

TARTU ÜLIKOOL
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Arvutitehnika ja robotika õppekava

Ragnar Margus

**Kergliiklusvahendite jagamisteenuseks
vajaliku positsioneerimismooduli
loomine ja uurimine**

Magistritöö (30 EAP)

Juhendajad:

TÜ robotika dotsent Karl Kruusamäe
Hedgehog OÜ tehniline juht Indrek Rebane

Sisukord

Sisukord	2
Jooniste loetelu.....	4
Tabelite loetelu.....	5
Mõisted	6
Resümees/ abstract	7
1. Sissejuhatus	8
2. Kirjanduse ülevaade	9
2.1 Linnatransport ja elektritõukerattad	9
2.1.2 Autod linnades	9
Ühistransport	9
2.1.3 Dokkidega kergliiklusvahendid	9
2.1.4 Dokkideta kergliiklusvahendid	10
2.1.5 Laenutatavad elektrilised tõukerattad	10
2.1.6 Rendiliiklusvahendite laenutamine	10
2.2 Satelliitnavigatsioonisüsteem	11
2.2.1 Satelliitnavigatsioonisüsteemi põhiosad	11
2.2.2 GNSS-positsioneerimine.....	12
2.2.3 Satelliitnavigatsiooni usaldusväärsus.....	14
2.2.4 Satelliitnavigatsioonisüsteem kasutuses linnatranspordis.....	15
3 Töö ülesande püstitus	16
4 Nõuded tööle.....	17
4.2 Nõuded püsivarale	17
4.3 Nõuded testimisrakisele.....	17
5 Tarkvaralahendus.....	18
6 Testimine	19
6.2 Meetodiks.....	21
6.2.1 Sõidutest.....	21
6.2.2 Paigutustest.....	22
6.2.3 Külmkäivitustest.....	23
6.3 Tulemused	23

6.3.1	Sõidutest.....	23
6.3.2	Paigutustest	29
6.3.3	Külmkäivitustest	31
6.4	Järeldused	33
7	Kokkuvõte	34
	Bibliography	35
	Tänuavaldus	40
	Lihtlitsents.....	41

Jooniste loetelu

Joonis 1. GNSSi kosmose-, kontroll- ja kasutajasegment ning nende suhe üksteisega [22].

Joonis 2. Vastuvõtja positsiooni hindamine kasutades kolme satelliiti [1].

Joonis 3. Teekasutaja maksustamise probleem [23].

Joonis 4. (a) Signaalide peegeldumisega tekkinud interferents. **(b)** Otsese nähtavuseta signaali vastuvõtmine [23].

Joonis 5. Nutistumooduli püsivara kujutav skeem.

Joonis 6. Seadmete paigutus rakises.

Joonis 7. Testrakis auto katusele kinnitatuna.

Joonis 8. Seadme kaugus torust. Kollasega on tähistatud nutistumooduli elektroonikaplaad, sinine nool kujutab kaugust elektroonikaplaadi ja toru vahel.

Joonis 9. Sõidutestil GNSS-seadmete poolt jäädvustatud teekond.

Joonis 10. Koordinaatide puudumise tõttu tekkinud „hüpped“.

Joonis 11. Täpsuse ja tabavuse erinevus [26].

Joonis 12. Erinevus nutistumooduli ja uBlox NEO-M8P-2-10 pool raporteeritud koordinaatide vahel sõidutestil läbitud marsruudil. Joonisele on kantud ainult need punktid, kus kõik seadmed edastasid koordinaadid täpselt samal ajahetkel.

Joonis 13. 110000 mõõtepunkti sorteeritud järjekorras, graafikul on kujutatud keskpunktiks mediaan ja selle 10000-punktine ümbrus.

Joonis 14. Taaskäivitumustestis olnud seadmetel % katsetest koordinaat määratud vastavaks ajaks.

Tabelite loetelu

Tabel 1. *Koordinaatide puudumise põhjustanud tegurite arv kordades.*

Tabel 2. *Seadmete koordinaatide keskmine ja mediaanerinevus uBlox seadme suhtes.*

Tabel 3. *Paigutustesti jooksul kogutud andmete kokkuvõte.*

Tabel 4. *Külmkäivitustesti tulemuste kokkuvõte.*

Mõisted

BLE (*Bluetooth Low Energy*) – juhtmevabavõrgu tehnoloogia, mis võimaldab ühendusi erinevate seadmete vahel nagu sülearvuti, mobiiltelefon ja muud pihuseadmed.

ESA (*European Space Agency*) – Euroopa Kosmoseagentuur

GSM (*Global System for Mobile communication*) – globaalne mobiilside süsteem

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) – globaalne satelliitnavigatsioonisüsteem

GPS (*Global Positioning System*) – Ameerika ühendriikide globaalne positsioneerimissüsteem

GLONASS – Venemaa satelliitnavigatsioonisüsteem

GALILEO – Euroopa Liidu satelliitnavigatsioonisüsteem

GGA – NMEA standardiga paika pandud struktureeritud GNSS lause. Sisaldab olulisi positsioneerimisandmeid.

GSV (*Satellites in View*) – NMEA standardiga paika pandud struktureeritud GNSS lause. Sisaldab informatsiooni nähtavate satelliitide kohta.

IoT module (*Internet of Things module*) – **nutistumoodul** on seade, mis võimaldab ühenduda internetti erinevatel seadmetel nagu külmkapp, veekeedukann, termostaadid jms.

NMEA - *National Marine Electronics Association*

SNR (*signal to noise ratio*) – **signaali ja müra suhe** väljendab kasuliku signaali võimsusele lisandunud müra suhet

SBAS (*Satellite Based Augmentation System*) – Satelliitide süsteem, millega täiendatakse keskorbiidil tiirlevate satelliitide informatsiooni kasutades geostatsionaarseid lisasatelliite.

QR code (*Quick Response code*) – **Ruutkood** on kahemõõtmeline maatrikskood, mis võimaldab skaneerida informatsiooni mobiiltelefoni.

Resümees/ abstract

Kergliiklusvahendite jagamisteenuseks vajaliku positsioneerimismooduli loomine ja uurimine

Kergliiklusvahendite jagamisteenust osutades on probleemiks nende asukoha teadmine, selleks on vajalik liiklusvahenditele lisada positsioneerimist võimaldav lisaelektronika. Lõputöös käsitletakse probleeme, mis esinevad satelliitnavigatsioonisüsteemide vastuvõtjate ja nende testimisega.

Töö käigus kirjutati nutistumoodulile satelliitnavigatsiooni teel jälgimist võimaldav manusvara, töötati välja ning teostati ka testid.

Testidest selgus, et nutistumooduli positsioneerimisvõimekus on piisav, et seda kasutada ettenähtud otstarbel. Loodud teste on võimalik rakendada ka edaspidiselt riistvara ja manusvara arendamisel.

Märksõnad: Nutistumoodul; GNSS; GPS; GALILEO; testimine; elektritõukerattad; linnastumine

CERC: T170 Elektronika; T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia

Development and testing of a IoT module for electric vehicle sharing service

A problem with bike and scooter-sharing systems is locating the vehicles. As a solution additional electronics for positioning the vehicles has to be added. The thesis covers problems that come around with GNSS-receivers and testing them.

Firmware capable of tracking the IoT module was created and the reliability was tested. Methods for testing the reliability were designed and the tests were conducted.

The results of the tests confirmed that the tracking capabilities were sufficient for the intended purpose. The tests can and will be used to test further development of the hardware and firmware.

Keywords: IoT-module; GNSS; GPS; GALILEO; testing; electric scooters; urbanization

CERC: T170 Electronics; T120 Systems engineering, computer technology

1. Sissejuhatus

Tänapäeva kiiresti arenevas ühiskonnas on muutunud liikumisvabadus järjest tähtsamaks. Kiire elutempo sunnib inimesi olema peaaegu kahes kohas korraga. Selle saavutamiseks on vaja aga ühest kohast teise liikumiseks võimalikult lihtsasti kasutatavat ning kättesaadavat lahendust. Üha enam propageeritakse linnades ühistranspordi kasutamist, et vähendada tänavatel liiklevate autode hulka ning kaasnevat keskkonnakahju. Inimeste kasutusmugavuse seiskohast vajab klassikaline ühistransport, nagu metrood, trammid, trollid ja bussid, personaalsemat lisateenust, et tagada üksikisiku hõlbus jõudmine lõppsihtkohta.

Paljudes maailma linnades (näiteks Pariisis, New York'is ja Pekingis) on võimalik nutitelefoni abil rentida kergliiklusvahendeid (elektrijalgrattaid või rollereid), et jõuda kiiresti sihtkohta (näiteks metroopeatusest ülikoolilinnakusse) [1], [2]. Renditava kergliiklusvahendiga sõidu alustamiseks on tarvis kasutada vastava teenuse pisiprogrammi, milles kuvatakse lähimate liiklusvahendite asukohad. Laenutamise alustamiseks tuleb nutitelefoni skaneerida sellele kinnitatud *QR*-kood ning sõiduvahendi korrasoleku korral võetakse lukk maha ning sõit võib alata [1], [3], [4]. Lõpetamiseks tuleb liiklusvahend parkida vabasse dokki. Dokki parkides seade lukustatakse ning kasutaja tasub arve, mis on koostatud vastavalt sõidu ajalisele pikkusele. [1]

Üha rohkem on populaarsust kogumas elektrilised tõukerattad. Jagamisteenuses kasutatavatele tõukeratastele on kinnitatud nutistumoodul, mida kasutatakse selleks, et ratas üles leida. Moodul saadab ka informatsiooni ratta olekust nagu näiteks aku laetustase, mis võimaldab tühja ratta õigeaegselt laadima panna. Sõidu lõpetamiseks pole kindlat kohta, kuhu tõukeratas parkida, piisab vaid nutitelefoni sõidu lõpetamisest, kuid teenusepakkujad paluvad rattad jätta selliselt, et need ei jää ette kaasliiklejatele ning oleksid kergesti leitavad. Elektritõukerattad on väga populaarsed USAs, kus võib neid leida igas suuremas linnas ja ülikoolilinnakus [5].

