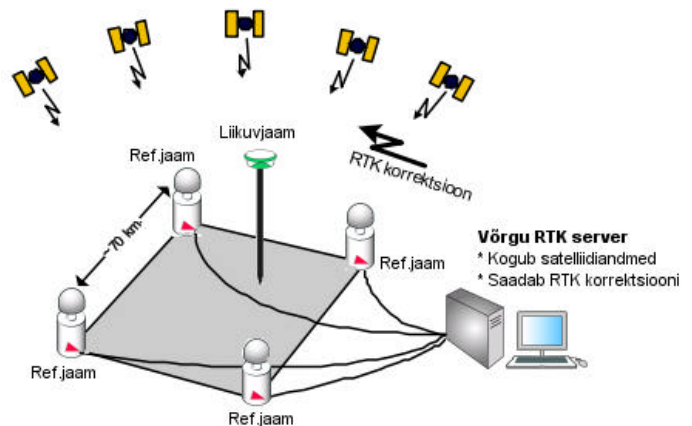


## RTK võrgud – erinevad meetodid

### RTK VÕRGUD – ERINEVAD MEETODID

Kui eelnevalt vaatasime, kas võrgu RTK on majanduslikult kasulik või mitte, siis nüüd keskendume täpsemalt erinevatele võrgu RTK meetoditele: MAX, i-MAX, FKP ja VRS. Erinevatel meetoditel on suured erinevused ning seetõttu saavutatakse erinevad RTK lahendused.

Võrgu RTK teenusepakkuja otsustab, millisel meetodil ta oma võrgus korrektsiooni pakub ning see valik võib märgatavalt mõjutada liikuvjaamas saavutatavat tulemust.



### KUIDAS RTK VÕRGU MEETODIT HINNATA?

Eelnevalt kirjeldasime, kuidas RTK võrgu server koondab kokku kõigi referentsjaamade andmed ning taandab need ühisele tasemele (common ambiguity level). Kasutatavad algoritmid sõltuvad serveritarkvarast, näiteks Leica GNSS Spider.

Kui andmed on ühisele tasemele viidud, siis arvutab serveri tarkvara algoritme, näiteks MAX, kasutades välja RTK korrektsiooni liikuvjaamale.

Kõigi RTK meetodite eeliseks on referents- ja liikuvjaama vahelisest kaugusest tulenevate vigade vähendamine mis võimaldab seetõttu pikemaid vahemaid. Iga meetodi puhul saavutatakse vigade vähendamine erineval viisil.

Selleks, et erinevaid võrgu RTK meetodid hinnata, vajame kindlaid kriteeriumeid mille järgi neid hinnata.

### STANDARDISEERITUD MEETOD

Võrgu RTK meetodeid saab jagada standardiseerituteks ning mitte-standardiseerituteks. Standardiseeritud meetodi puhul kasutab server RTK korrektsiooni arvutamiseks rahvusvahelistel standarditel põhinevaid algoritme, mis on kõigile huvilistele vabalt kättesaadavad. See tagab muutumatuse ning läbipaistvuse kõigile kasutajatele. Standardiseeritud meetod tagab, et liikuvjaamadele saadetakse informatsioon jälgib alati, hoolimata seadme või tarkvara tootjast, standardeid.

Mitte-standardiseeritud meetodi puhul kasutatakse serveri tarkvaras RTK korrektsiooni arvutamiseks mitteavalikke algoritme.

## **LIKUVJAAMA POOLT KONTROLLITUD VÖRGULAHENDUS (ROVER-CONTROLLED NETWORK SOLUTION)**

Võrgu RTK eesmärgiks on vähendada distantsist tulenevaid vigu – optimeerida võrgulahendust ning vähendada liikuvjaama initsialiseerimiseks kuluvat aega suurtel distantsidel.

Sõltuvalt lahendusest kontrollib võrguarvutusi kas liikuvjaam või server.

Liikuvjaama poolt kontrollitud võrgulahendus saavutatakse sellega, et liikuvjaam kontrollib, milliseid referentsjaamu lahenduses kasutatakse, mitut referentsjaama ning millist strateegiat kasutatakse distantsist tulenevate vigade vähendamiseks.

