Selvityksessä tarkastellaan erityisesti erilaisten toteutustapojen kustannusvaikutuksia. Työn aikana havaittiin, että nykyistä toteutustapaa vastaavia paikallisia, vain DGNSS-asemakäyttöön tarkoitettuja laitteita on hyvin vaikeaa enää saada hankittua. Selvityksessä löydettiin vain yksi valmistaja Venäjältä, joka enää valmistaa tämän tyyppisiä erikoislaitteita (ns, Hardware RSIM). Siksi selvitys pyrkii keskittymään kaupallisiin laitteisiin (COTS), jotka voidaan ulkoisella tietokoneella muuttaa DGNSS-aseman toiminnallisuuksia toteuttavaksi laitteistoksi (ns. Software RSIM). Ratkaisulla pystytään muodostamaan useita erityyppisiä korjausviestejä aina nykyisistä DGPS-viesteistä useamman satelliittikonstellaation DGNSS-viesteiksi. Näiden viestien tarkka kuvaus löytyy dokumentista "RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service, Version 2.3".</p> <p>Kustannuksia minimoitaessa on huomioitu myös mahdollisuus tuottaa DGNSS korjausviestejä muuten kuin paikallisesti. Selvityksessä on tutkittu virtuaalisten referenssiasemien (VRS) käyttöä. Tässä ratkaisumallissa tietoliikennekulut nousevat tiukempien luotettavuusvaatimusten takia. Selvityksessä on pyritty arvioimaan ja optimoimaan tietoliikennekuluja - kuitenkin niin, että saavutetaan mahdollisimman suuri luotettavuus.</p> <p>Avustetiedon välittämiseen aluksille on pyritty löytämään mahdollisimman tehokas menetelmä, joka hyödyntää jo olemassa olevia merenkulun käyttämiä järjestelmiä. IALA:n suosituksessa R-135 nähdään parhaina korjausten välitysmenetelminä nykyisen kaltainen MF-asemaverkosto sekä AIS-palvelun kehittäminen. Näillä molemmilla järjestelmillä on jo olemassa avustelähetykset mahdollistava kansainvälinen standardi. Aluksiin ei ole helppoa tuoda nopeasti laajamittaiseen käyttöön uusia vastaanotinteknologioita, kuten WiMax tai WLAN.</p> <p>Selvityksestä käy ilmi, että käyttämällä MKL:n olemassa olevia MF ja VHF alueen lähetysasemia ja yhdistämällä Software RSIM ja VRS teknologiaa voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä CAPEX-puolella. Säästöt siirtyvät VRS ratkaisun myötä kuitenkin osittain OPEX-kuluihin.</p>			
Avainsanat (asiasanat) DGPS, DGNSS, VRS, AIS, differentiaalikorjaukset, avusteinen satelliittinavigointi			
Muut tiedot			
Sarjan nimi ja numero Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 5/2009		ISSN 1456-9442	ISBN
Kokonaissivumäärä 2+27	Kieli Suomi	Hinta	Luottamuksellisuus
Jakaja		Kustantaja	

Selvitys avusteisen
satelliittinavigointijärjestelmän uusimisen
periaatteista



10787

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
Selvityksen tarkoitus	3
1 Tiivistelmä	4
2 Vaihtoehtoisia toteutustapoja	5
2.1 Korjausten muodostaminen.....	5
2.1.1 Paikallinen referenssiasema	5
2.1.2 Virtuaalinen referenssiasemaverkko	6
2.2 Jakelutiet.....	7
2.2.1 Mobiili WiMAX	7
2.2.2 AIS jakelutienä	8
2.3 Yhteenveto toteutustavoista	10
3 Laitekanta	12
3.1 Hardware RSIM laitteet.....	12
3.2 Software RSIM laitteet.....	12
3.3 Muut kokoonpanot	15
4 Luotettavuustarkasteluja	16
4.1 Hardware RSIM laitteiden vertailu	16
4.2 Software RSIM laitteiden vertailu	16
4.3 Tietoliikenneyhteyden luotettavuus	16
4.2 Ohjelmistojen luotettavuus	17
4.3 Korjaustiedon luotettavuus	17
5 Laitteistojen kustannusvertailu	19
5.1 Tietoliikennekustannukset	19
5.2 Software RSIM ratkaisun kustannukset.....	20
5.3 Software RSIM + VRS ratkaisun kustannukset	21
5.4 Hybridikokoonpano	21
5.5 Muut kustannukset.....	22
6 Yhteenveto	24
7. Lyhenteet	26
8. Lähdeluettelo	27

Versio	Päivämäärä	Tekijä
0.01	27.10.2008	MWe
0.02	11.12.2008	MWe
0.03	07.01.2009	MWe
0.04	06.04.2009	KHe

Selvityksen tarkoitus

Tämän selvityksen tarkoituksena on tarkastella lähemmin Merenkululaitoksen ylläpitämän avusteisen satelliittinavigaatiojärjestelmän (ns. DGPS järjestelmä) uusimisen periaatteita. Dokumentti pyrkii selvittämään erilaisten toteutusperiaatteiden eroja, haittoja ja hyötyjä sekä tarkastelemaan erilaisten verkkoratkaisujen kautta koko järjestelmän luotettavuutta. Tarkoituksena on etsiä se korjausten muodostus- ja välitysmenetelmä, jolla saavutetaan mahdollisimman suuri kustannushyöty niin käyttökuluissa (OPEX) kuin laitehankinnoissa (CAPEX) laadun tai luotettavuuden kuitenkin kärsimättä.

Dokumentissa tarkastellut arkkitehtuurit perustuvat kansainvälisen merenkulkuhallintojen välisen organisaation IALA:n suositukseen (IALA Recommendation R-135 On The Future of DGNSS).

1 Tiivistelmä

Selvityksessä pyritään tarkastelemaan erityisesti erilaisten toteutustapojen kustannusvaikutuksia. Työn aikana havaittiin, että nykyistä toteutustapaa vastaavia paikallisia, vain DGNSS-asemakäyttöön tarkoitettuja laitteita on hyvin vaikeaa enää saada hankittua. Selvityksessä löydettiin vain yksi valmistaja Venäjältä, joka enää valmistaa tämän tyyppisiä erikoislaitteita (ns, Hardware RSIM). Siksi selvitys pyrkii keskittymään kaupallisiin laitteisiin (COTS), jotka voidaan ulkoisella tietokoneella muuttaa DGNSS-aseman toiminnallisuuksia toteuttavaksi laitteistoksi (ns. Software RSIM). Ratkaisulla pystytään muodostamaan useita erityyppisiä korjausviestejä aina nykyisistä DGPS-viesteistä useamman satelliittikonstellaation DGNSS-viesteiksi. Näiden viestien tarkka kuvaus löytyy dokumentista "RTCM Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service, Version 2.3".

Kustannuksia minimoitaessa on huomioitu myös mahdollisuus tuottaa DGNSS korjausviestejä muuten kuin paikallisesti. Selvityksessä on tutkittu virtuaalisten referenssiasemien (VRS) käyttöä. Tässä ratkaisumallissa tietoliikennekulut nousevat tiukempien luotettavuusvaatimusten takia. Selvityksessä on pyritty arvioimaan ja optimoimaan tietoliikennekuluja - kuitenkin niin, että saavutetaan mahdollisimman suuri luotettavuus.

Avustetiedon välittämiseen aluksille on pyritty löytämään mahdollisimman tehokas menetelmä, joka hyödyntää jo olemassa olevia merenkulun käyttämiä järjestelmiä. IALA:n suosituksessa R-135 nähdään parhaina korjausten välitysmenetelminä nykyisen kaltainen MF-asemaverkosto sekä AIS-palvelun kehittäminen. Näillä molemmilla järjestelmillä on jo olemassa avustelähetykset mahdollistava kansainvälinen standardi. Aluksiin ei ole helppoa tuoda nopeasti laajamittaiseen käyttöön uusia vastaanotinteknologioita, kuten WiMax tai WLAN.

Selvityksestä käy ilmi, että käyttämällä MKL:n olemassa olevia MF ja VHF alueen lähetyksasemia ja yhdistämällä Software RSIM ja VRS teknologiaa voidaan saavuttaa huomattavia säästöjä CAPEX-puolella. Säästöt siirtyvät VRS ratkaisun myötä kuitenkin osittain OPEX-kuluihin.

2 Vaihtoehtoisia toteutustapoja

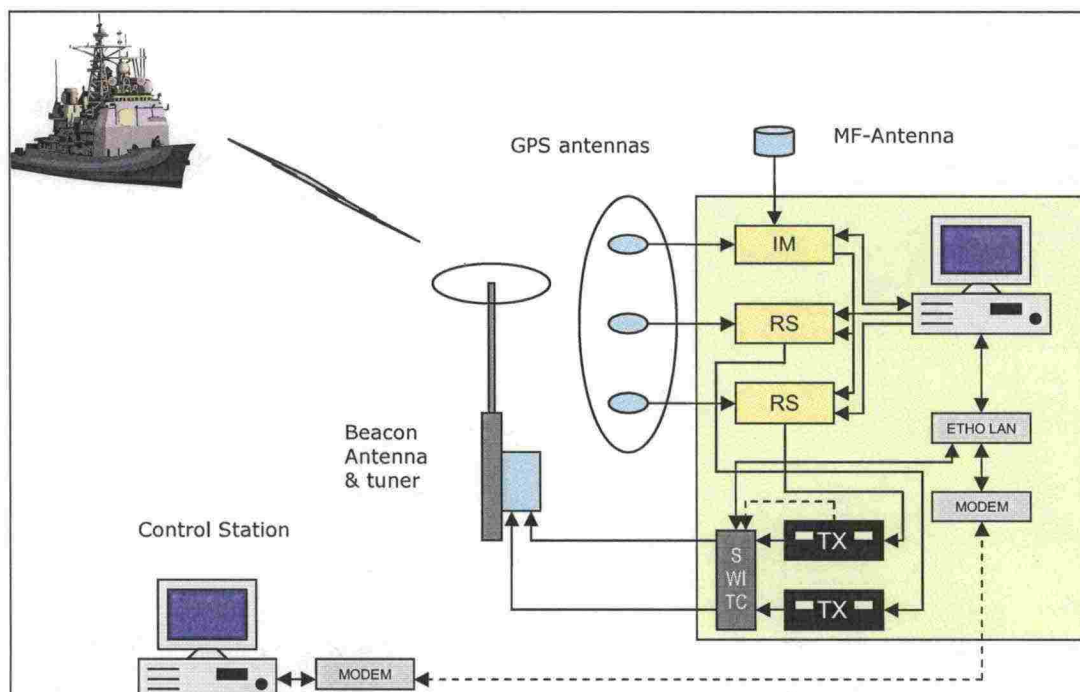
Korjauslähetyksen optimaalinen toteuttamistapa pyritään selvittämään tarkastelemalla eri verkko- ja laitteistoratkaisuja. Tarkoituksena on löytää vaihtoehtoisia toimivia käytännöllisiä ratkaisuja.