Lõputöö eesmärgiks on välja töötada nutistumooduli positsioneerimisvõime ja välitestide abil valideerida selle töökindlus. Töö käigus tegeleti seadmele asukohamääramise võimekuse arendamisega ning selle täpsuse ja töökindluse testimisega. Töö tulemusena valmis nutistumoodul, mis kinnitub elektritõukeratta külge. Seade ühendub interneti kasutades telefonivõrku, mis võimaldab mõjutada tõukeratta käitumist ning koguda informatsiooni selle oleku ning asukoha kohta. Töö käigus teostati mitmeid GNSS-mõõtmisi ning töötati välja meetoodika, mida kasutatakse ka edasise arenduse käigus.

2. Kirjanduse ülevaade

Järgnevas peatükis antakse lühiülevaade erinevatest liiklusvahenditest, mida on võimalik kasutada linnas liiklemiseks, tehakse sissejuhatus satelliitnavigatsiooni ning räägitakse satelliitnavigatsiooni usaldusväärsusest.

2.1 Linnatransport ja elektritõukerattad

2.1.2 Autod linnades

Liiklemiseks linnas on inimestel võimalusi valida väga paljude variantide vahel. Isikliku auto, takso või sõidujagamisteenuse (Uber, Bolt) kasutamine on individuaalse transpordiviisina ühed kõige mugavamad variandid.

Sõidujagamisteenused toimivad justkui taksod, kuid nende eeliseks on võimalus jagada kulusid juhuslike kaassõitjatega, kes võetakse teekonna jooksul peale [6], [7].

Paraku on üleautostumine linnades suureks probleemiks, autode tõttu tekkivad liiklusummikud, suurel hulgal saastet ning parkimisprobleemid [8].

Ühistransport

Eelnimetatud probleemi lahendamiseks on linnadeesse rajatud ühistransporditeenused nagu bussi-, trammi-, trolli- ning rongiliinid [9]. Transpordivahendile mahub korraga peale suurel hulgal inimesi, mis vähendab autode arvu linnas. Ühistranspordi kasutamisega kaob ka kohustus mõelda isikliku sõiduvahendi parkimisele [10].

Piiratud marsruuti mööda sõites on võimalik vähese tasu eest katta pikki vahemaid [11]. Ühistransport aga eeldab seda, et inimesed jälgiksid sõidugraafikuid, mis piirab nende liikumisvabadust [12].

2.1.3 Dokkidega kergliiklusvahendid

Maailmas kasutatakse rattaringluses üsna palju dokkides pargitavaid jalgrattaid. Sealhulgas on võimalik kasutada nii tavajalgratast kui ka selle elektrilist varianti. Rattaringluse teenust saavad Tartu inimesed kasutada 2019-nda aasta 8. juunist [13], [14], [15]. Dokkides pargitavate jalgrattaringluse rataste eeliseks on see, et laenutamise alustamiseks on selleks kindel koht.

Probleemiks on aga tühjad jäävad dokid ning teenuse pakkujatel tekkiv kohustus rattad ümber jagada [16].

2.1.4 Dokkideta kergliiklusvahendid

Olemas on ka dokkideta elektrirattad, millel on elektrooniline lukk rattal küljes [17]. Selliste rataste parkimiseks pole vaja otsida spetsiaalset parklat, vaid sõidu võib mugavalt lõpetada sihtkohas [18]. Miinuseks on aga see, et sõidu alustamiseks on aga tarvis ratas kõigepealt üles leida [18].

2.1.5 Laenutatavad elektrilised tõukerattad

Tõukerattad on väikeste mõõtmete ja madala kaaluga kergliiklusvahendid. Linnatänavatel on tihti neid näha laste kasutuses. Oma kompaktsuse tõttu on tõukeratast lihtne kaasas kanda, ka ühistranspordis. Tõukerattaga on võimalik sõita vaid sillutatud kergliiklusteedel.

Elektritõukerataste tippkiiruseks on 30 km/h ja maksimaalne sõiduulatus 45km [19]. Elektritõukerataste eelis muude kergliiklusvahendite ees on see, et nendega on võimalik liigelda püstises asendis. Sõitmisel pole vaja muretseda riiete määrdumisele ega higistama hakkamisest, sest üldjuhul füüsiline töö sõitmisel puudub.

2.1.6 Rendiliiklusvahendite laenutamine

Renditavate liiklusvahendite kasutamiseks on tarvis maksta alustustasu ning seejärel väiksem summa sellest iga järgneva minuti eest. Nii on ka rendielektritõukeratastega, nt USA ettevõtte Bird võtab oma elektritõukerataste sõidu alustamise eest \$1 ja iga järgneva minuti eest \$0.15 [20].

Tartu elektrijalgratate laenutamine üheks päevaks läheb maksma 5 €, nädalaks 10 € ja aastaks 30 € [14].

2.2 Satelliitnavigatsioonisüsteem

Seoses kergliiklusvahendite jagamisteenusega on tarvis sõiduvahendeid mingil viisil üles leida. Antud lahendus kasutab selleks satelliitnavigatsioonisüsteemi, järgnevad peatükid annavad lühiülevaate satelliitnavigatsioonisüsteemide kohta.

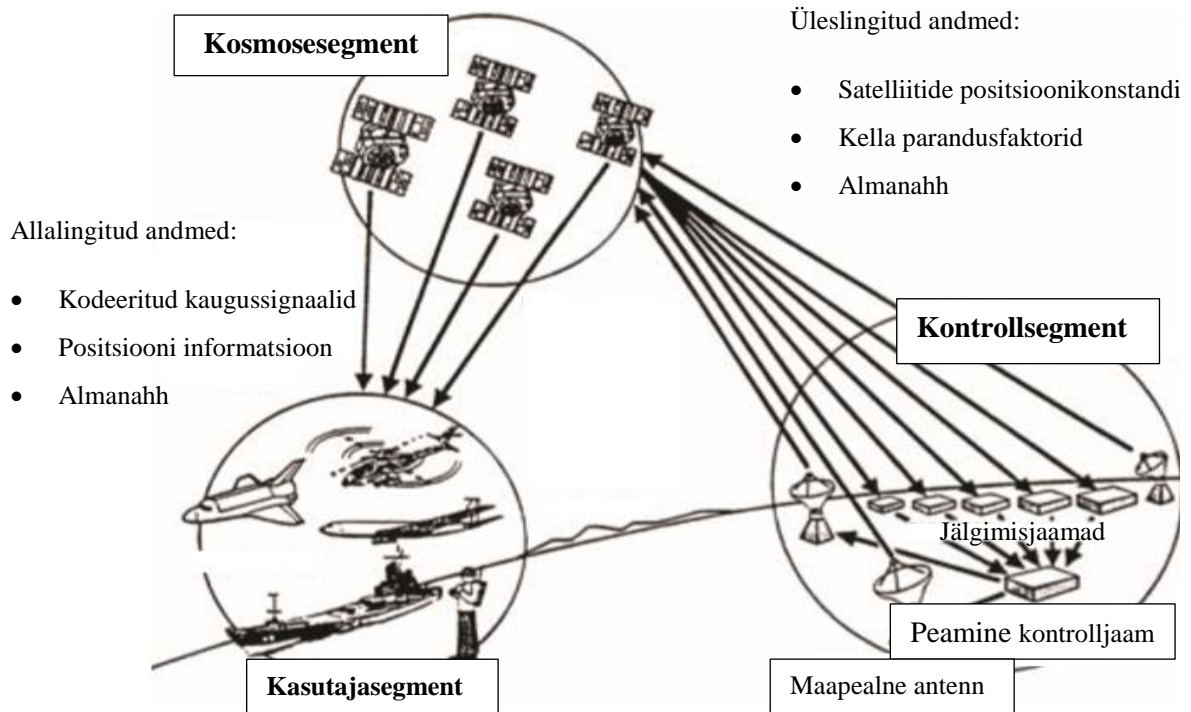
2.2.1 Satelliitnavigatsioonisüsteemi põhiosad

Tüüpiline satelliitnavigatsioonisüsteem koosneb kolmest osast: kosmose-, kontroll- ja kasutajasegmendist [21].