Liikuvjaama poolt kontrollitud võrgulahenduse eeliseks on see, et liikuvjaam saab pidevalt hinnata ning jälgida RTK lahenduse ning RTK korrektsiooni kvaliteeti. Kui liikuvjaama arvutused näitavad, et RTK lahendus ei ole enam optimaalne (näiteks tingituna atmosfääritingimuste muutumisest), saab ta koheselt ümber lülituda mõnele teisele strateegiale, mis on antud oludes optimaalne, säilitades sellega initsialiseerimise ja optimaalse RTK lahenduse.

Serveri poolt kontrollitud võrgulahenduses kasutab server kõigi liikuvjaamade puhul sama strateegiat, mis on optimaalne kogu võrgule kuid mitte igale üksikule liikuvjaamale eraldi.

Server ei tea, milline on situatsioon igas liikuvjaamas. Seega, kui võrgulahendus pole liikuvjaama situatsioonis sobiv, pole ka RTK lahendus optimeeritud ning kiiret initsialiseerimist ei saavutata.

**Selleks, et kindlustada kiiret initsialiseerimist ja optimeeritud RTK lahendust, peab seda kontrollima liikuvjaam.**

## **SATELLIITIDE ANDMETE MAKSIMAALNE ÄRAKASUTAMINE**

RTK võrguserver(id) koguvad andmeid kõigilt võrgus olevatelt referentsjaamadelt ning genereerivad liikuvjaamale saadetava RTK korrektsiooni. Ometi ei kasuta kõik meetodid neid andmeid maksimaalselt ära. Mõningates tingimustes võib see tähendada erinevust selles, kas RTK lahendust on võimalik arvutada või mitte.

Kujutleme olukorda, kus mõõtja on objektil ning saab signaali 8'lt satelliidilt. Mõõtja eeldab, et liikuvjaam suudab ennast kiirest initsialiseerida. Samal ajal võtab üks RTK korrektsiooni genereerimiseks kasutatav referentsjaam vastu vaid 5 sama satelliidi signaali. Sellisel juhul suudavad mõned RTK meetodid genereerida lahenduse vaid 5 satelliidi põhjal või lülitatakse selle referentsjaama andmed lahendusest välja ning nõrgendatakse sellega lahendust. Liikuvjaamale ei pruugi nendest andmetest piisata ning mõõtja jääb ootama ning kaotab asjatult aega.

Mõõtjal võib kasutada olla küll turu parim vastuvõtja kuid selle jõudlus on piiratud vastu-

võetava RTK korrektsiooniga. Olukorda võib võrrelda sellega, kus vana VHS linti vaadatakse moodsa HD televiisoriga.

**Selleks, et maksimeerida liikuvjaama RTK lahenduse arvutust peab RTK võrgu meetod maksimaalselt ära kasutama kõikide satelliitide andmeid.**

## JÄLGITAVUS JA KORRATAVUS

Jälgitavus on tavaline mõõtmiste juures kasutatav põhimõte mida kasutatakse üle maailmselt. Tavaliselt tähendab see seda, et kõik mõõtmised peavad olema seotud füüsiliste objektidega ja neid mõõtmisi peab olema võimalik otseselt korrata.

Näiteks ühe joone mõõtmine referents- ja mõõtepunkti vahel peab olema korratav. See nõuab füüsilist objekti (piilar, nael, jne) ning tagab, et mõõtmist saab realselt korrata.

**Seega peavad ka kõik mõõtmised võrgu RTK puhul olema jälgitavad ning korratavad.**

## JÄRJEPIDEVUS JA JÄTKUVUS

Ühe referentsjaamaga RTK mõõtmisel väheneb mõõtetäpsus seoses referents- ja liikuvjaama vahelise distantsi suurenemisega. RTK võrgu puhul niisugust täpsuse vähenemist ei ole.