2.1 Korjausten muodostaminen

Palvelun tarvitsema korjaustieto voidaan IALAn suositusten mukaan muodostaa käyttäen lähetyksessä sijaitsevaa paikallista laitteistoa tai useamman referenssiaseman muodostamaa verkkoa. Voisi myös olla mahdollista välittää maaseuran kautta ns. SBAS signaalia. Tässä selvityksessä ei kuitenkaan tarkastella SBAS vaihtoehtoa tarkemmin.

2.1.1 Paikallinen referenssiasema

Järjestelmän nykyinen toteutus perustuu paikallisiin, erikoistuneisiin laitteisiin (ns. hardware RSIM ratkaisu). Asema pystyy itsenäisesti jatkamaan toimintaansa mahdollisista tiedonliikenneyhteyksien katkeamisista huolimatta. Laitteiston kriittisiä osia on kahdennettu ja kaukovalvonnalla pyritään vikatilanteisiin puuttumaan mahdollisimman nopeasti. Kuvassa 1 on esitetty nykyinen toteutustapa yleisellä tasolla. Ylempi lähetin (TX) voi vaihtoehtoisesti ohjata kytkintä (SWITCH) itsenäisesti tai ohjaus voi tulla aseman tietokoneelta.



Kuva 1

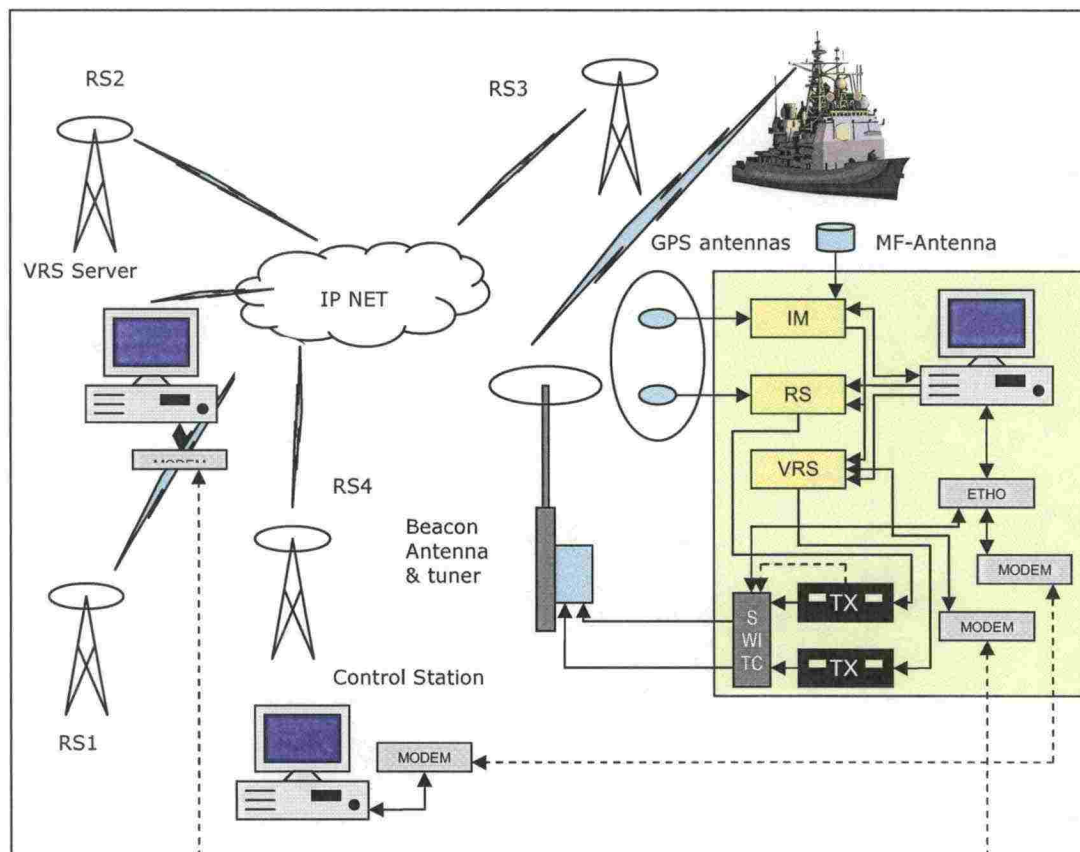
Nykyisen toteutuksen haasteena ovat kahdentamattomat komponentit, kuten antenni, antenniviritin ja lähetinkytin. Sikäli kun sähkönsyöttö ja varavoimalaitteet ovat kahdentamattomia, nekin aiheuttavat kriittisen pisteen, joka voi vioittuessaan lakkauttaa aseman toiminnan.

COTS-laitteilla toteutettu järjestelmä vastaa nykyistä toteutusmallia, mutta laitteet ovat yleiskäyttöisiä, joten aseman varsinainen toiminnallisuus toteutetaan ohjelmallisesti tietokoneilla (ns. software RSIM). Software RSIM toteutusta tarkastellaan tarkemmin luvussa 3.2.

Järjestelmää uusittaessa paikallisen ratkaisun investointikulut ovat korkeat.

2.1.2 Virtuaalinen referenssiasemaverkko

Virtuaalinen referenssiasemaverkko (VRS) tarjoaa joustavamman ja mahdollisesti luotettavamman korjaustiedon muodostamisen menetelmän kuin paikalliset ratkaisut. Virtuaalisessa referenssiasemaverkossa tulee kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota tietoliikenne-ratkaisujen luotettavuuteen (mm. yhteyksien kahdentaminen). Kuvassa 2 on havainnollistettu virtuaalista referenssiverkkoa yleisellä tasolla. Kuvan ratkaisussa on yhdistetty paikallinen software RSIM ja VRS.



Kuva 2

Erona nykyiseen järjestelmään nähden on paikallisten laitteiden korvaaminen virtuaalisella vertailuasemalla (VRS) DGNSS-aseman laitetilassa. Järjestelyllä saavutetaan suurempi joustavuus, sillä virtuaalisia vertailuasemia voi olla jopa enemmän kuin varsinaisia referenssiasiemia (kuvassa 2 kohteet RS1 – RS4). Tarvittaessa uusia vertailuasemia voidaan helposti laskea esimerkiksi satamiin tai muihin kohteisiin, joissa navigointi on haastavaa.

Koska VRS ratkaisu on täysin riippuvainen tietoliikenneyhteyksistä, voidaan tärkeimmissä kohteissa käyttää tukena myös paikallista laitteistoa (vrt. kuva 2). Paikallisen referenssiasiemalaitteiston kahdentamisen tarvetta ei kuitenkaan tässä tapauksessa ole.

Sähkönsyötön ja lähetyssantennilaitteiden osalta VRS ratkaisua koskevat samat ongelmat kuin edellisessä kohdassa kuvattua paikallistakin ratkaisua.

2.2 Jakelutiet

Korjaustiedon jakelutienä mantereelta laivoille voidaan käyttää eri menetelmiä, jotka soveltuvat tiedonsiirtoon liikkuvaan kohteeseen. Tässä esiselvityksessä tarkastellaan lähemmin mobiili-WiMAX- ja AIS-järjestelmän hyödyntämistä korjaustiedon välittämisessä maa-asemalta laivaan.

Selvityksessä ei käsitellä tarkemmin nykyisin käytössä olevaa MF siirtotietä. Siirtotien käyttö on vakiintunutta eikä sen tarjoamaa laajaa toiminta-alueita pystytä korvaamaan korkeammilla taajuuksilla toimivien maa-asemien avulla. Siirtotien osalta on kuitenkin hyvä huomioida, että asemien peittoalueita tarkisteltaessa löytyi monia artikkeleita, joissa käsiteltiin eroja peittoalueiden laskennallisen ja todellisen laajuuden välillä. Oli raportoitu suuriakin vuorokaudenaikojen ja ilmakehän ilmiöiden aiheuttamia eroja kuuluvuusalueissa. Lähes poikkeuksetta peittoalueet oli myös laskettu turhan optimistisesti ja käytännössä löytyi suuriakin katvealueita.

Tulevaisuudessa MF-lähetysten korvaajaksi saattaa nousta satelliittipohjainen korjaustiedon välitys. SBAS lähetysten käytettävyyden merenkulussa tarvitsee jatkossa oman erillisen selvityksensä.

2.2.1 Mobiili WiMAX

Mobiili WiMAX -järjestelmän taajuusallokaatio Euroopassa on 3,5 – 3,8 GHz. Tällä taajuusalueella pystytään toteuttamaan teoriassa myös NLOS (Non Line of Site) -yhteyksiä. Raporttien mukaan kokeiluverkoissa NLOS yhteyksiä ei kuitenkaan aina ole saatu luotettavasti toteutettua ja useat raportit korostavatkin LOS (Line of Site) -yhteyden tärkeyttä. Satama-alueilla tämän toteuttaminen saattaa paikoitellen ja/tai ajoittain olla hankalaa.