Kosmosesegmendi moodustavad ümber Maa keskorbiidi tiirlevad satelliidid (joonis 1). Selleks, et tagada pidevat globaalset positsioneerimist on tarvis piisava arvu satelliitidega süsteemi. Süsteem tagab selle, et vähemalt neli satelliiti on pidevalt kasutajale nähtavad. Satelliidi platvormi moodustavad enamjaolt aatomkell, arvuti, transiiver ning muu lisavarustus, mis võimaldab süsteemil töötada nii nagu ette nähtud. Satelliidid saadavad fikseeritud intervalliga digitaalset navigatsiooniinformatsiooni, mis sisaldab nende positsiooni taevas ja aatomkelladega tagatud täpset kellaega. Satelliitide poolt saadetud signaali põhjal on kasutajal võimalik arvutada kaugus antud satelliidist. Iga sõnumiga tulev informatsioon võimaldab määrata satelliidi hetke asukohta ruumis. Tulenevalt sellest on kasutajatel võimalik määrata oma asukoht satelliidi suhtes. Satelliitide eristamiseks kasutatakse erinevaid süsteeme - käivitamisjärjekorra number, orbiidi positsiooni number, süsteemipõhine nimi jne. [21]

Kontrollsegmendi ülesandeks on pidevalt jälgida satelliitide asukohta taevas, orbiidilt kõrvalekallete korral neid juhtida ja saata sellest tulenevalt asukohta parandusandmeid ning hoida kellaega sünkroonis kogu süsteemil. Kontrollsegmendi moodustavad maapealsed kontrolljaamad (joonis 1). [21]

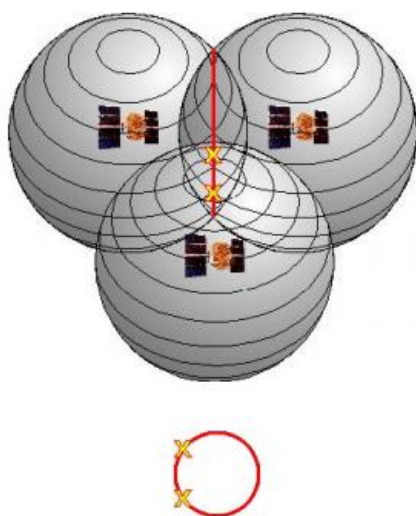
Kasutajasegmendi moodustavad elektroonilised vastuvõtjad, mis satelliitidelt saadud andmete põhjal arvutavad välja kasutaja täpse asukohta ja kiiruse. Kasutajad on liigitatud kahte erinevasse kategooriasse – militaar- ja tsiviil-, sealjuures autoriseeritud ja autoriseerimata kasutajad. [21]



Joonis 1. GNSSi kosmose-, kontroll- ja kasutajasegment ning nende suhe üksteisega [22].

2.2.2 GNSS-positsioneerimine

Vastuvõtjad kasutavad enda positsioneerimiseks trilateratsiooni – enda asukoha arvutamine toimub kasutades kaugust satelliitidest. Olukorras, kus vastuvõtjal on näha vaid üks satelliit, võib vastuvõtja asuda mistahes punktis kera pinnal, mille raadiuseks on arvutatud kaugus ning keskpunktiks antud satelliit. Kahe või enama satelliidi korral on vastuvõtja positsiooniks vastavate satelliitide ümber joonistatud kerade lõikumistasand. Joonisel 2 on kujutatud kolme satelliidi poolt moodustunud kerade lõikumine. Punane ring (joonise 2 alumine osa) tähistab kahe satelliidi omavahelist lõikumistasandit ja kollased ristid kolmanda kera lõikumist teiste suhtes. [21]



Joonis 2. Vastuvõtja positsiooni hindamine kasutades kolme satelliiti [1].

Kahedimensionaalseks positsioneerimiseks (pikkus- ja laiuskraad) on tarvis arvutada kaugust kahest satelliidist. Kolme kera korral on ristumispunkte kaks, kuid enamasti võime eeldada, et Maa on sfäär ning me asume selle pinnal. [21]

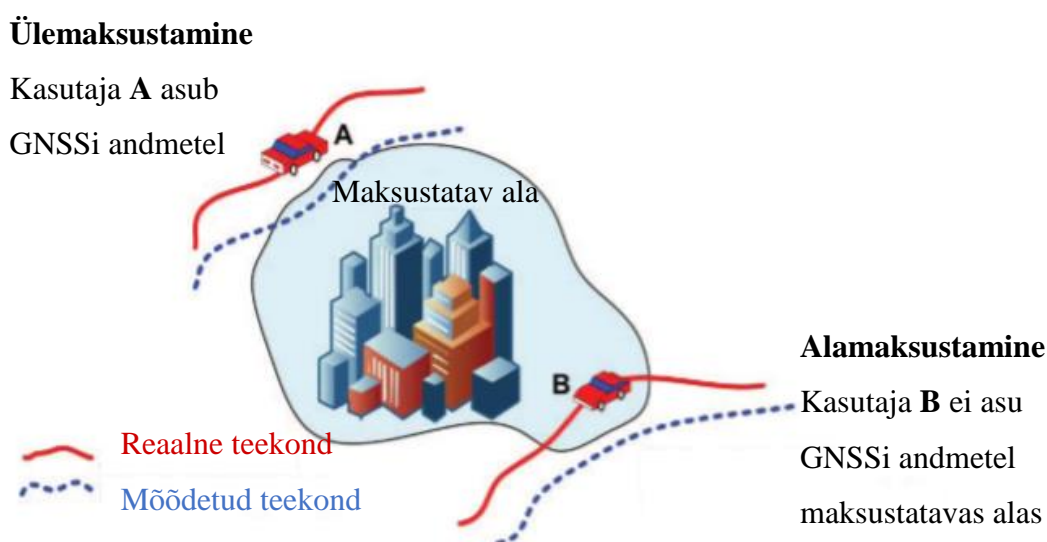
Kolmedimensionaalseks positsioneerimiseks (pikkus-, laiuskraad ja kõrgus) on vaja vähemalt nelja nähtavat satelliiti. Neljanda satelliidi lisamine eemaldab joonisel 2 asuvalt punaselt ringjoonelt teise punkti. See-eest pole nelja satelliidiga arvutatud asukoht väga täpne, sest asukoht on määratud satelliitide arvutatud kaugustega, mis ei ole õiged peegeldunud signaalide korral. Iga lisanduv satelliit annab asukoha määramisele täpsust juurde. [21]

Enamasti kasutatakse satelliitnavigatsiooni korral võimalikult suurt satelliitide arvu, tänu millele saavutatakse täpsem asukoha määramine.

Navigatsiooniks on võimalik kasutada mitmeid erinevaid globaalseid süsteeme, nagu USA GPS, Venemaa Glonass, Euroopa Galileo, Hiina BeiDou-2. Olemasolevad regionaalsed süsteemid on Hiina BeiDou-1, India NAVIC ja jaapani QZSS. [21]

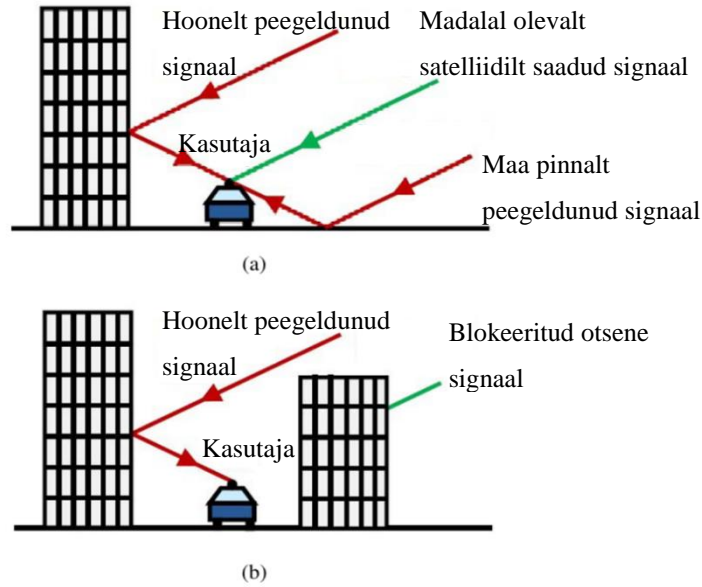
2.2.3 Satelliitnavigatsiooni usaldusväarsus

GNSS on laialtkasutatav süsteem, mida tahetakse üha enam integreerida linnatransporti. Lahendused nagu elektrooniline tolliteede maksustamine ja auto kindlustamine sõidu kestuseks vajavad väga suurt GNSSi usaldust [23]. Vead sellistes süsteemides toovad kaasa vääraid õiguslikke otsuseid nagu valesti maksustamine, joonisel 3 on kujutatud just seda. Auto A sõidab tegelikkuses maksustatavast alast väljas, kuid GNSS koordinaatide järgi on ta alas sees. Täpselt vastupidine toimumb auto B korral.



Joonis 3. Teekasutaja maksustamise probleem [23].

Populaarsust koguvad pakiveorobotid vajavad lisaks muudele sensoritele GNSSi usaldusväarsust, et jõuda ohutult punktist a punkti b. Linnakeskkonnas positsioneerimine seab kaubanduslikele GNSS-seadmetele väga kõrged nõudmised - vähene satelliitide nähtavus, signaalide peegeldumine, interferents ning taimestikust sumbumine on positsioneerimiseks soovimatud kahjutegurid [23]. Joonisel 4 on kujutatud kaks positsioneerimist raskendavat stsenaariumi. Esimesel juhul (joonis 4-a) on kasutaja koordinaat valesti määratud, sest vastuvõtja on saanud signaale satelliitidelt, millega pole otsenähtavust ning näiv kaugus nendest on suurem kui tegelikult. Teisel juhul (joonis 3-b) puudub otsene nähtavus kitsa tänava tõttu, mis põhjustab koordinaatide vale määramise.



Joonis 4. (a) Signaalide peegeldumisega tekkinud interferents. **(b)** Otsese nähtavuseta signaali vastuvõtmine [23].

2.2.4 Satelliitnavigatsioonisüsteem kasutuses linnatranspordis

Süsteemid nagu Uber, Lyft ja Bolt kasutavad oma autode ja kasutajate asukoha määramiseks GNSSi [24]. Kasutajatel ja sõiduteenuse pakkujatel on tarvis teada üksteise asukohti. Linnakeskkond vähendab aga GNSS usaldusväärsust. Erinevate raskendavate tegurite koosmõjul võib kasutaja seadme poolt raporteeritud asukoht erineda tegelikust kümnetes meetrites [21].