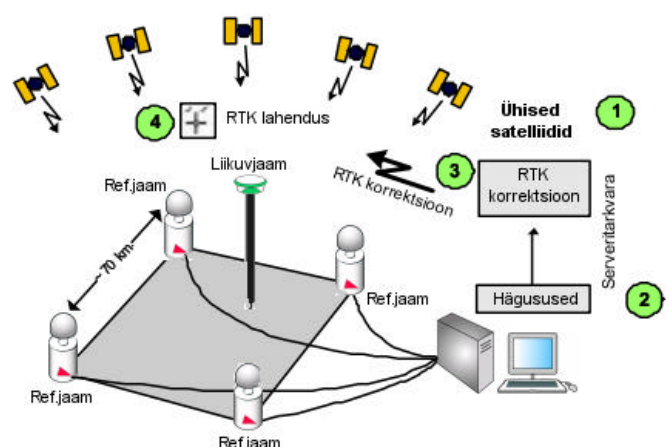
Positsioon ja selle täpsus peavad olema ühtlased kogu mõõtmise ajal (loomulikult tuleb järgida tavalisi GNSS mõõtmiste näitajaid nagu satelliitide nähtavus, DOP, jne.).

Enne erinevate RTK meetodite detailidesse laskumist vaatame korraks RTK serveri ja liikuvjaama vahelisi seoseid. Need seosed on erinevate RTK võrgu meetodite põhiliseks erinevuseks.

## VÕRGU JA LIIKUVJAAMA SEOSED

Miks need seosed tähtsad on? Selgituseks pea meeles neid nelja tähtsat punkti:

- 1. Ühiste satelliitide jälgimine:** liikuvjaam ja võrguserver (referentsjaamade kaudu) saavad andmeid ühtedelt ja samadelt satelliitidelt.
- 2. Võrgu hägususte lahendamine (Resolving Network Ambiguities):** kasutades vastavaid algoritme lahendav võrguserver RTK võrgu hägusused ning viib need ühele tasemele kogu võrgu ulatuses.



3. **RTK korrektsiooni genereerimine:** Server genereerib RTK korrektsiooni ning saadab selle liikuvjaama(de)le.
4. **RTK lahendus:** Liikuvjaam kasutab RTK korrektsiooni RTK lahenduse arvutamiseks.

## **MIKS NEED PARAMEETRID TÄHTSAD ON?**

Need parameetrid on tähtsad kuna nad aitavad mõista mille poolest erinevad meetodid erinevad ning neid erinevusi hinnata.

Kasutaja jaoks on kõige tähtsam osa RTK lahendus. Kasutaja tahab, et lahendus oleks usaldusväärne, täpne, järjepidev, jälgitav ning korratav.

Liikuvjaam peab kõigil neile kriteeriumitele vastama kuid teisest küljest, sõltub see paljuski RTK serveri poolt kasutatavast RTK korrektsiooni genereerimise meetodist.

Ühiselt jälgitavad satelliidid määravad ära kasutatavate andmete hulga. Just andmete hulgast sõltub, kas liikuvjaam saab RTK lahenduse või mitte.

## **NELI ERINEVAT MEETODIT**

---

MAX meetod (Master Auxiliary Corrections) põhineb Leica ja Geo++ poolt aastal 2001 välja pakutud Master Auxiliary kontseptsioonil.

i-MAX (Individualized MAX) meetod arendati välja samal ajal vanematele vastuvõtjatele mis ei toeta MAX korrektsiooni.

FKP (The Flächen-Korrektur Parameter, Area correction parameters) on vanim meetod mis arendati välja Geo++ poolt 90'ndate aastate keskel.

VRS (Virtual Reference Station) meetod arendati välja 90-ndate lõpul firma Terrasat poolt ning see on võrreldav i-MAX meetodiga.

## **I-MAX JA VIRTUAALSED REFERENTSJAAMAD (VRS)**

---

### **MEETOD**

i-MAX ja VRS meetodid on sarnased. Mõlemad on klassifitseeritud individualiseerituna ja nad nõuavad, et liikuvjaam saadaks serverile oma umbkaudse asukoha (NMEA formaadis). i-MAX ja VRS suhe RTK serveriga on näidatud järgnevatel piltidel.

### **Mitte-standardiseeritud meetod**

Mõlemad meetodid kasutavad RTK korrektsiooni genereerimiseks mitte-avalikke algoritme.

### **Serveri poolt kontrollitud võrgulahendus**

Mõlema meetodi puhul arvutab võrgulahenduse distantist tulenevate vigade vähendamiseks server. See tähendab, et lahendus ei ole optimeeritud liikuvjaama asukohale ning

see võib piirata RTK lahendust.