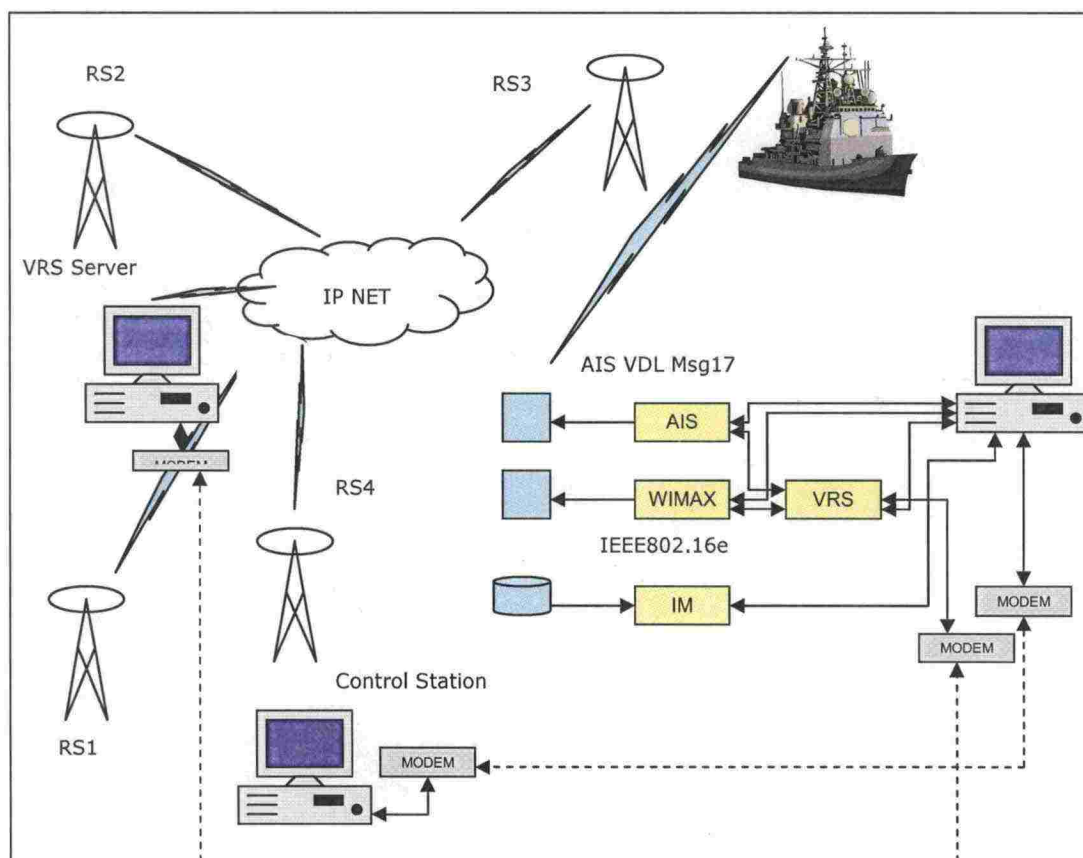
WiMAX-tekniikan lisähaasteena ovat päätelaitteiden saatavuus vielä tätä selvitystä kirjoitettaessa, sekä riittämätön todennus peittoalueen laajuudesta. WiMAX IEEE802.16e standardi on vuodelta 2006 ja siihen liitettäviä päätelaitteita on toistaiseksi rajoitetusti saatavilla. Lisäksi eri maanosissa on erilaiset taajuusallokaatiot, jotka osaltaan hankaloittavat järjestelmän hyödyntämistä kansainvälisessä meriliikenteessä.

WiMAX-verkon peittoalueesta on erilaisia näkemyksiä riippuen siitä onko verkko tarkoitettu kiinteään liikenteeseen (IEEE802.16d) vai liikkuvaan liikenteeseen

(IEEE802.16e). Kiinteässä liikenteessä peittoalueeksi luvataan LOS (Line of Site) -yhteydellä jopa 50km, mutta päätelaitteen nopeuden pitää silloin olla 0km/h. Liikkuvässä liikenteessä (pätelaitteen nopeus 80km/h) tukiaseman kantamaksi luvataan vain 3 – 10km.

Muuten WiMAX soveltuisi teknologiansa puolesta mainiosti korjaustiedon välittämiseen olemattomien viiveidensä vuoksi (5 ms). On kuitenkin vielä useita asioita jotka pitäisi selvittää ja ottaa huomioon WiMAX-tyyppisessä IP-pohjaisessa korjaustietojen lähettämässä. Loogiset järjestelyt ja kanavat, sekä automaattiset kytkeytymiset palveluun vaativat vielä paljon standardointia.

Kuvassa 3 on havainnollistettu yleisellä tasolla WiMAX (tai AIS) jakelukanavaa käyttävä korjauslähetytasema.

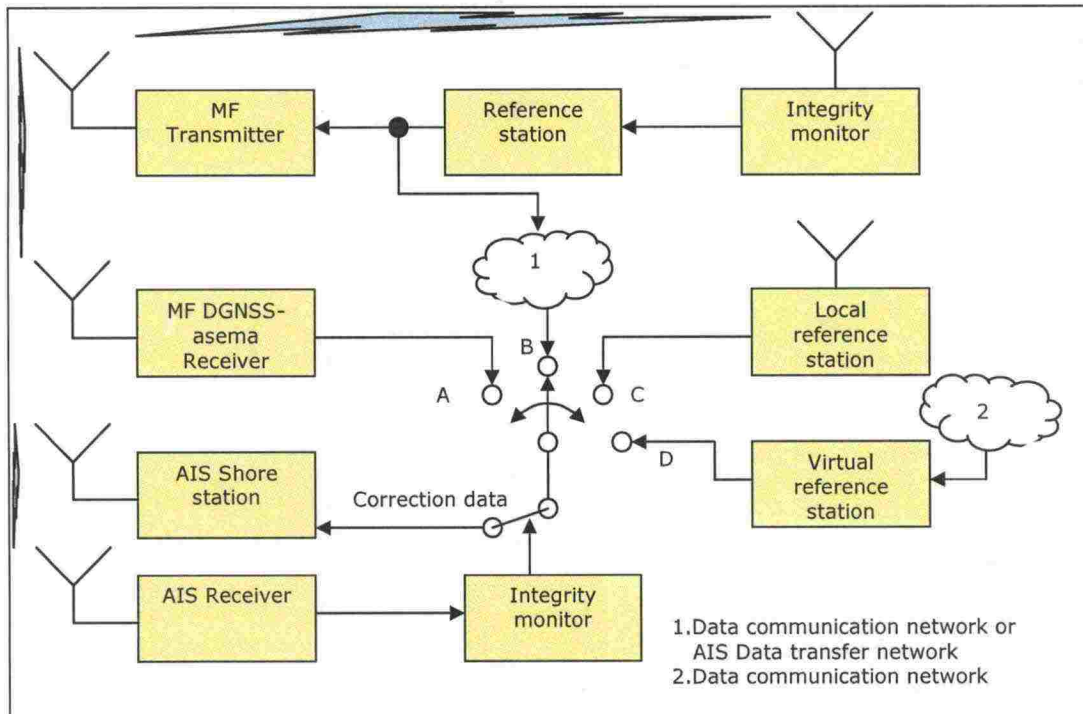


Kuva 3

2.2.2 AIS jakelutienä

Dokumentin "IALA Guidelines on AIS, Volume 1, Part II (Technical issues) Ed.1.1" luvussa 22 on annettu ohjeita AIS järjestelmän käyttämisestä korjaustiedon välittämiseen aluksille.

Kuvassa 4 on yleisellä tasolla esitetty IALA:n suosittamat AIS korjauslähetyksien arkkitehtuurit. Peittoalueensa puolesta AIS järjestelmä soveltuisi hyvin korjaustietojen välittämiseen. Tarvittavat päätelaitteet löytyvät myös jo valtaosasta aluksista.



Kuva 4

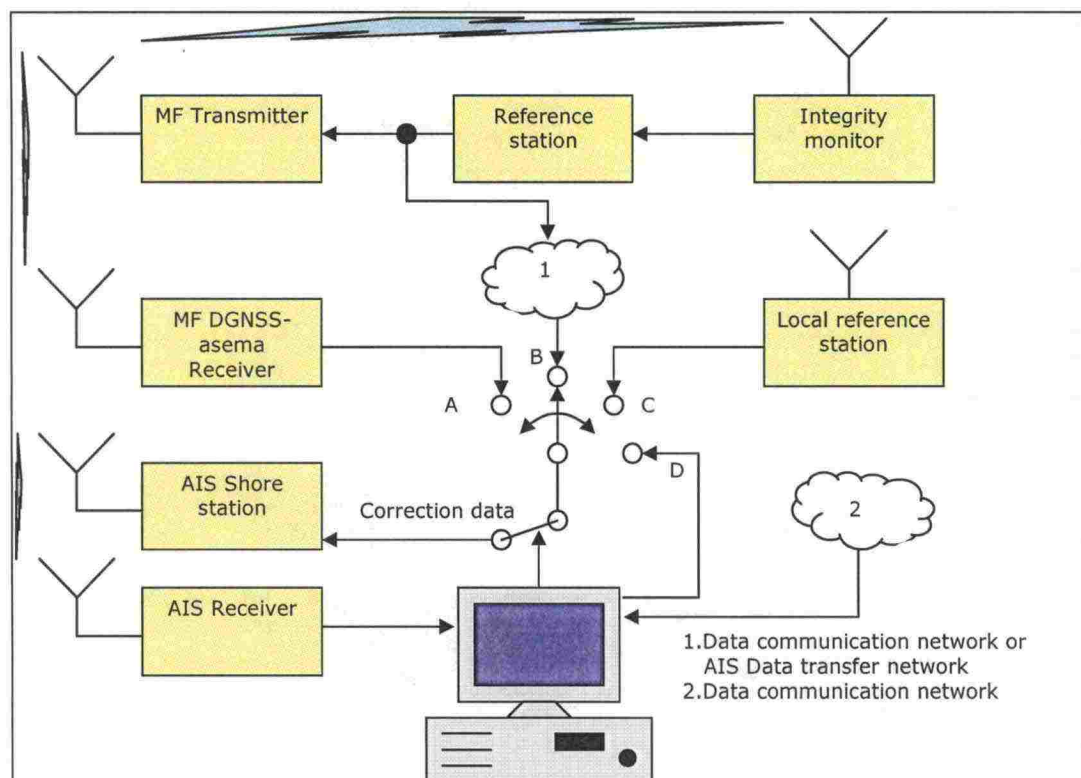
Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan hieman tarkemmin korjausten muodostamista AIS jakelutien tapauksessa, samoja menetelmiä voidaan toki soveltaa muissakin jakeluteissa.