Dokkideta rattalenutussüsteemid kasutavad rataste jälgimiseks samuti GNSS-seadmeid [17]. GNSS-seade rattal võimaldab kasutajatel lihtsasti leida endale lähimaid rattaid. Ka teenust pakkuvatel ettevõtetel on võimalik tuvastada populaarseimaid piirkondi ning laiendada vastavalt nõudlusele.

Nagu dokkideta rataste korral, on ka elektritõukerastel kasutataval moodulil sama eesmärk – muuta võimalikuks tõukeratta asukoha jälgimine.

3 Töö ülesande püstitus

Töö eesmärgiks on luua ja valideerida linnatingimustes positsioneerimist võimaldav nutistumoodul, mida saaks kasutada elektritõukerataste jagamisteenuse osutamisel.

Rendiliiklusvahendite väikeste mõõtmete tõttu on nutistumooduli suurus piiratud. Paigaldamiskulude vähendamiseks on tarvis, et moodul oleks võimalikult kompaktne ning väliste lisaantennide kasutamine teeb süsteemi paigaldamise kulukamaks. Lisandub ka antenni kaabli katkemise oht, mille tõttu kaotab süsteem side sootuks.

Renditõukerataste korral on tarvis teada, kus nendega sõidetakse ning kuhu pargitakse. Parkimise asukohta on tarvis teada nii teenuse pakkujatel kui ka kasutajatel, et seade üles leida. Seega ei tohiks nutistumooduli poolt antud koordinaat asuda kõrvaltänavas või keset sõiduteed, kui seadet seal ei ole, mistõttu on tarvis võimalikult täpne asukoha määramine.

4 Nõuded tööle

Töö kirjutaja ülesandeks on kavandada ja kirjutada Quectel MC60E [25] moodulile püsivara, mis liidestaks sellel olevat GNSS-protssessorit. Lisaks püsivarale oli tarvis luua ka testrakis ning läbi viia riistvaratestid.

4.2 Nõuded püsivarale

- Võimeline teatud intervalli tagant edastama kõige hiljutisem koordinaadi
- Peab töötama sõltumata teistest ülesannetest
- Võimaldama GNSS vastuvõtja väljalülitamise
- Seadistama kasutatavaid satelliitnavigatsioonisüsteeme

4.3 Nõuded testimisrakisele

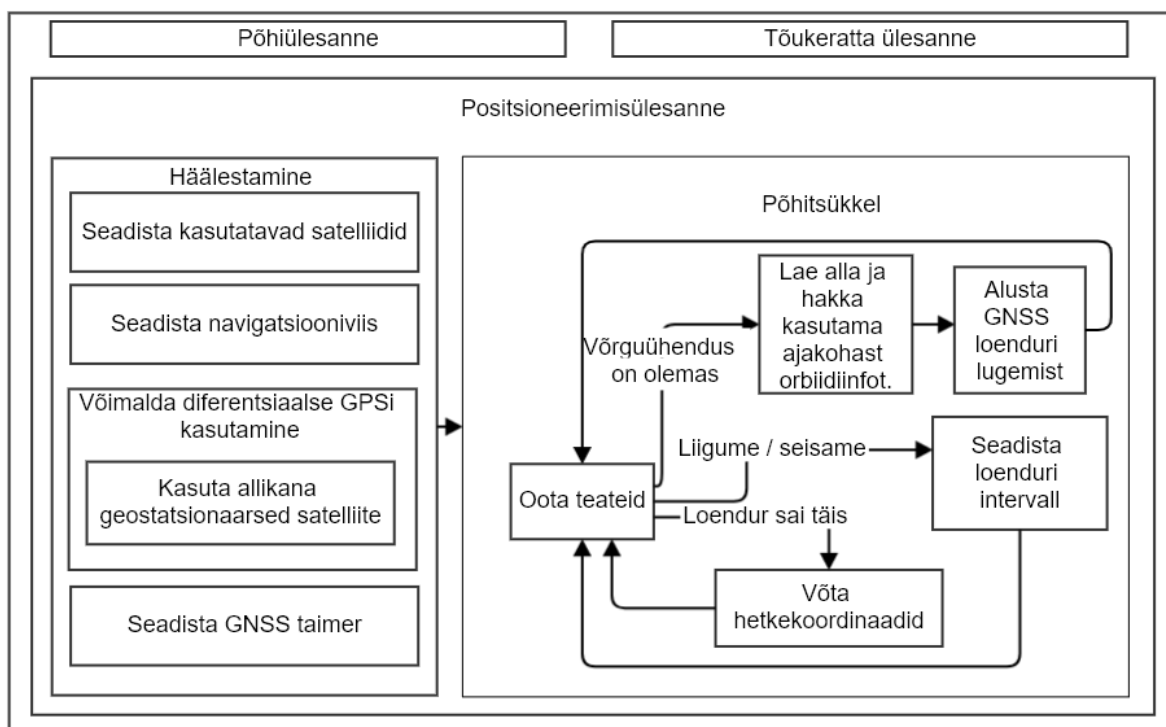
- Seadmete omavaheline kaugus – rohkem kui üks lainepikkus segamise vältimiseks
- Seadme kinnitusmeetod sarnane elektritõukerattale (2xM6 kruvi)
- Alumiiniumtorud simuleerimaks elektritõukeratta raami
- Rakis kinnitatav sõiduki katuseraamide külge
- Sigaretisüütaja pistik autost voolu võtmiseks
- Tõukeratta toitepistik seadmete toitmiseks
- Piisavalt ruumi referentsseadmele

5 Tarkvaralahendus

Elektritõukerataste rendiks peab nutistumooduli GNSS olema suuteline edastama võimalikult täpse asukoha igal ajahetkel. Selleks, et asukoha informatsiooni hoida ajakohasena, otsustati moodulil kasutada üht reaalaajaoperatsioonisüsteemide võimalust - korraga käimas hoidma mitut paralleelset ülesannet. Joonisel 5 on kujutatud nutistumooduli püsivaraskeem, paralleelselt käib kolm erinevat ülesannet: põhiülesanne, tõukeratta ülesanne ja positsioneerimisülesanne. Kuna käesolev lõputöö on seotud ainult positsioneerimisülesandega, siis tutvustatakse seda ka lähemalt.

Seadme käivitumisel häälestatakse seade vastavalt järgnevatele eelsätetele (joonis 5):

- Seatakse kasutatavad satelliitnavigatsioonisüsteemid (USA GPS, Venemaa Glonass ja Euroopa Galileo).
- Asukohamääramise täpsemaks muutmiseks kasutatakse SBAS-i.
- Seatakse ülesse põhiloendur, mille intervalli täitumisel küsitakse GNSS-vastuvõtjalt hetke koordinaadid.



Joonis 5. Nutistumooduli püsivara kujutav skeem.

Pärast seadistamist jäädakse ootama teateid, mis võivad tulla nii oma taimerilt kui ka teistest ülesannetest (joonis 5). Enne asukohamääramise alustamist oodatakse, kuni GSM on suutnud ennast võrku ühendada ning alla laadinud parandatud orbiidiinfo, mis muudab asukoha määramist täpsemaks.

Loenduri ülesandeks on perioodiliselt küsida GNSS-vastuvõtjalt hetke asukoht. Loenduril kasutatakse kahte erinevat intervalli – lühemat, mis on aktiivne tõukeratta kasutamise ja liigutamise ajal, ning pikemat, seismise korral. Loenduri täitumise korral loetakse välja koordinaat ning edastatakse põhiülesandele, mis edastab need serverile.

6 Testimine

Valminud nutistumoodulite testimiseks planeeriti 3 erinevat katset.

- **Sõidutest** – Sõit läbi linna viie nutistumooduliga, et hinnata positsioneerumisväljundit.
- **Paigutustest** – Statsionaarne test uurimaks kitsendusi seadme välismõõtmetele.
- **Külmkäivitustest** – Statsionaarne test uurimaks, seadmete GNSS-mooduli sisselülitamisele järgneva asukoha määramisele kuluvat aega.

Testide läbiviimiseks valmistati rakis, kuhu paigutati 5 nutistumoodulit ja võrdlusandmete jaoks uBlox NEO-M8P-2-10 (joonis 6).

Testis kasutatavad nutistumoodulid on identsed nii riistvara, kui ka seadmetel jooksva manusvara poolest.

Rakise raamiks kasutati autole kinnituv katuseboks, millelt eemaldati kaas. Sõidutesti korral paigutati valmistatud nutistumoodulid katuseboksi nõnda, et kõik on suunatud selle välisküljele (joonis 6), ülejäänud testide korral olid kõik seadmed suunatud ühele küljele. Seadmed kinnitati torude külge korpustes. Alumiiniumist torude pikkuseks oli 300 mm ja läbimõõt 50 mm, need kinnitati katuseboksi külge kasutades 50 mm kanalisatsioonitorude

klambreid. Torude külge monteeriti seejärel elektritõukeratta originaaltoitepistik ning kinnitati seadmed torudele. Seadmeid varustati vooluga autos olevat 12 V sigaretisüütaja pistiku kaudu.



Joonis 6. Seadmete paigutus rakises.

Testimisel kogutud andmed saadeti seadmetele ülesseatud serverisse, et neid hiljem töödelda. Logide töötlemiseks kasutati Pythonis kirjutatud skripte.