### Satelliitide andmete ära kasutamine ei ole maksimaalne

Mõlemad meetodid genereerivad RTK korrigeerimise mis simuleerib ühelt referentsjaamalt saadavat korrigeerimise. See piirab liikuvjaamas saada olevate satelliitandmete hulka ning võib teatud tingimustes põhjustada selle, et RTK lahendust ei saavutata.

### ERINEVUSED

i-MAX ja VRS meetodid on sarnased kuid mitte identsed. Põhiliseks erinevuseks on see, et i-MAX genereerib korrigeerimise reaalsele referentsjaamale mitte virtuaalset referentsjaama.

#### Jälgitavus ja korratavus

i-MAX korrigeerimine on seotud kindla referentsjaamaga, mis tähendab, et saab alati kontrolliks üle mõõta. Seetõttu on mõõtmised jälgitavad ja korratavad.

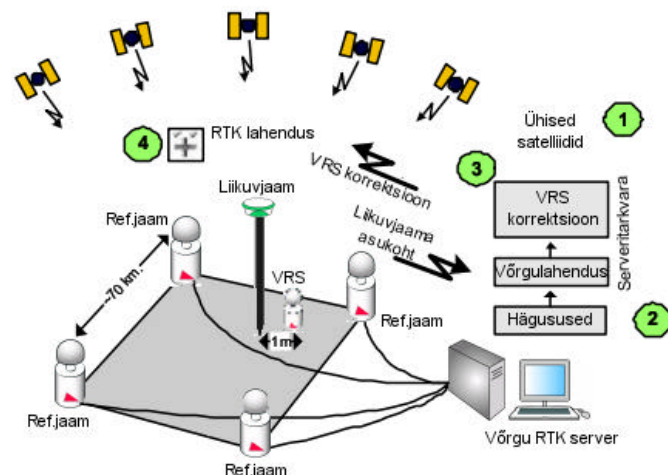
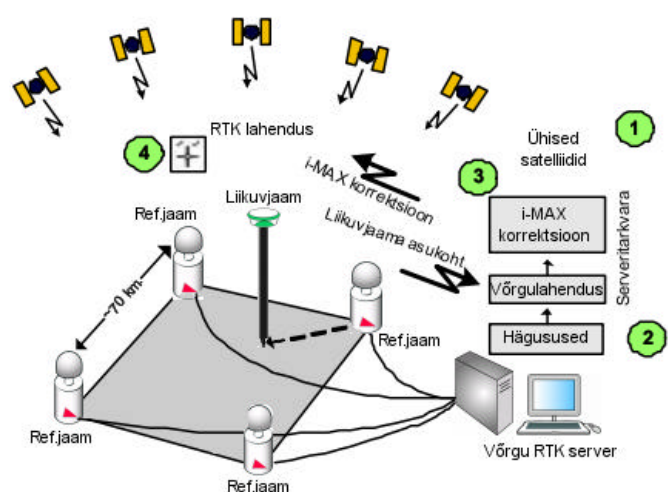
VRS meetodi puhul ei saa liikuvjaam korrigeerimise reaalselt referentsjaamalt ning seda pole võimalik hiljem uuesti üle mõõta. See läheb vastuollu jälgitavuse ja korratavuse põhinõudega.

#### Järjepidevus ja jätkuvus

VRS korrigeerimine on optimeeritud liikuvjaama positsioonile RTK mõõtesessiooni alguses, peale ühenduse võtmise RTK serveriga. Kui liikuvjaama positsioon mõõtmise ajal võrreldes esialgse asukohtaga oluliselt muutub, siis ei pruugi korrigeerimine enam ajakohane olla.

Selle probleemi lahendamiseks võib kasutaja lõpetada mõõtesessiooni ning luua uue ühenduse RTK serveriga ning siis genereeritakse kasutajale uus virtuaalne referentsjaam. Siiski võib uue virtuaalse referentsjaama loomine põhjustada liikuvjaama positsiooni ja täpsuse ebaühtlust ning hüppeid kvaliteedis ja täpsuses.

i-MAX korrigeerimise värskendatakse dünaamiliselt nii, et see järgib pidevalt liikuvjaama asukohta. Lisaks on i-MAX korrigeerimine seotud reaalse referentsjaamaga mis tagab, et positsioon ja täpsus on järjepidevad.