Uutena korjausten muodostusmenetelmänä voidaan pitää MF DGNSS lähetysten vastaanottamista ja edelleen lähetystä. Tukiasemalle sijoitetun MF DGNSS vastaanottimen avulla vastaanotetut korjausviestit avataan, muodostetaan AIS standardin mukaiset uudet korjausviestit ja lähetetään edelleen AIS tukiasemalta VHF taajuudella. Lähetysten integriteettitarkistus suoritetaan paikallisesti erillisessä laitteessa, joka on irrallaan muusta järjestelmästä, vain ohjaten korjaustiedon lähdeä.

Kuvassa 4 näkyy AIS aseman lähettämää korjaustietoa tarkkaileva erillinen AIS-vastaanotin yhdistettynä monitorointilaitteeseen. Jos tarkkailuasema tunnistaa lähetteessä virheen, se ohjaa lähettimeen joko tiedot toisesta korjauslähteestä tai katkaisee lähetystä.

Yksi mahdollinen ratkaisu olisi yksinomaan virtuaalisen referenssiaseman käyttö korjausten muodostamisessa. Virtuaalisessa referenssiasemaverkossa korjaustiedot voitaisiin laskea erikseen kunkin AIS-aseman koordinaatteihin. Kuvan 5 ratkaisusta jäisivät silloin pois korjauslähteet A, B ja C niihin liittyvät laitteet. Ratkaisussa

korjausten monitorointi, virtuaalinen korjaustiedon muokkaus ja lähetysten katkaiseminen hoidettaisiin ohjelmistollisesti. On huomattava että tässä tapauksessa korjausten lähetyks on yhtä luotettavaa kuin käytetyt tietoliikenneyhteydetkin.



Kuva 5

Valmiita ohjelmistoja kuvatus toiminnallisuuden toteuttamiseksi on saatavilla, mutta ratkaisun luotettavuuden määrittäminen onkin sitten hieman vaikeampaa. Vakiotietokoneella toteutetun toiminnallisuuden luotettavuus perustuu kahteen pääkohtaan, tietokoneeseen sellaisenaan ja siinä käytettäviin ohjelmistoihin ja käyttöjärjestelmään. Luotettavuuden kannalta on helppoa arvioida tietokonetta sellaisenaan, koska silloin on saatavilla luotettavuusarvioita MTBF-muodossa, mutta ohjelmistoille ja käyttöjärjestelmille vastaavia arvoja on huomattavasti vaikeampi saada.

2.3 Yhteenveto toteutustavoista

Yhteenvetona voidaan todeta että korjaustietojen muodostamisessa voidaan käyttää (ainakin) kolmea eri periaatetta:

1. Paikallisesti tuotetut korjaukset
2. Paikallisesti tuotettujen korjausten uudelleenlähetyks
3. Virtuaalisesti tuotetut korjaukset

Näistä paikallisesti tuotetut korjaukset edellyttävät luotettavasti toimiakseen tietoa tuottavien komponenttien kahdentamisen, mutta varmistaen toteutettuna ratkaisu on erittäin luotettava.

Paikallisten korjausten uudelleenlähetys kuvien 4 ja 5 mukaisesti tuottaa luotettavuudeltaan huonon ratkaisun sikäli, että luotettavuus on korkeintaan niin hyvä kuin kuunneltavan DGNSS-aseman. Jos kuitenkin on mahdollista saada korjauksia usealta DGNSS-asemalta, ratkaisun luotettavuus paranee. Tuotettujen korjaustietojen tarkkuuteen ratkaisulla ei ole suurta vaikutusta, jos vastaanottavan uudelleenlähetysaseman ja sitä syöttävän DGNSS-aseman välimatka on suhteellisen lyhyt. Lyhyenä välimatkana voidaan pitää tässä tapauksessa alle 80 kilometriä.

Virtuaalisesti tuotetuilla korjauksilla voidaan saavuttaa sekä korjaustiedon tarkkuuden että luotettavuuden paranemista. On kuitenkin huomattava että luotettavuus sille, että korjaustieto on käytettävissä itse lähetysasemalla, on yhtä hyvä (tai huono) kuin käytetty tietoliikenneyhteys.

Tarkkuuden parannus VRS ratkaisussa johtuu siitä, että jokaiselle asemalle voidaan laskea juuri sen koordinaatteihin kohdennetut korjaustiedot. Luotettavuuden parannus taas siitä, että vaikka yksi tai useampi korjaustietoja muodostava asema putoaisi pois virtuaalisesta referenssiasemaverkosta, voi virtuaalisia korjauksia laskeva palvelin muodostaa korjaukset pienemmästäkin määrästä asemia.

Selvityksessä mainittujen jakeluteiden osalta parhaaseen luotettavuuteen päästään MF ja VHF asemien avulla, joiden toiminta on vakiintunutta ja hyvin valvottua. WiMAX-jakelutie edellyttäisi melko tuoreen IEEE802.16e-standardin käyttöönottoa. Laittevalmistajilta on vielä hyvin niukasti saatavilla tietoja niin kyseisen standardin päätelaitteista kuin tukiasemistakin, mutta Suomeen asennetut ensimmäiset verkot tarjoavat jo jonkinlaisen lähtökohdan aiheeseen. Peittoalueen puolesta WiMAX saattaa jatkossa tarjota yhtä hyvän kattavuuden kuin 3G-verkotkin, mutta korkean taajuusalueen takia järjestelmä lienee vahvimmillaan käytettynä paikalliseen toimintaan kriittisten kohteiden lähetyvillä.

3 Laitekanta

Tässä luvussa tarkastellaan markkinoilta saatavilla olevia, eri laitevalmistajien laitteita. Laitetyypit on jaettu siten, että paikalliset erikoislaitteet ovat omana kappaleenaan ja kaupalliset COTS-laitteet omanaan, vaikka molemmat toteuttavatkin samoja toiminnallisuuksia.

3.1 Hardware RSIM laitteet

Paikallisia referenssiasiemalaitteita valmistavia yrityksiä on tätä nykyä hyvin vähän. Valmistuksen ovat lopettaneet niin Trimble kuin Leicakin, koska markkinoita ei oikeastaan ole ollut vuoden 2006 jälkeen (tuolloin tehtiin Kiinan DGNSS- asemaverkon päivitys). Ainoa valmistaja, joka selvitystä kirjoitettaessa löydettiin, on venäläinen RIRT yhdessä kokoonpanotehtaiden kanssa. Laitteistojen tarkoista hinnoista ei ole tietoa. Kuvassa 6 tämän valmistajan Navis CH-3500M GPS GLONAS DGNSS MSK -asema, joka sisältää monitoriaseman CH3502, referenssivastaanottimen CH3501 ja ohjausyksikön (PC).

Navis MF -asema maksaa noin 100 000 – 200 000 € kokoonpanosta riippuen. Saatujen tietojen mukaan laitteita on toimitettu noin kahteenkymmeneen MF-asemaan Venäjälle ja Ukrainaan.