6.2 Metoodiks

6.2.1 Sõidutest

Sõidutestiks paigaldati rakis auto katuseraamidele (joonis 7). Teekonna planeerimisel seati eesmärgiks kasutada ära Tartu erinevaid linnaolusid. Marsruudi planeerimisel läbiti järgmiste iseärasustega alasid:

- kõrghoonestus,
- kõrghaljastus (puiesteed),
- maa-alused ja -pealsed parkimismajad,
- kitsad tänavad,
- orud ja
- lagedad alad.

Testi vältel edastati seadmete koordinaadid serverisse kord sekundis, et saada võimalikult palju andmeid, mis ajaliselt kattuvad.



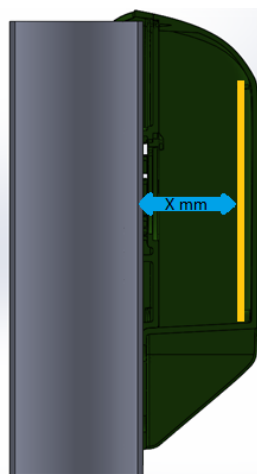
Joonis 7. *Testrakis auto katusele kinnitatuna.*

6.2.2 Paigutustest

Testi eesmärgiks on uurida, kui palju mõjutab seadme torule lähemale viimine (joonis 8) seadme positsioneerimistäpsust. Senine lahendus on üsna kaugel torust, mis muudab korpuse kõrgeks.

Katse ajal on seadmed rakisesse paigutatud samamoodi nagu sõidutestil, kuid suunaga ühele poole. Testiks muudetakse seadmete kaugust torust (joonis 8) kasutades nailonist distantspolte.

Testi tulemusi arvestatakse uue korpuse disaini koostamisel. Kui mooduli torule lähemale viimine ei mõjuta oluliselt GNSSi tööd, siis valmistatakse madalam korpus.



Joonis 8. Seadme kaugus torust. Kollasega on tähistatud nutistumooduli elektroonikaplaat, sinine nool kujutab kaugust elektroonikaplaadi ja toru vahel.

Testiks kasutatud kaugused (X) torust olid:

- Seade 1 - 40 mm (originaal)
- Seade 2 - 35 mm
- Seade 3 - 30 mm
- Seade 4 - 25 mm
- Seade 5 - 20 mm

6.2.3 Külmkäivitustest

Testi eesmärgiks on välja selgitada aeg, mis kulub nutistumooduli GNSS-liidesel selleks, et kindlaks määrata oma asukoht pärast selle käivitamist. Test toimus pärast paigutustesti ning seadmed olid jätkuvalt astmeliselt torule lähemale.

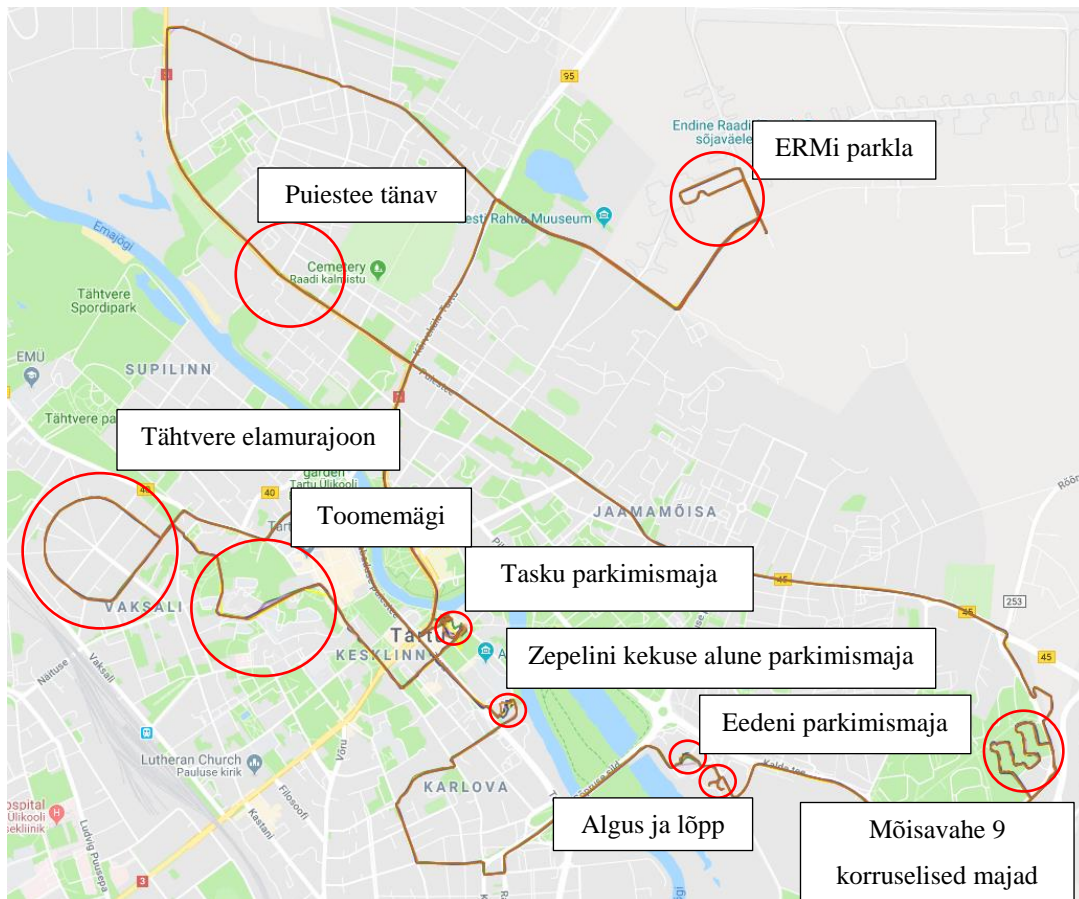
Seadmetele paigaldatakse kohandatud püsivara, mis teeb GNSS-taaskäivituse pärast iga asukohamääramist. Külmkäivitusel käitub seade justkui algkäivitamisel. Tüüpiliselt võtab esialgne asukoha määramine aega kümnetest sekunditest mõne minutini. püsivarauuenduseks kasutatakse moodulile loodud lahendust, mis lubab uuendada püsivara üle mobiilse võrgu.

6.3 Tulemused

6.3.1 Sõidutest

Sõidutest toimus 26.04.19 10:30-12:00, üsna pilvisel ajal, meteoroloogilised andmed asuvad lisade hulgas (lisa 1). Testi jooksul läbiti 30 km, seega oli keskmine sõidukiirus 20 km/h. Sõidutesti vältel sõideti, teiste liiklejate olemasolul, maksimaalse lubatud kiirusega, et liiklust mitte segada. Olukordades, kus kaasliiklejad puudusid, sõideti elektritõukeratta kiirusel (10-30 km/h).

Kogu läbitud marsruut on näha joonisel 9. Testimise käigus sõideti läbi kolme erineva parkimismaja, Mõisavahe 9 korruseliste kortermajade vahelt ning läbi Puiestee tänava allee.



Joonis 9. Sõidutestil GNSS-seadmete poolt jäädvustatud teekond.

Testi esimeseks väljundiks oli koordinaatidest koostatud marsruut, mis on kujutatud joonisel 9, link interaktiivsele kaardile asub lisade hulgas (lisa 2). Kaarti uurides esineb kohti, kus on pikemad „hüpped“ ühest kohast teise, näide on kujutatud joonisel 10. Kolm seadet (joonisel 10 kujutatud punane, sinine ja lilla joon), pole edastanud oma koordinaate Lossi tänavast kuni Karl Ernst von Baeri tänavani. Esimeseks kahtluseks oli GNSS-signaali kaotamine, kuid logisid lähemalt uurides selgus, et hüpete põhjuseks on serveriga võrguühenduses tekkinud probleem. Ühenduse taastudes jätkatakse tavapäraselt andmete edastamist.



Joonis 10. Koordinaatide puudumise tõttu tekkinud „hüpped“.

Seoses probleemidega võrguühenduses ja GNSS-signaali puudumisega, pole kõigi kuue seadme (5 nutistumooduli ja referentsseadme) andmeid olemas kogu testi jooksul. Puuduvate koordinaatide põhjused on välja toodud tabelis 1. 0-koordinaatide esinemine tähendab seda, et seadme GNSS vastuvõtja pole suutnud määrata oma asukohta. Võrguühenduse probleemide korral puudusid koordinaadid pikemalt kui mõni sekund.

Tabel 1. Koordinaatide puudumise põhjustanud tegurite arv kordades.

Seade nr	0-koordinaatide esinemisi	Võrguühenduse probleeme
Seade 1	0	26
Seade 2	1	71
Seade 3	2	66
Seade 4	0	2
Seade 5	23 (millest 18 olid käivitumisel)	69

Sõidutesti jooksul edastatud koordinaatidest ühtisid ajaliselt kõigi seadmete koordinaadid umbes 3500 korral, mis on alla 60 minuti. Samaaegsetest andmetest arutati kauguste erinevus uBlox seadme suhtes, mis on kantud ajalisel järjestuses joonisele 11.

Joonisel 11 on välja toodud teekonna planeerimisel GNSSile mõeldud keerulisemad kohad, mis on selgesti eristatavad. Joonis 12-a kujutab Mõisvahe tänava 9-korruseliste majade vahel seismist mõned sekundid, kus kõigi seadmete (kaasa arvatud uBloxi) koordinaadid hakkasid tasakesi triivima. Joonis 12-b korral sõideti läbi Tasku ostukeskuse parkimismaja, kahe piigi

vahepeal sõideti Emajõe Ärikeskuse kõrvale avatud platvormile ning seejärel taaskord parkimismaja, et sellest väljuda. Joonis 12-c kujutab sõitu läbi Zeppelini-aluse parkimismaja. Joonis 12-d kirjeldab Eedeni keskuse parkimismaja läbimist.