## FKP (THE FLÄCHEN-KORREKTUR PARAMETER, AREA CORRECTION PARAMETERS)

### MEETOD

FKP on edastusmeetod ning ei nõua, et RTK liikuvjaam oma positsiooni serverile saadaks. Selle asemel modelleerib server distantist tulenevad vead ning saadab RTK andmed ühelt referentsjaamalt koos mudeliga.

FKP meetod genereerib alakorreksiooni parameetrid (Ida-lääne ja põhja-lõuna kalded) mis on optimeeritud vaid väikesele alale referentsjaama ümbruses.

### Mitte-standardiseeritud meetod

Meetod kasutab RTK korrektsiooni genereerimiseks mitte-avalikke algoritme.

### Serveri poolt kontrollitud võrgulahendus

FKP meetodi puhul arvutab server distantist tulenevate vigade vähendamiseks võrgulahenduse. See tähendab, et lahendus ei ole optimeeritud liikuvjaama asukohale ning see võib piirata RTK lahendust.

Tavaliselt arvestab serveri poolt genereeritud korrektsioon, et distantist tulenevad vead suurenevad lineaarselt kuid juhul, kui vead ei ole lineaarsed, tekkivad liikuvjaamas interpoleerimisvead. Sellest võivad tuleneda nii halb positsiooni täpsus kui ka probleemid häguste lahendamisel.

### Satelliidiandmete maksimaalne ära kasutamine?

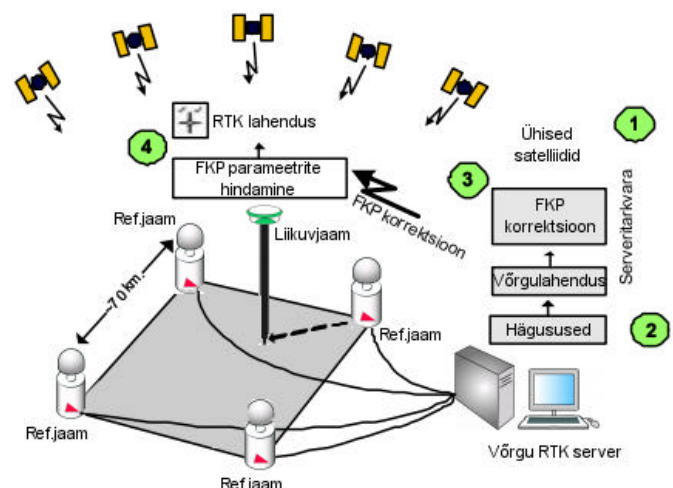
Ehkki FKP meetodi puhul saadetakse referentsjaamast kõik satelliitide andmed, on siin samad piirangud, mis VRS ja i-MAX puhul. Kuna meetod kasutab avalikustamata algoritme, ei saa täielikult kindel olla, et kõik satelliidiandmed maksimaalselt ära kasutatakse.

### Jälgitavus ja korratavus

Korreksioon on seotud reaalse referentsjaamaga, mis tähendab, et alati saab teha kontrollmõõtmisi. Seetõttu on mõõtmised jälgitavad ja korratavad.

### Järjepidevus ja jätkuvus

Liikuvjaam hindab korrektsiooni genereerimiseks oma asukohas alakorreksiooni parameetrid. Kombineerides korrektsiooni RTK andmetega ühelt referentsjaamalt arvutatakse jätkuv RTK lahendus (positsioonid ja täpsus) - arvestades, et liikuvjaam ei liigu referentsjaamast, mille alusel FKP parameetrid on loodud, liialt kaugele.



## MAX KORREKTSIOON

### MEETOD

MAX (Master Auxiliary Concept) meetodi puhul saadab server kõik ühelt referentsjaamalt (Master Station) pärinevad toor satelliitandmed liikuvjaamale. Kõigilt teistelt RTK võrgus olevatelt referentsjaamadelt (või nende alamhulgalt, auxiliary stations) saadetakse ainult lahendatud hägusustega jälgimisandmed ning koordinaatide erinevused Master Stationiga.

#### Standardiseeritud meetod

MAX kasutab võrgu RTK korrektsiooni genereerimiseks ning liikuvjaamale saatmiseks avalikustatud algoritme ning on seetõttu standardiseeritud meetod. Lisaks sellele on andmed alati jälgitavad ning põhinevad reaalsel referentsjaamal.