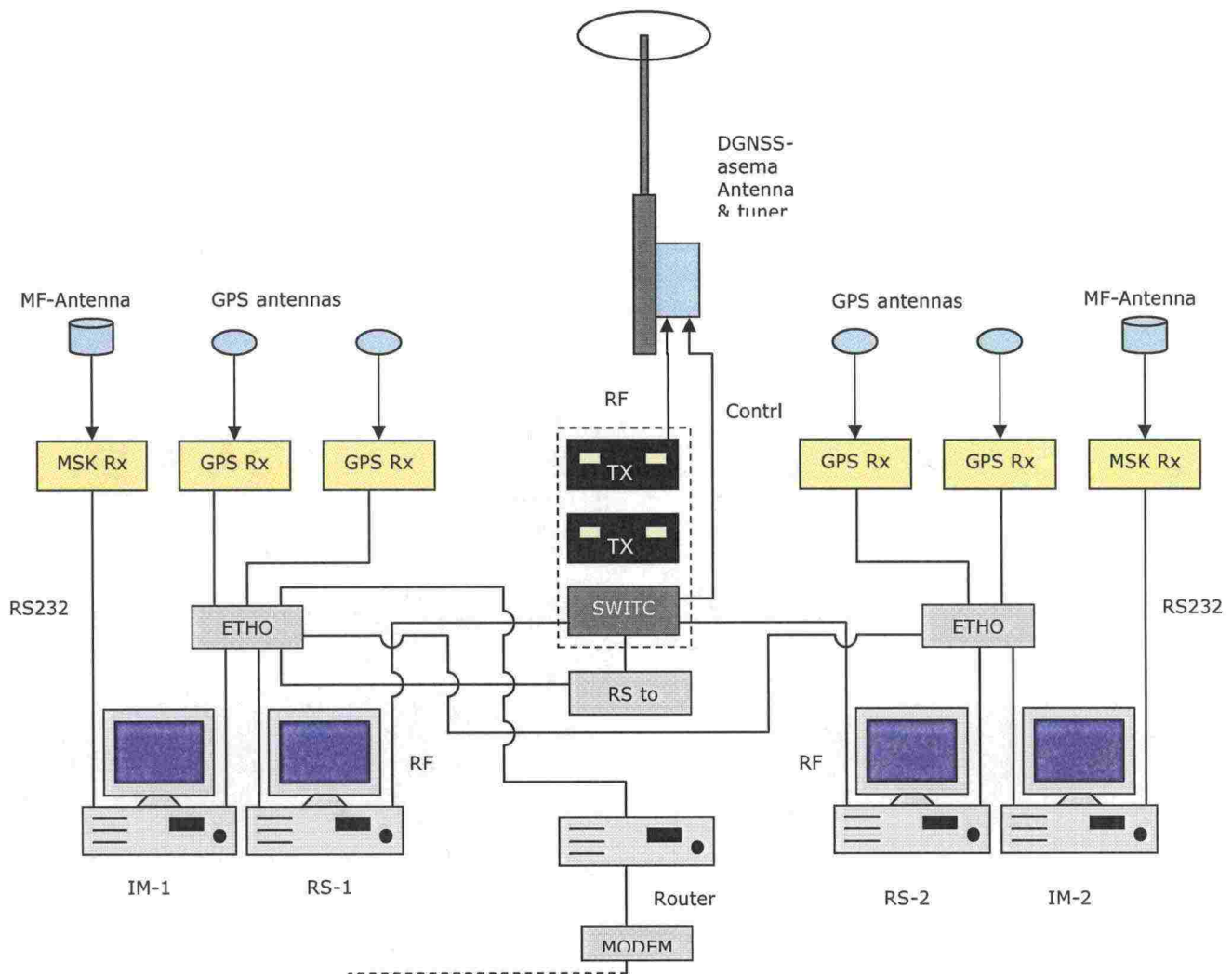


Kuva 6

3.2 Software RSIM laitteet

Tässä kappaleessa tarkastellaan yleiskäyttöisiä laitteita, jotka voidaan sovittaa merenkulun tarkoituksiin, joko tuottamaan differentiaalitietoa (myös VRS-järjestelmässä) tai monitoroimaan korjauslähetyksiä. COTS-laitteita on saatavilla

useilta eri valmistajilta ja useimpia niistä voidaan sellaisenaan käyttää referenssivastaanottimina. Suurimpina valmistajina voidaan pitää maanmittaukseen erikoistuneita laitevalmistajia kuten Trimble, TopCon ja Leica. Näiden valmistajien valikoimasta löytyy sellaisenaan referenssivastaanottimeksi soveltuvia tuotteita, jotka pystyvät tuottamaan referenssidataa myös useammalle satelliittijärjestelmälle (GPS, GLONASS).



Kuva 6

Kuvassa 6 on Yhdysvaltain merivartioston (USCG) toteutus Software RSIM DGSS -asemasta. Laitteisto sisältää GPS-kanavien L1 ja L2 tuen, mutta kaikki muut satelliittipaikannusjärjestelmät ovat toistaiseksi tämän ratkaisun ulkopuolella. Satelliittivastaanotinta vaihtamalla tai vastaanottimen ohjelmistoa päivittämällä olisi mahdollista saada tuki myös muille satelliittijärjestelmille kuten GLONASS ja Galileo.

Taulukossa 1 on vertailtu eri laitevalmistajien COTS laitteita ja niiden hintoja. Jotta saadaan tuotettua DGSS-dataa ja korjauslähetyksasemalta odotettu muu toiminnallisuus, tarvitaan lisäksi palvelintasoisia tietokoneita ja erityisohjelmistoa.

Tarjolla olevia ohjelmistoja hintoineen on kerätty taulukkoon 2. Saatujen tietojen mukaan Trimblen Charisma-ohjelmisto vaikuttaisi olevan ainoa, joka on suunniteltu erityisesti paikallisesti korjauksia tuottaville MF DGNSS- asemille. Ohjelmisto pystyy tukemaan niin MSK DSP -korttia kuin useita eri DGNSS-sensoreitakin.

Laite	Hinta €	GPS	Glonass	Galileo	Compass	Kanavia	Muuta
Leica GMX902	7 500	L1,L2	L1C7A, L2P,L2C	Ei	Ei	?	2kpl PWR portteja
Leica GRX 1200	15 000	RTK,DGPS	L1C7A, L2P,L2C	Vaihto	Vaihto	?	2 kpl PWR portteja
Trimble NetR3	13 000	L1C/A,L2C, L1/L2/L5	L1C7A, L2P,L2C	Ei	Ei	72	BBU sisällä kaikissa
Trimble NetR5	18 000	L1C/A,L2C, L1/L2/L5	L1C7A, L2P,L2C	Ei	Ei	72	SBAS/EGNOS
Trimble NetR8		L1C/A,L2C, L1/L2/L5	L1C7A, L2P,L2C	Ei	Ei	76	SBAS/ EGNOS,MSAS
TopCon GB-3	15 000	L1C/A,L2C, L1/L2/L5	L1C7A, L2P,L2C	L1,E1,E2, E5,E6	Ei	72	SBAS/ EGNOS,MSAS

Taulukko 1

Taulukon 1 laitteiden hinnat ovat yhden kappaleen hintoja. Kaikki toimittajat ilmoittivat, että hinnat laskevat kun laitteiden hankintamäärät kasvavat. Esimerkiksi TopConin edustaja TopGeo ilmoitti, että laitteiden hinnat laskevat jopa 45 % kun hankintamäärä ylittää 10 kpl.

Ohjelmisto	Hinta €	OS	MEM	CPU	Kommentit
TopNet	42 600	Windows	?	?	10 asemaa
Spider	40 000	Windows	?	?	10 asemaa
Charisma	21 000	Windows XP	1 GB	?	1 asemaa
Coastal Center SW	245 000	Win XP Pro, Win Ser	2 GB	3GHz or 1,5 dual core	10 asemaa

Taulukko 2

Charisma-ohjelmiston on aikoinaan kehittänyt suoraan Yhdysvaltain merivartiostolle The XYZs of GPS Inc niminen yritys, jonka Trimble on sittemmin ostanut ja liittänyt ohjelmiston tuotevalikoimaansa nimellä Charisma. Se on kehitetty nimenomaan paikalliseen MF DGNSS käyttöön.

TopNet-ohjelmisto on TopCon:in VRS/RTK-ohjelmisto joka tukee myös paikallista DGNSS-käyttöä. Ohjelmistolla voidaan monitoroida satelliittivastaanottimien toimintaa ja määritellä mitä RTCM-viestejä halutaan tuottaa. Ohjelmisto ei tue MF DGNSS-asemien kaikkia toiminnallisuuksia, vaan vastaanottimet olisi lisäksi liitettävä myös Charisma-ohjelmistoa ajaviin tietokoneisiin.

Spider-ohjelmisto on Leican kehittämä VRS/RTK-ohjelmisto, joka toiminnoiltaan vastanee pitkälti TopNet-ohjelmistoa. Kuten TopNet:in tapauksessa olisi tässäkin vaihtoehdossa vastaanottimet liitettävä myös Charisma-ohjelmistoa ajaviin tietokoneisiin, jotta saataisiin kaikki MF DGNSS -aseman tarvitsemat toiminnot tuotettua.

Trimblen Coastal Center -ohjelmisto tarjoaa ainoana ohjelmistona kaukovalvontamahdollisuuden MF DGNSS -asemille.

3.3 Muut kokoonpanot

Kuvissa 4 ja 5 on yhtenä tiedonvälitystekniikkana AIS-asemalle käytetty MF DGNS - asemien lähetettä. On muistettava, ettei tämänkaltainen tietolähde vastaa paikallisesti tuotettua avustetta. MF-lähete kärsii rannikko- ja satama-alueilla josinällään ihmisen aiheuttamista sähkömagneettisista häiriöistä.

Myöskään ohjelmistoa, joka kykenisi automaattisesti hoitamaan valinnan toiselle DGNS-asemalle ensimmäisen vikaantuessa, ei ole valmiina saatavilla. Ohjelmiston kehitys sellaiseksi että se täyttäisi IALA:n mahdollisesti joskus antamat suositukset, tulee kalliiksi ja on riskialtista tuotetta kehittäville yritykselle.

Muissa kuin paikallisessa DGNS kokoonpanoissa pyritään saavuttamaan riittävä luotettavuus ja laatu jo muualla luodun avustetiedon uudelleen lähettämällä. Mikäli mitään erillistä tarkkailua ei ole toteutettu uudelleenlähettävässä laitteistossa, voi luotettavuus pahimmassa tapauksessa kadota kokonaan, ja virheet lähetyksessä pikemminkin kertautuvat.

4 Luotettavuustarkasteluja

Tässä luvussa tarkastellaan edellisissä kappaleissa käsiteltyjen komponenttien luotettavuutta.

4.1 Hardware RSIM laitteiden vertailu

Paikalliset erikoislaitteet eivät tarjoa juurikaan vertailukohteita hintojen tai laitevalmistajien suhteen, koska vain yksi valmistaja on löytynyt. On kuitenkin oletettava että luotettavuus on samalla tasolla kuin jo käytöstä poistuneitten laitteiden luotettavuus on ollut, eli vastannee noin 10 vuoden käyttöikä. Tietokone kovalevynsä osalta lienee heikoin lenkki ja vaatinee kiintolevyjen uusimisen noin kolmen vuoden välein.

4.2 Software RSIM laitteiden vertailu

COTS-laitteiden mallistot ja toiminnallisuudet ovat muuttuneet lähes vuosittain uusiutuvien satelliittikonstellaatioiden myötä.