Nutistumoodulite koordinaatide standardhälve, aritmeetiline- ja mediaan-kõrvalekalle on välja toodud tabelis 2. Keskmise kõrvalekalde muudab suureks asjaolu, et see on arvatatud kogu teekonna koordinaatidest ning sisaldab endas ka parkimismajade läbimisest tekkinud piike.

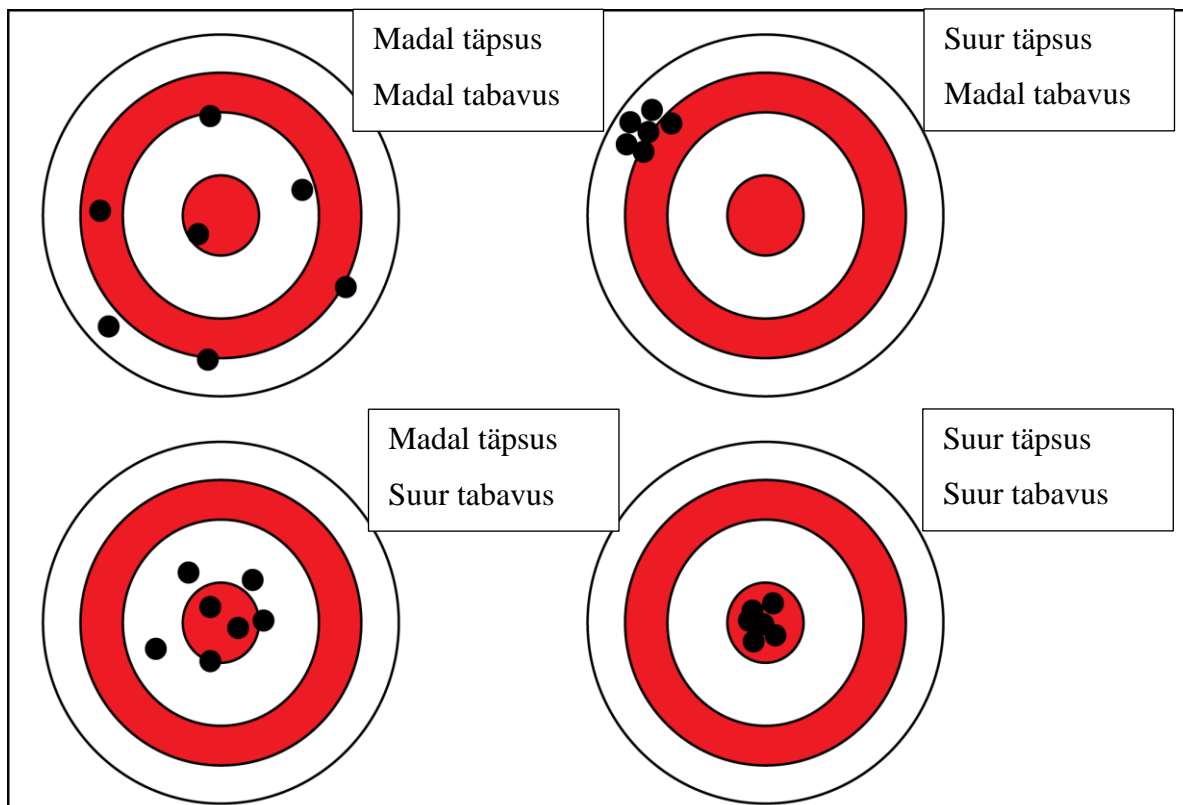
Tabel 2. Seadmete koordinaatide keskmine ja mediaanerinevus
uBlox seadme suhtes.

Seade nr	Keskmine kõrvalekalle (m)	Mediaan-kõrvalekalle (m)	Standardhälve (m)
Seade 1	4,96	4,17	5,83
Seade 2	4,10	2,78	6,43
Seade 3	4,12	3,22	5,37
Seade 4	4,15	3,34	6,3
Seade 5	4,34	3,08	7,49

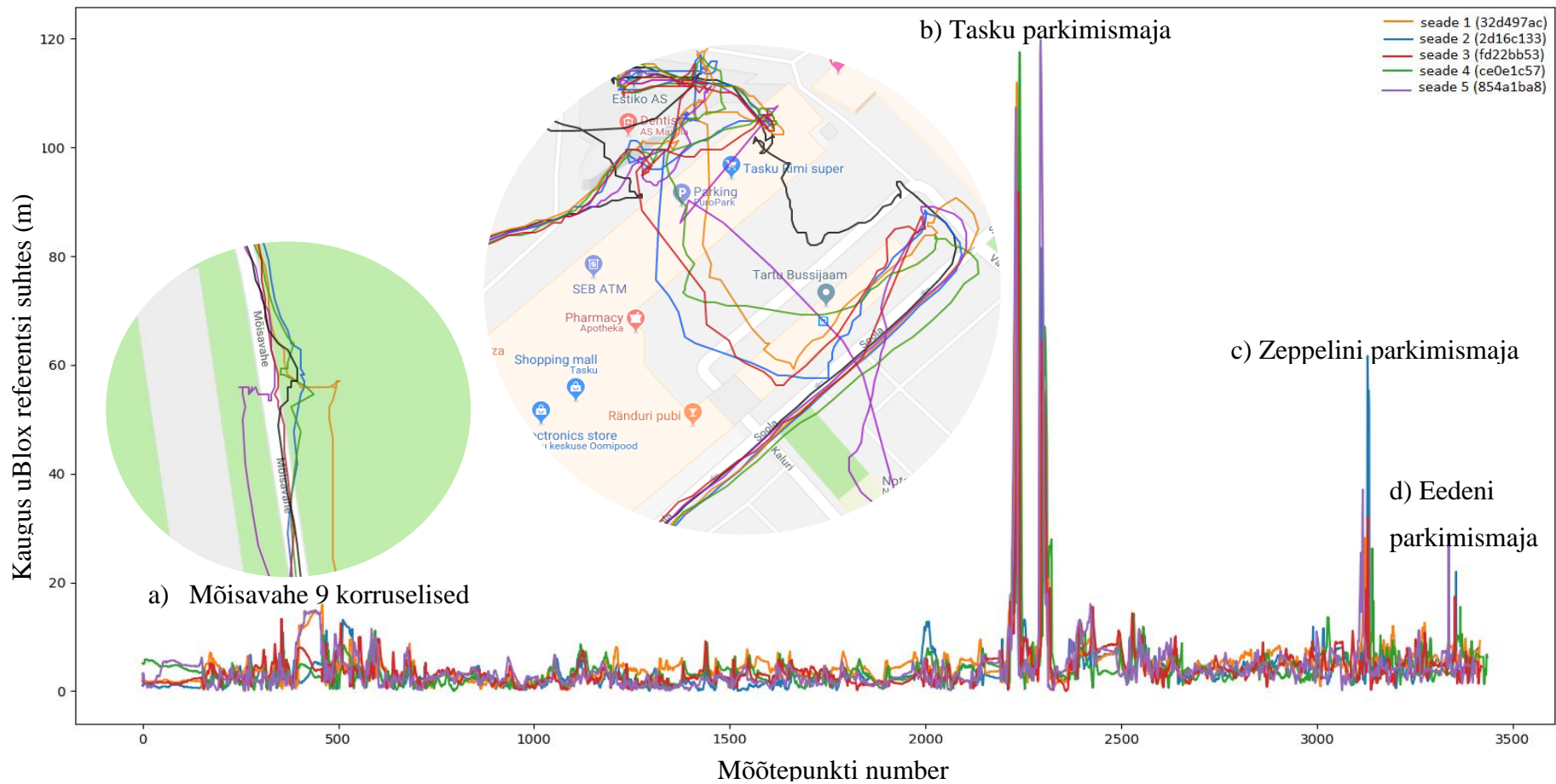
Tabelit 2 uurides on võimalik täheldada, et seadmed, mis on olnud testi vältel suunatud rohkem ette, on saavutanud parima ja halvima kõrvalekalde.

Standardhävlet võrreldes on võimalik hinnata, milline seadmetest on täpsem ning millisel seadmepool on parim tabavus. Täpsus ja tabavus on seletatud joonisel 11, suure täpsuse korral on punkti koordinaadid koondunud ning madala täpsuse korral on koordinaatide hajuvus suur. Tabavus samas määrab ära kui lähedale reaalsusele on koordinaadid paigutatud. Siinkohal võime hinnata standardhävlet, kui täpsust ning mediaani kui tabavust.

Kõige suurema täpsusega on seade number 3, millel on võrreldes teistega keskmine täpsus. Madalaima täpsusega on aga seade number 5, millel on samuti keskmine tabavus. Seade 2 on tabavuselt parim, samas täpsus on seadmepool halvemapoolne.



Joonis 11. Täpsuse ja tabavuse erinevus [26].



Joonis 12. Erinevus nutistumooduli ja uBlox NEO-M8P-2-10 pool raporteeritud koordinaatide vahel sõidutesil läbitud marsruudil.

Joonisele on kantud ainult need punktid, kus kõik seadmed edastasid koordinaadid täpselt samal ajahetkel.