RTCM Special Committee 104 on seda tunnustanud ning teinud MAX'ist ainsa standardiseeritud RTK meetodi lisades selle RTCM 3.1 standardisse.

#### Liikuvjaama poolt kontrollitud võrgulahendus

Master Auxiliary kontseptsioon annab liikuvjaamale võimaluse kasutada lihtsat võrgukorrektsiooni interpoleerimist, nagu FKP või täpsemaid kalkulatsioone (näiteks arvutada jooned mitme referentsjaama kohta). See tähendab, et liikuvjaam saab jälgida RTK lahendust ning muuta arvutusi lennult optimeerimaks RTK lahendust. See on põhiliseks eeliseks võrreldes FKP ja kõigi teiste meetodiga.

#### Satelliitandmete maksimaalne ära kasutamine

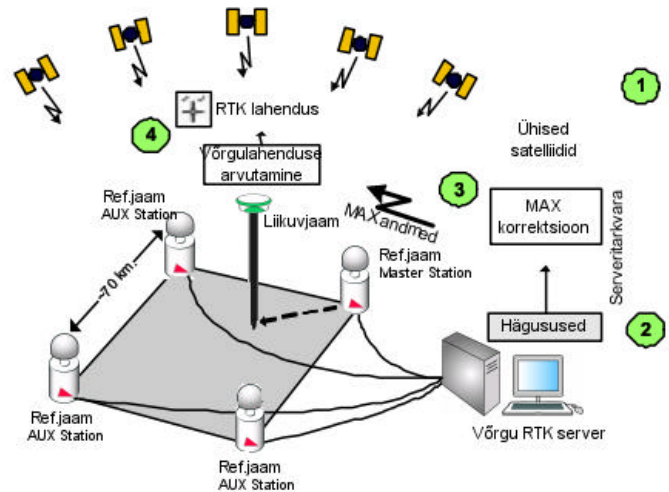
MAX andmetega saab liikuvjaam taastada vähendatud hägususega andmed igast referentsjaamast ja maksimeerida kõigi saadaolevate satelliitandmete kasutamist RTK lahenduse arvutamiseks.

#### Järjepidevus ja jätkuvus

Liikuvjaamal on võimalik kohaneda valitsevate atmosfääritingimustega kasutades sobival arvul referentsjaamu, et modelleerida ulatuslikult atmosfääri aktiivust. Liikuvjaam saab veenduda, et RTK lahendus (positsioon ja täpsus) on järjepidevad kogu möötmise vältel.

#### Jälgitavus ja korratavus

MAX korrektsioon võimaldab liikuvjaamal mööta joont reaalse referentsjaamani. Seetõttu on möötmised jälgitavad ja korratavad.



## ERINEVATE MEETODITE VÖRDLUSE KOKKUVÕTE

	Distantist tulenevate vigade vähendamine	Jälgitavus ja korratavus	Järjepidevus	Maksimaalne satelliidiandmete kasutamine	Standardiseeritud meetod	Liikvjaama poolt kontrollitud lähendus
VRS	JAH	EI	EI	EI	EI	EI
i-MAX	JAH	JAH	JAH	EI	EI	EI
FKP	JAH	JAH	JAH	?	EI	EI
MAX	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH

Tabelis on ära toodud erinevate RTK meetodite hindamise kokkuvõte.

**MAX on ainuke meetod, mis vastab kõigile vajalikele kriteeriumitele ning võimaldab kasutajal saada parima võimaliku RTK lahenduse.**

### LÕPETUSEKS

- MAX on ainuke rahvusvaheliselt standardiseeritud võrgu RTK meetod.
- MAX on ainuke meetod, kus distantist tulenevad vead arvutatakse liikuvjaamas.
- MAX on kõige arenenum meetod kasutamaks kogu saadaolevat informatsiooni.
- MAX kasutab ainult reaalsest referentsjaamadest saadavat infot (jälgitavus ja korratavus).
- MAX tagab järjepidevad tulemused.
- i-MAX on parim individualiseeritud RTK meetod.
- i-MAX on mõeldud vanematele vastuvõtjatele mis ei toeta MAX korrektsiooni.
- i-MAX, VRS ja FKP ei vasta RTCM standardile.