Nykyiset COTS-laitteiden maahantuojat lupaavat luotettavuusarvoja jopa yli 300 000 tuntiin asti. Onkin oletettavaa että laitteet ovat laadukkaita ja luotettavia, mutta tarkkoja MTBF- tai FIT-arvoja valmistajat ovat haluttomia antamaan. Leica on ainoana valmistajan edustajana ilmoittanut että heidän laitteensa on ollut toiminnassa kahdeksan vuotta ilman katkoja (24/7) lämmittämättömässä laitetilassa. Koska kaikilla valmistajilla taulukon 1 mukaisesti niin tehonkulutus kuin integraatioaste on lähes yhtäläinen, voidaan olettaa että GNSS-sensorit (vastaanottimet) ovat luotettavuudeltaan lähes yhdenmukaisia.

Luotettavuutta arvioitaessa onkin tutkittava kokonaisuutta toiminnallisuuden kautta. Koska esimerkiksi kuvan 6 laitekokonaisuudessa on mukana neljä tietokonetta tuottamassa tarvittavia tietoja DGNSS-asemalle, voidaan todeta että dominoivana tekijänä on joka tapauksessa tietokoneiden ja ohjelmistojen luotettavuus.

4.3 Tietoliikenneyhteyden luotettavuus

VDR ratkaisuisissa tietoliikenneyhteyksien luotettavuus on järjestelmän toiminnan kannalta ratkaisevan tärkeässä asemassa. Tukeutuminen vain yhteen tiedonsiirtoyhteyteen keskusaseman ja lähetysaseman välillä on suuri riski.

Jos oletetaan että esimerkiksi ADSL- ja GPRS-tiedonsiirtotekniikat eivät sisällä yhtään yhtymäkohtaa koko tietoverkossa muualla kuin lähetysasemalla ja VRS keskusasemalla, niin silloin näiden järjestelmien redundanssi on 100 % ja ne täydentävät hyvin toisiaan. Tämä tarkoittaa, että jos käytetään molempia teknologioita korvaamaan vikatilanteessa toisiaan, saavutetaan luotettavuuden parannus, joka on verrannollinen siihen todennäköisyyteen että molemmat tekniikat vikaantuvat yhtä aikaa. Taulukossa 3 on laskettu luotettavuus silloin kun käytetään kahta eri teknologiaa täydentämään toisiaan siten, että teknologiat ovat vain hyvin vähän toisistaan riippuvaisia.

Tietoliikenne	Luotettavuus
ADSL	99,50 %
450	97,00 %
GPRS	99,00 %
3G	98,00 %
TETRA	99,50 %
ADSL+450	99,99 %
ADSL+GPRS	99,99 %
ADSL+3G	99,99 %
ADSL+TETRA	100,00%

Taulukko 3

Taulukon tulokset on laskettu kaavalla:

$$(A+B) - (A*B)$$

Kaavassa oletetaan että primääriyhteydellä (ADSL) ei ole mitään yhtymäkohtaa langattoman järjestelmän kanssa. Todellisuudessa yhtymäkohtia saattaa olla, mutta niiden vikaantumisen estämiseksi on oletettavasti operaattorien toimesta tehty kaikki mahdollinen.

4.2 Ohjelmistojen luotettavuus

Software RSIM ratkaisussa asetetaan suuri painoarvo ohjelmistojen luotettavuudelle, koska kaikki varsinainen toiminnallisuus (korjausten muodostus, lähetteen laadun tarkkailu sekä kanta-aallonmuodostus ja modulointi) tapahtuu pääsääntöisesti Windows käyttöjärjestelmän päällä toimivien sovellusten avulla. Valmistajat eivät ilmoita MTBF-arvoja yhdellekään ohjelmistolle, luultavasti siksi, että niiden laskeminen kaupallisten laitekoonpanojen ja muuttujien kanssa on liian suuri tehtävä. Paikallisessa Software RSIM ratkaisussa on kuitenkin luotettavuuden varmistamiseksi perusteltua kahdentaa tietokonekomponentit sekä niiden ohjelmistot.

Ohjelmistojen luotettavuutta on vaikea määritellä muuten kuin keräämällä/kyselemällä käyttäjien kokemuksia. Valitettavasti käyttökokemuksia on toistaiseksi vielä niukalti saatavilla. Ei kuitenkaan toisaalta ole mitään syytä olettaa, että järjestelmä ja ohjelmisto, joka ei ole kiinni avoimessa internetissä, ei pystyisi täyttämään sille asetettuja vaatimuksia. Ohjelmapäivitysten yhteydessä voi kuitenkin olla riski haittaohjelmien pääsystä koneeseen.

Suljetussa järjestelmässä, joka pysyy haittaohjelmien ulkopuolella, on käyttöjärjestelmän ja sovellusohjelmien päivittäminen järjestettävä manuaalisesti. Päivitykset voidaan useimmiten kuitenkin tehdä etäkäyttöisesti yhteisestä valvomosta.

4.3 Korjaustiedon luotettavuus

Korjaustiedon luotettavuuden differentiaalijärjestelmässä voidaan katsoa olevan sidoksissa siihen, kuinka tarkasti GNSS-sensori voi oman paikkansa määrittää ennen

korjauksien tuottamista. Toinen vaikuttava tekijä luotettavuuteen on tietenkin edellä käsitelty korjausten muodostus- ja monitorointiohjelmiston laatu ja toiminta.

Taulukossa 4 on valmistajien antamat numeeriset arvot COTS laitteiden paikannustarkkuudelle.

Laite	Tarkkuus	Laatu
Leica GMX902	20 mm	99,5%
Leica GRX1200	20 mm	99,5%
Trimble NetR3	20 mm	99,5%
Trimble NetR5	20 mm	99,5%
Trimble NetR8	20 mm	99,5%
TopCon GB-3	20 mm	99,5%

Taulukko 4.

Taulukosta 4 käy selkeästi ilmi, että kaikilla valmistajilla on hyvin yhtenäinen näkemys tuotteidensa suorituskyvystä.

5 Laitteistojen kustannusvertailu

Tässä luvussa käsitellään korjaustietojen tuottamisesta ja välittämisestä aiheutuvia kuluja siten että CAPEX on laskettu vain laitteistolle ilman asennuskuluja ja OPEX on laskettu tiedonsiirtokuluina kuukausitasolla nykyhinnoin.

Laitteiden kustannusvertailun kohteeksi on otettu kaksi perustapausta:

- toteutus Software RSIM laitteilla ilman VRS-dataa
- toteutus Software RSIM laitteilla siten että tukilaite on tietokone joka muuttaa VRS-dataa paikallisesti RTCM-viestiksi halutulla intervallilla

Kyseinen tarkastelu soveltuu parhaiten MF DGNSS lähetysasemien tapaukseen. Esimerkiksi VHF/AIS asemille ei todennäköisesti taloudellisista syistä olisi järkevää asentaa ns. paikallisia laitteita ollenkaan.

5.1 Tietoliikennekustannukset

Tietoliikennekuluissa on huomioitu eri tietoliikennetarkastelujen kuukausittaiset kustannukset ja näitä lukuja on käytetty kululaskennassa operatiivisena osiona. Taulukoon 5 on kerätty tarkastelussa käytetyt tietoliikennemenetelmät sekä niiden kuukausittaiset kustannukset.

Yhteystyyppi	Kulut €/kk	Luotettavuus	Kommentit
ADSL	40,5	99,5%	33 – 48
450	66	97%	Luotettavuus?
GPRS	14	99%	Luotettavuus?
3G	14	98%	Luotettavuus?
TETRA	0	99,5%	Kapasiteetti pieni

Taulukko 5

Jokaisen tietoliikennetarkastelun osana on pyritty arvioimaan myös yhteyden luotettavuutta, koska tällöin tarkastelun kokonaistaloudellisuus tulee paremmin selville. On huomattava, ettei mikään yhteys yksinään riitä täyttämään luotettavasti tietoliikennetarvetta silloin kun lähetysasemalla käytetään Software RSIM ratkaisua yhdessä VRS-ratkaisun kanssa tai pelkkää VRS ratkaisua. Kiinteätä ADSL tai muuta verkkoyhteyttä tukemaan on lisättävä ainakin yksi langaton tiedonsiirtomenetelmä.

Taulukon 3 kommentti-sarakkeessa on huomioitu ADSL-liittymien kustannushaitari. Langattomien tiedonsiirtomenetelmien kohdalla on kommentti luotettavuudesta, sillä operaattorit käsittelevät edelleenkin luotettavuuslukuja salaisina. Arviot langattomien verkkojen luotettavuudesta perustuvat kokempohjaisiin arvioihin käyttäjäpiiristä. Suomen Erillisverkkojen operoimassa Tetra-verkossa on hyvin dokumentoitu luotettavuustavoite, jota kuitenkin ei ole voitu todentaa dataliikenteessä.

5.2 Software RSIM ratkaisun kustannukset

Tässä luvussa on pyritty hahmottelemaan Software RSIM ratkaisun kustannuksia silloin, kun mitään muuta ratkaisua ei ole kelpuutettu tuottamaan korjaustietoja loppuasiakkaalle. Tässä ratkaisussa jokainen asema tuottaa oman korjaustietonsa, eikä mitään VRS-tietoa ole jaettu asemien välillä. Jokaisella asemalla on oma kahdennettu korjausten muodostamiseen ja laaduntarkkailuun tarvittava laitteistonsa. Taulukossa 6 on laskettu tämän ratkaisun kulut yksittäiselle asemalle. Lähettimen kohdalla on huomioitu modulaattori sekä IM monitorin kohdalla demodulaattori.

Laiteryhmä	MF Beacon €	AIS €	WiMax €	Kommentit
Sensorit (2kpl)	20 000	20 000	20 000	8000-18000€/kpl
Palvelin (2kpl)	3 000	3 000	3 000	IBM dual CPU
Charisma	12 000	16 500	16 500	Lisenssi+mod.
IM	7 000	5 000	5 000	Demodulator
Lähetin	12 500	0	4 000	WiMax AP
Virransyöttö	7 500	0	3 000	Sisältää BBU:n
Antenni	6 000	0	200	Ulkoantenni
Sensoriantennit	3 000	3 000	3 000	1500€/kpl
Yhteensä	71 000	47 500	54 700	

Taulukko 6

Ratkaisulle on laskettu yksikköhinnat eri toteutustavoilla niin MF DGNSS -asemille kuin AIS-asemille ja mahdollisille WIMAX-asemillekin. AIS-asemien tapauksessa on oletettu, että AIS-asemilla on lähettimet, antennit ja modulaattorit valmiina, joten niitä ei oteta laskennassa huomioon.