6.3.2 Paigutustest

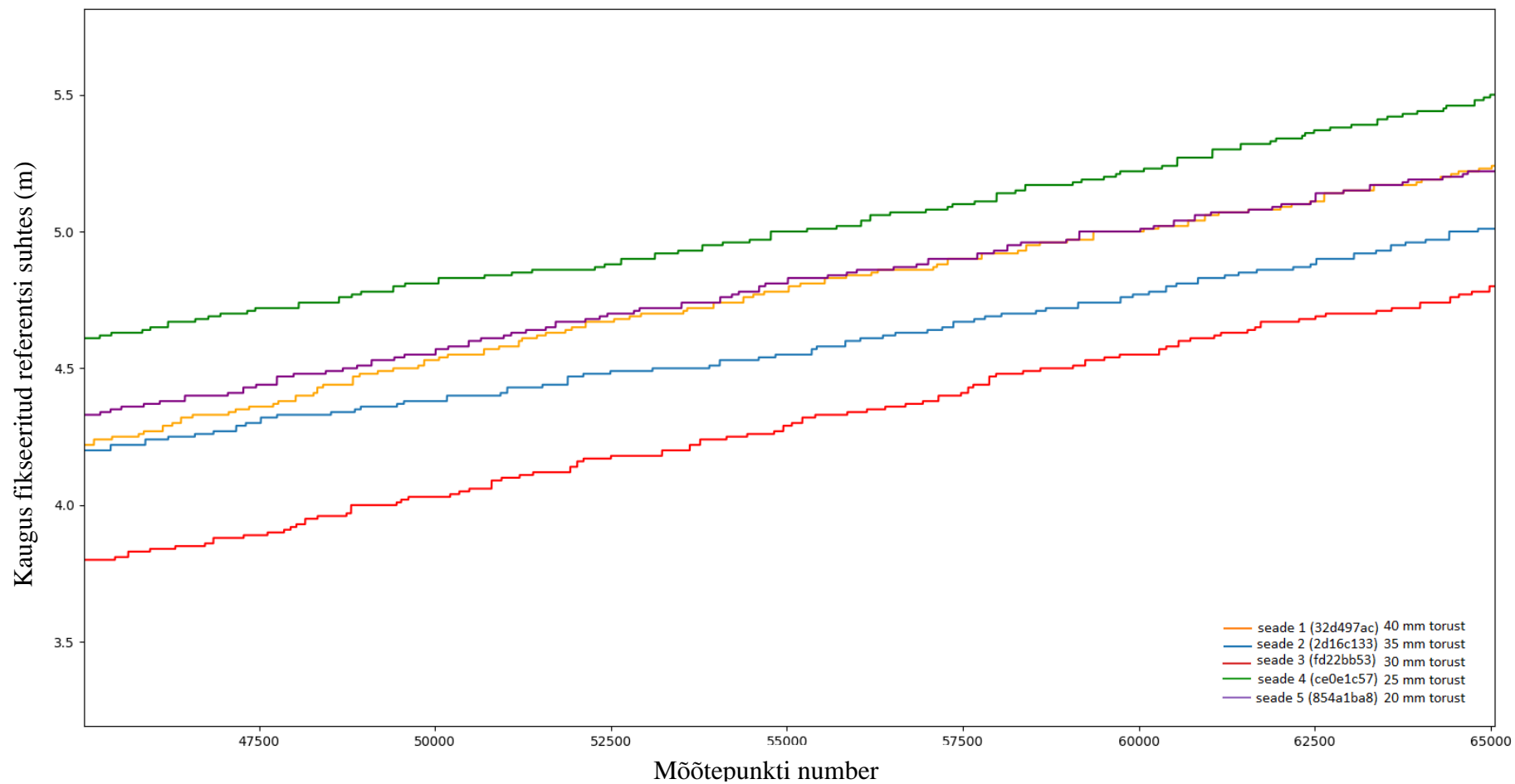
Paigutustesti korral kasutati testiks sama püsivara, mis sõidutestil. Seadmed seisid rakisega õuel maapinnast 0,5 m kõrgusel. Toiteallikaks oli väline toiteplokk, millel pingeks 12 V. Katse teostati ajavahemikul 24.04 kell 11:10 kuni 26.04 kell 7:40. Perioodi jooksul genereeritud andmetest võeti valimisse igalt seadmelt 110 000 esimest mõõtepunkti. Koordinaat, mille suhtes kaugused arvutati on võetud rakise keskelt seadmega, mille koodinaadi määramise täpsus oli 1 m.

Tabelis 3 on välja toodud kokkuvõtvad tulemused testist.

Tabel 3. Paigutustesti jooksul kogutud andmete kokkuvõte.

Seade nr	Kaugus torust (mm)	Keskmine kõrvalekalle (m)	Mediaankõrvalekalle (m)
Seade 1	40	5,0	4,78
Seade 2	35	5,0	4,55
Seade 3	30	4,6	4,29
Seade 4	25	5,3	5,0
Seade 5	20	5,0	4,81

Joonisel 13 on kujutatud valimisse võetud punktid järjestatult, mis tähendab seda, et seadme poolt raporteeritud koordinaadi erinevus tegelikusest tõuseb paremalt vasakule liikudes. Välja on lõigatud ekstreemumid, sest kõigi seadmete korral toimub seal koondumine. Jooniselt on selgesti näha kuidas kõige väiksema veaga on seade 3, mis on torust 30 mm kaugusel. Seade 4, mille kauguseks torust on 25 mm, on muutunud aga võrreldes originaalkaugusel oleva seadmega ebatäpsemaks. Halvima ja parima tulemuse saanud seadmete koordinaatide erinevus jääb natuke alla 1 meetri.



Joonis 13. 110000 mõõtepunkti sorteeritud järjekorras, graafikul on kujutatud keskpunktiks mediaan ja selle 10000-punktiline ümbrus.

6.3.3 Külmkäivitustest

Külmkäivitustesti lõpetades selgus, et üks seadmetest (Seade 3) polnud teostanud püsivarauuendust ning seepärast pole väljundit antud seadmest. Seade 5 polnud teadmata põhjusel teinud GNSS-mooduli taaskäivitust, taaskäivitused toimusid väga lühikestel ja juhuslikel perioodidel. Seadmete käitumine vajab lähemat uurimist, kuid antud töös seda ei käsitleta.

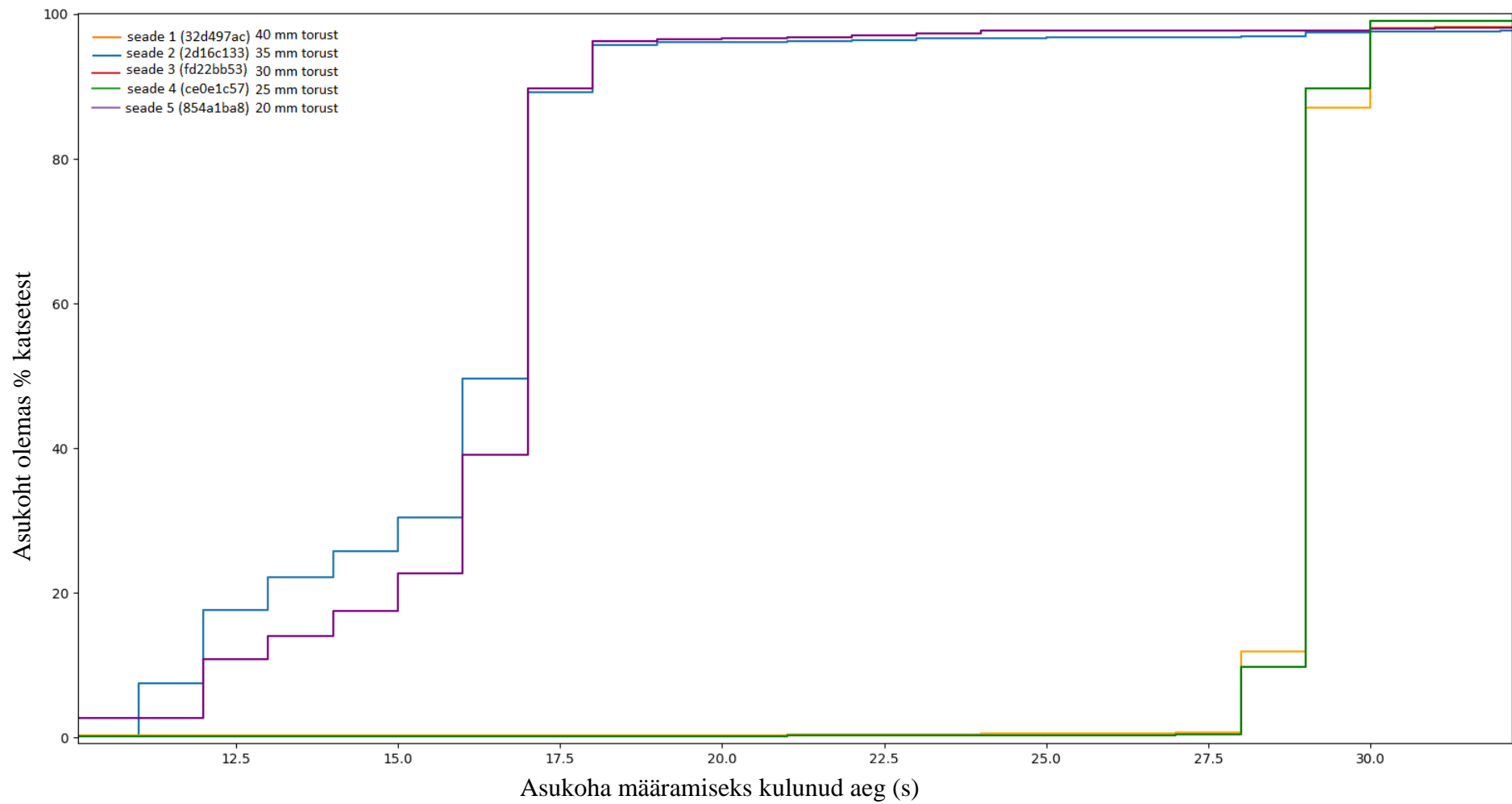
Seadmete logidest on väljavõtted ajavahemikul 26.04 12:00 kuni 29.04 15:00, mille jooksul saadeti serverisse keskmiselt 1,2 miljonit logi rida, mis sisaldasid suuremas osas GPS-informatsiooni.