Koska nämä toteutukset eivät kuitenkaan vastaa peittoalueiltaan toisiaan on seuraavassa taulukossa 7 tarkisteltu kuluja, jotka koituivat jos kullakin jakeluteknologialla tuotettaisiin samankaltainen peittoalue.

Tyyppi	Peittoalue	Tukiasemien lkm	Hinta laitteille €	Hinta käytölle €/kk
MF Beacon	150 km	8	568 000	324
AIS	25 km	35	1 662 500	1 417
WiMax	10 km	100	5 470 000	4 050

Taulukko 7

Kuten ilmeistä, on pienimällä solunsäteellä toimiva teknologia kaikkein kallein, vaikka yksikköhinnat eivät edes olisi kovin suuria.

Laskennassa on tehty muutamia oletuksia, koska kaikkia tarvittavia hintatietoja ei ole saatu toimittajilta. Hintojen puute tuntuu erityisesti ohjelmistojen kohdalla. Laitteistoille on helpompaa saada hintoja myös epäsuorilla menetelmillä. Trimblen Charisma-ohjelmiston hinnan arviointi tuotti erityisiä ongelmia, koska yrityksen Suomen edustaja ei pystynyt asiaa kommentoimaan. Sama ongelma koskee myös Trimblen Coastal Centre -ohjelmistoa. Arvio näiden ohjelmistojen hinnasta perustuu aikaisempaan kokemukseen vastaavan kaltaisista ohjelmistoista.

5.3 Software RSIM + VRS ratkaisun kustannukset

Tässä ratkaisussa toinen varmentava DGNSS-anturi on korvattu tietoliikenneyhteyden kautta asemalle välitetyllä VRS-datalla. Laitteiston hankintakustannusten säästöt siirtyvät tässä ratkaisussa osittain tietoliikenneyhteyden luotettavuuden varmentamiseen. Taulukossa 8 on laskettu tämän ratkaisun kulut eri lähetystapojen osalta. Lähettimen kohdalla on huomioitu modulaattori sekä IM monitorin kohdalla demodulaattori.

Laiteryhmä	MF Beacon €	AIS €	WiMax €	Kommentit
Sensorit (1kpl)	10 000	10 000	10 000	8000-15000€/kpl
Palvelin (2kpl)	3 000	3 000	3 000	IBM dual CPU
Charisma	12 000	16 500	16 500	Lisenssi+mod.
IM	7 000	5 000	5 000	Demodulator
Lähetin	12 500	0	4 000	WiMax AP
Virransyöttö	7 500	0	3 000	Sisältää BBU:n
Antenni	6 000	0	200	Ulkoantenni
Sensoriantennit	1 500	1 500	1 500	1500€/kpl
Yhteensä	59 500	36 000	43 2000	

Taulukko 8

Kuten edellisessäkin kappaleessa on tässäkin laskettu kustannusvaikutukset eri vaihtoehdoille peittoalueittain taulukossa 9.

Tyyppi	Peittoalue	Tukiasemien lkm	Hinta laitteille €	Hinta käytölle €/kk
MF Beacon	150 km	8	476 000 €	436 €
AIS	25 km	35	1 260 000 €	1 907 €
WiMax	10 km	100	4 320 000 €	5 450 €

Taulukko 9

Vaikka ADSL-liittymää varmentavaksi tekniikaksi onkin valittu edullinen GPRS-tekniikka, nousevat tietoliikenteen kulut kuukausitasolla merkittävästi silloin kun asemien määrä kasvaa.

5.4 Hybridikokoonpano

Hybridikokoonpano hyödyntää korjaustietoja eri lähteistä, niin VRS-tietoja kuin esimerkiksi muiden DGNSS-asemien tietoja. Oletuskokoonpanossa on lähdetty siitä että VRS-asemia on lisätty vain tarvittava määrä laskentakolmioiden aikaansaamiseksi. AIS-asemat voivat toimia osana VRS-verkkoa, mikäli ne sijainniltaan sopivasti täydentävät tarvittavaa referenssiasematopologiaa. Loput AIS-asemista hyödyntävät joko DGNSS-asemien muodostamia tietoja tietoliikenneyhteyden kautta tai uudelleenlähettävät MF-taajuudella vastaanotettua tietoa kuvien 4 ja 5 mukaisesti. Taulukossa 10 on laskettu laitekulut tälle ratkaisulle. Lähettimen kohdalla on huomioitu modulaattori sekä IM monitorin kohdalla demodulaattori.

Laiteryhmä	MF Beacon €	AIS €	AIS Beacon €	WIMAX €	Kommentti
Sensorit (1kpl)	10 000 €	10 000 €	0 €	10 000 €	8000-15000€/kpl
Palvelin(2kpl)	3 000 €	3 000 €	1 500 €	3 000 €	IBM dual CPU
Charisma	12 000 €	16 500 €	0 €	16 500 €	Lisenssi+mod.
IM	7 000 €	5 000 €	5 000 €	5 000 €	Demodulator
Lähetin	12 500 €	0 €	0 €	4 000 €	WIMAX AP
Virransyöttö	7 500 €	0 €	0 €	3 000 €	Sisältää BBU:n
Antenni	6 000 €	0 €	0 €	200 €	Ulkoantenni
Sensoriantennit	1 500 €	1 500 €	0 €	1 500 €	1500€/kpl
Yhteensä	59 500 €	36 000 €	6 500 €	43 200 €	

Taulukko 10

Taulukossa 11 on arvioitu tästä ratkaisusta aiheutuvat kulut. Mukana on vielä WiMax-verkon kustannukset esimerkkinä. Jos verkkoa ei toteuteta, ei tule luonnollisesti myöskään kuluja.

Tyyppi	Peittoalue	Tukiasemien lkm	Hinnat laitteille	Hinta käytölle/kk
MF Beacon	150 km	8	476 000 €	436 €
AIS	25 km	8	288 000 €	436 €
AIS Beacon	25 km	27	175 500 €	1 471 €
WiMax	10 km	100	650 000 €	5 450 €

Taulukko 11

Kaikki tietoliikennekulut on laskettu siten, että niissä on käytetty varmentavana tietoliikenneyhteytenä GPRS-yhteyttä.

5.5 Muut kustannukset

Muut kustannukset muodostuvat pääsääntöisesti koko järjestelmän hallintaan sekä VRS-datan muodostukseen liittyvistä ohjelmisto- ja laitekustannuksista. Ohjelmistojen hinnat vaihtelevat suuresti sen mukaan onko ne tehty laajemmille vai kapeille markkinoille. Esimerkiksi VRS-dataa muodostavat ohjelmistot maksavat noin 24 000 – 30 000 neljälle VRS-asemalle, mutta valvontaohjelmisto neljälle DGNSS-asemalle maksanee noin kaksi kertaa enemmän. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että valvontaohjelmistojen markkinat ovat pienemmät, mutta tuotekehitysaika vastaavasti pidempi asetettujen luotettavuuskriteerien takia. Taulukossa 12 on tarkasteltu ohjelmistokuluja muille kuin varsinaisten korjausten välittämiseen ja paikalliseen toteuttamiseen tarvittaville komponenteille.

Muut kulut	Hinta	Asemien lkm	Kommentit	Yhteensä
Coastal Center	25 000 €	10	peruslisenssi	250 000 €
Charisma	21 000 €	16	1+1 kokoonp.	336 000 €
Integrity Manager	5 000 €	8	Demodulator	40 000 €
TopNet	30 000 €/4kpl	18	2 100 €/lisäasema	59 400 €
Spider	20 000 €/1kpl	18	2 000 €/lisäasema	56 000 €

Taulukko 12

Valitettavasti Trimble ei ole antanut hintoja ohjelmistoilleen (Coastal Center ja Charisma). Linja on ymmärrettävä, koska yrityksellä on monopoliasema MF DGNSS-asemien Software RSIM laitteistoissa ja ohjelmistoissa. Arvio Trimblen ohjelmistojen hinnoista perustuu nimenomaan monopoliaseman hyväksikäyttöön ja siihen mitä vastaavanlaiset ohjelmistot totutusti maksavat.

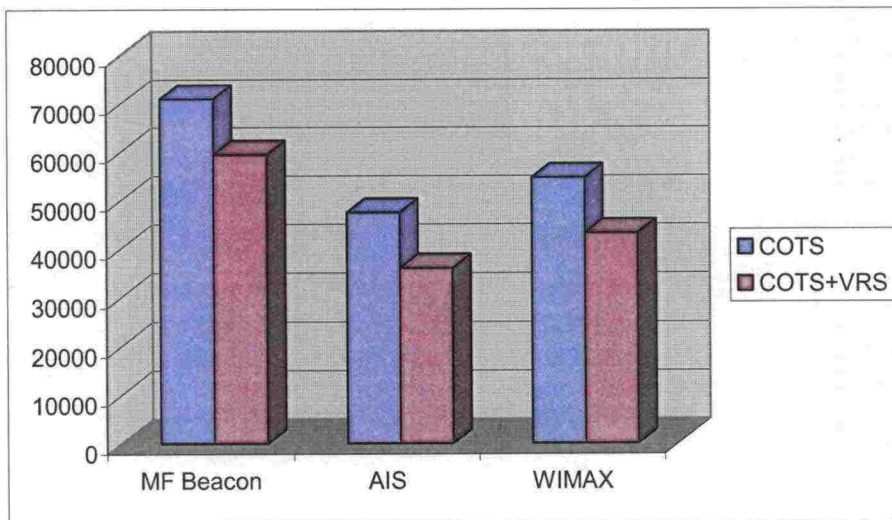
TopNet- ja Spider-ohjelmistot vastaavat toisiaan yleisellä tasolla ja kumpikin näistä ohjelmistoista tarjoaa etähallinnan DGNSS-sensoreille, sekä mahdollisuuden muodostaa VRS-asemia. Nämä ohjelmistot eivät kuitenkaan ole yleiskäyttöisiä vaan laitekohtaisia.

Lisäksi asemien uusimisesta tulee asennus- ja integrointikuluja jotka liittyvät jossain määrin asennettavaan laitteistoon. On oletettavaa että suurimmat laitevalmistajat, kuten Trimble, tarjoavat kokonaistoimitusta järjestelmälle.

6 Yhteenveto

Selvityksessä tarkasteltiin eri toteutustapojen kautta mahdollisuuksia tuottaa mahdollisimman taloudellisesti korjauslähetteitä Merenkululaitoksen avusteiseen satelliittinavigaatiojärjestelmään. Vaihtoehtoja tutkittiin kirjallisten lähteiden kautta ja haastattelemalla laitetoimittajia. Selvityksessä tarkasteltiin luotettavuutta, laatua ja peittoalueita sekä kustannustehokkuutta CAPEX- ja OPEX-laskelmilla.

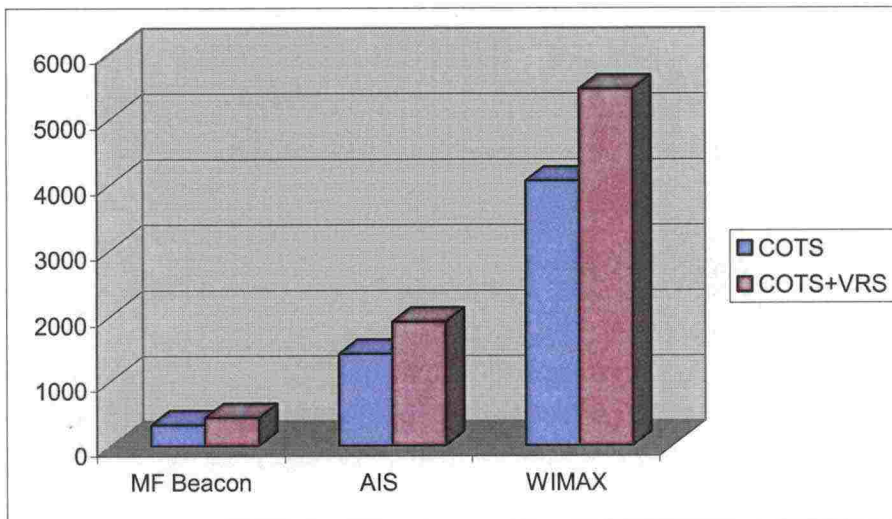
Laitteistojen hinnoilla ei ole suurtakaan eroa eri järjestelmien välillä. Kuvassa 8 on esitetty eri ratkaisujen hintaerot asemakohtaisesti.



Kuva 8

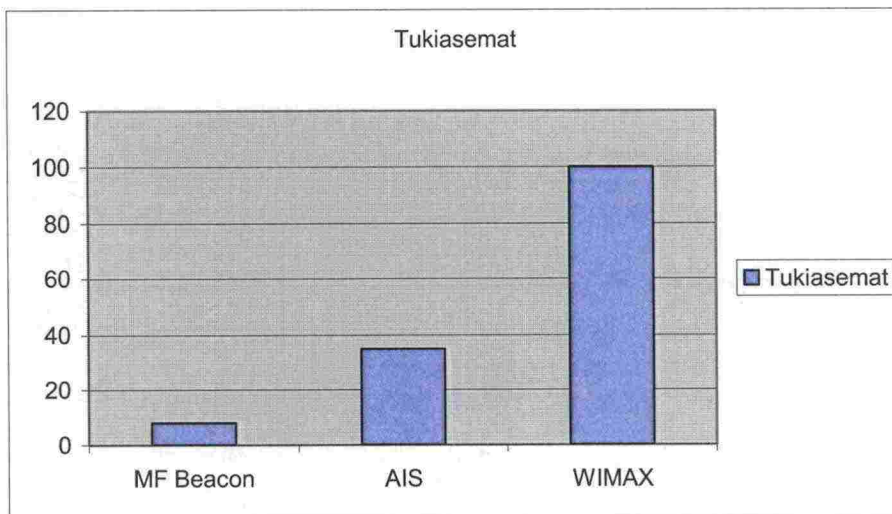
VRS-menetelmällä tuotettu avuste säästää noin 15% kokonaiskuluissa asemakohtaisesti. Järjestelmän kokonaiskulut riippuvat asemien lukumäärästä. Halvin selvityksessä tarkemmin tarkasteltu tapa tuottaa avustetta AIS-asemilla on edelleenlähettää MF-asemien lähetettä. Luotettavuudeltaan ja tarkkuudeltaan tämä ratkaisu ei kuitenkaan ole aivan itsenäisen aseman tai VRS-aseman veroinen.

Kuvassa 9 on tarkasteltu eri toteutustapojen kuukausittaisia tietoliikennekuluja. Mikäli asemilla käytetään VRS-tietoja on tietoliikenneyhteys kahdennettava. Varmistavana yhteytenä voidaan käyttää langatonta yhteyttä, jolloin kustannuksissa saadaan säästöä. Langattomalle yhteydelle rajoituksia asettaa ainoastaan datanopeus ja yhteyden avausaika, jonka pitää olla alle 20 sekuntia IALA:n suosituksen R-121 mukaisesti.



Kuva 9

Tarvittavien lähetysasemien lukumäärä riippuu käytettävästä jakelutiestä. Mikäli käytetään mobiili WiMax -tekniikkaa, tukiasemien lukumäärän on oltava vähintäänkin 100 kappaletta, jotta saavutettaisiin läheskään samankaltainen peittoalue kun MF-aseilla saavutetaan. Kuvassa 10 on kuvattu tarvittavien asemien lukumäärää käytettävän jakelutien mukaan.



Kuva 10

Selvityksen perusteella olisi suotavaa liittää DGNSS korjaustieto AIS-asemien läheteeseen viimeistään sitten, kun IALA saa järjestelmää koskevan suosituksensa valmiiksi. IALA:n suositus R-135 kuvaa tulevaisuuden näkymiä AIS-suuntaisiksi.

7. Lyhenteet

3G	Third generation (lyhenne ns. kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologiolle)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line, laajakaistainen modeemitekniikka
AIS	Automatic Identification System (alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä, toimii VHF taajuuksilla)
CAPEX	Capital Expenditure (investointikulut)
COTS	Commercial off-the-shelf (massatuotteet)
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System (avusteinen satelliittinavigointijärjestelmä, usealle satelliittijärjestelmälle)
DGPS	Differential Global Positioning System (avusteinen GPS satelliittinavigointijärjestelmä)
Galileo	EU:n rakenteilla oleva satelliittipaikannusjärjestelmä
GLONASS	Global Navigation Satellite System (Venäjän ylläpitämä satelliittinavigointijärjestelmä)
GPRS	General Packet Radio Service, GSM verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu
GPS	Global Positioning System (Amerikan Yhdysvaltojen ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä)
FIT	Failures In Time (vikatiheys)
IALA	International Association of Lighthouse Authorities (kansainvälinen väylähallintojen organisaatio)
IP	Internet Protocol (protokolla, joka huolehtii IP-tietoliikennepakettien toimittamisesta perille pakettikytkentäisessä Internet-verkossa)
LOS	Line of Site (näköyhteyden vaativa yhteysväli)
MF	Medium Frequency (300-3000 kHz)
MKL	Merenkulkulaitos
MSK	Minimum Shift Keying (vaihesiirtoon perustuva modulaatiotekniikka)
MTBF	Mean Time Between Failures (keskimääräinen vikaantumisväli)
NLOS	Non Line of Site (yhteysväli, joka ei vaadi näköyhteyttä)
OPEX	Operational Expenditure (käyttökulut)
RSIM	Reference Station and Integrity Monitor (avustejärjestelmään kuuluvien referenssiaseman ja monitorointiaseman muodostama kokonaisuus)
RTCM	The Radio Technical Commission for Maritime Services
RTK	Real Time Kinematic, GPS-signaalin vaihemittaukseen perustuva navigointitekniikka
SBAS	Satellite Based Augmentation System (satelliitin kautta välitettävä satelliittijärjestelmän avuste)
USCG	United States Coast Guard (Yhdysvaltojen rannikkovartiosto)
VHF	Very High Frequency (30-300 MHz)
VRS	Virtual Reference Station (virtuaalinen referenssiasema)
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access (kansainvälinen laajakaistatekniikka)
WLAN	Wireless Local Area Network (langaton laajakaista)

8. Lähdeluettelo

1. IALA Guidelines on Ship-Borne Automatic Identification System Vol 1Part II
2. IALA Recommendation R-121 On Performance of DGNSS Services in the Frequency Band 283.5 – 325 kHz
3. IALA Recommendation R-135 On The Future of DGNSS
4. IALA Guidelines on the Universal Automatic Identification System, Vol 1, Part II- Technical issues edition 1.1
5. Replanning Europe 's Radiobeacon DGNSS Band, David Last & Erdem Turhan SEECS, University of Wales, Bangor, UK
6. Practical Tests on Accuracy and Usability of Virtual Reference Station Method in Finland, Pasi Häkli
7. Nationwide DGPS: 2003 and Beyond, D.B. Wolfe, C.L. Judy, A.B.Kritz, J.A.Chop, M.W. Parsons
8. United StatesCoast Guard Command and Control Engineering Center, Portsmouth, VA, USA
9. Differential GPS Architecture, A. Cleveland, D. Wolfe, M. Parsons Winter 2006 EE&L Qarterly
10. WiMAX Forum: <http://www.WiMAXforum.org/home/>