Joonisel 14 on kujutatud horisontaalteljel kõigi testis osalenud seadmete asukoha määramiseks kulunud aega ja vertikaalteljel on protsent katsetest, mis on kulunud, et asukoht antud ajaga määrata. Joonisel on näha, et seadmetel kulub vähem kui 30 sekundit asukoha määramiseks.

Tabelis 4 on välja toodud külmkäivituste korrad ja asukoha määramiseks keskmiselt kulunud aeg. Seade 5 ei teostanud teadmata põhjustel igal korral külmkäivitust, kui tal seda teha kästi. Seade, millel kulus keskmiselt ~57% vähem aega asukoha määramiseks (seade 2), suutis teha sama aja jooksul ~30% rohkem taaskäivitusi.

Tabel 4. Külmkäivitustesti tulemuste kokkuvõte

Seade	Külmkäivituskordi	Keskmiselt kulunud aeg esialgse asukoha määramiseks (s)
Seade 1	12389	30,63
Seade 2	16269	17,68
Seade 4	12877	30,43
Seade 5	2734	18,05



Joonis 14. Taaskäivitumustestis olnud seadmetel % katsetest koordinaat määratud vastavaks ajaks.

6.4 Järeldused

Arvestades nutistumooduli disainis tehtud kompromisse eesmärgiga vähendada seadme maksumust, on valminud seadmel piisav täpsus tema otstarbeks. Kuna GNSS-andmetest ei sõltu antud rakenduses midagi elutähtsat, siis keskmine 4-meetrine koordinaatide erinevus on aksepteeritav. Seadme poolt raporteeritud asukoht võimaldab teenust kasutavatel isikutel elektritõukeratta siiski üles leida. Selle lihtsustamiseks on seadmele lisatud funktsionaalsus heli mängimiseks ja tulede vilgutamiseks.

GNSS seadme voolutarbest tulenevalt pole mõistlik seda välja lülitada selleks, et uue asukoha määramisele 15 kuni 30 sekundit kulutada, mille jooksul on kasutaja jõudnud elektritõukerattaga sõita juba algsest asukohast üpris kaugemale.

7 Kokkuvõte

Käesoleva magistritöö tulemusena valmis elektritõukeratta jagamisteenuseks kasutatav positsioneerimisvõimekusega nutistumoodul, mida hakatakse kasutama vastava teenuse osutamiseks.

Töö käigus valmisid ka testid ja testimismeetodid, millega on võimalik mõõta sarnaste seadmete tõhusust ja töökindlust. Testide olemasolu kiirendab erinevate antennide, mehaanika- ja tarkvaraseadmete edaspidist testimist oluliselt.

Manusvaraliselt valminud teste on võimalik korruga tuhandetele nutistumoodulitele saata, et neid testida, sealjuures kasutaja kogemus elektritõukeratast kasutades ei muutu. Testidega on võimalik võrrelda edaspidi ka erinevate GNSS-süsteemide (GPS, Galileo, GLONASS) võimekust ning positsioneerimist segava GSM-signaali mõju (saatmisintervalli muutmise läbi).

Bibliography

- [1] C. Inc, "Citi Bike: NYC's Official Bike Sharing System." [Online]. Available: <https://www.citibikenyc.com/>. [Accessed: 20-May-2019].
- [2] C. Traub, "Renting a Bike in Paris: All About the Velib' Scheme." [Online]. Available: <https://www.tripsavvy.com/velib-bike-rentals-in-paris-1618445>. [Accessed: 20-May-2019].
- [3] A. A. of M. V. Administrators, "Electric Dockless Scooters Whitepaper," 2019.
- [4] S. HOLLISTER, P. HOLLAND, M. SERRELS, and M. LITTLE, "Electric scooters and bikes: What to know about Bird, Jump, Spin, Scoot, LimeBike." [Online]. Available: <https://www.cnet.com/news/electric-scooters-bikes-dockless-ride-share-bird-lime-jump-spin-scoot/>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [5] "Spin - Ride your way." [Online]. Available: <https://www.spin.app/>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [6] "Uber vs Taxi: Top11 Differences." [Online]. Available: <https://www.uberguide.net/uber-vs-taxi/>. [Accessed: 20-May-2019].
- [7] "Uber vs Taxi: Services Compared." [Online]. Available: <https://www.rydely.com/uber-vs-taxi/>. [Accessed: 20-May-2019].
- [8] T. Wenger, "Cities that are banning cars in city centers where you cant's drive." [Online]. Available: <https://matadornetwork.com/read/cities-banning-cars-city-centers/>.
- [9] T. P. L. Le and T. A. Trinh, "Encouraging public transport use to reduce traffic congestion and air pollutant: A case study of Ho Chi Minh City, Vietnam," *Procedia Eng.*, vol. 142, pp. 236–243, 2016.
- [10] W. L. Chee and J. L. Fernandez, "Factors that Influence the Choice of Mode of Transport in Penang: A Preliminary Analysis," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 91, no. 225, pp. 120–127, 2013.
- [11] M. Salonen and T. Toivonen, "Modelling travel time in urban networks: Comparable measures for private car and public transport," *J. Transp. Geogr.*, vol. 31, pp. 143–153, 2013.

- [12] A. H. M. M. Anwar and J. Yang, “Examining the Effects of Transport Policy on Modal Shift from Private Car to Public Bus,” *Procedia Eng.*, vol. 180, pp. 1413–1422, 2017.
- [13] L. Lukka, “Tartu rattarinluse rattad tulevad Kanadast,” 2018. [Online]. Available: <https://www.tartu.ee/en/node/7475>. [Accessed: 14-May-2019].
- [14] L. Viirand, “Tartu rattaringlus saab hoo sisse 8. juunil,” 2019.
- [15] T. E. Arengufond and T. Linnavalitsus, “Rattaringluse teenuse arendamine Eestis Tartu linna pilootprojekti näitel,” 2014.
- [16] A. Walker, “Can dockless and station-based bike-share programs coexist?” [Online]. Available: <https://www.curbed.com/2018/5/30/17390264/bike-sharing-dockless-bicycles-cities>. [Accessed: 14-May-2019].
- [17] C.-H. Wu, “Evolution of Dockless Bike/Bikesharing Designs and Thoughts on the Industry,” 2018. [Online]. Available: <https://hackernoon.com/evolution-of-the-dockless-bike-bikesharing-designs-and-thoughts-of-the-industry-32e41da1dfaa>. [Accessed: 14-May-2019].
- [18] “What is dockless Bike share?” [Online]. Available: <https://altaplanning.com/dockless-bike-share/>. [Accessed: 14-May-2019].
- [19] “Ninebot scooter ES2/4.” [Online]. Available: <https://ninebot.com.sg/product/ninebot-kickscooter-es2/>. [Accessed: 07-May-2019].
- [20] “How much do Bird scooters cost?” [Online]. Available: <https://www.ridester.com/bird-scooters-cost/>. [Accessed: 10-May-2019].
- [21] Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, and Wasle, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. 2008.
- [22] S. Thombre, “Test Bench Solutions for Advanced GNSS Receivers : Implementation , Automation , and Application,” 2014.
- [23] N. Zhu, J. Marais, D. Betaille, and M. Berbineau, “GNSS Position Integrity in Urban Environments: A Review of Literature,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 9, pp. 2762–2778, 2018.
- [24] A. J. Hawkins, “How Uber moves the ‘blue dot’ to improve GPS accuracy in big cities,” 2018. [Online]. Available: <https://www.theverge.com/2018/4/19/17252680/uber-gps->

blind-spot-shadow-maps. [Accessed: 15-May-2019].

[25] G. S. M. Gprs and G. Module, "MC60 Hardware Design," 2018.

[26] "Precision and accuracy in glacial geology." [Online]. Available: <http://www.antarcticglaciers.org/glacial-geology/dating-glacial-sediments-2/precision-and-accuracy-glacial-geology/>. [Accessed: 20-May-2019].

Lisa 1. *Meteoroloogilised andmed sõidutesti ajal.*

Allikas: <http://meteo.physic.ut.ee/>

Aeg	Temperatuur (s)	Niiskus (%)	Sademed (mm)	Kiirgusvoog W/m²
26.04.2019 10:30	19.1610050251	33.5257035176	0	406.102946528
26.04.2019 10:35	19.1993094629	33.4482097187	0	385.289666384
26.04.2019 10:40	19.3288520408	32.5778571429	0	381.223586739
26.04.2019 10:45	19.6588	30.314125	0	397.734886837
26.04.2019 10:50	20.0356892231	29.3910526316	0	417.513429572
26.04.2019 10:55	19.9287531807	29.5786259542	0	432.298403253
26.04.2019 11:00	20.0926649746	28.9808629442	0	432.570384537
26.04.2019 11:05	20.3384810127	28.5894683544	0	448.511801577
26.04.2019 11:10	20.3881612091	28.0070277078	0	443.829975287
26.04.2019 11:15	20.63	27.5352141058	0	442.90451881
26.04.2019 11:20	20.54960199	27.1006467662	0	455.390446513
26.04.2019 11:25	20.7312468828	26.5730922693	0	457.543094285
26.04.2019 11:30	20.4296482412	27.0373115578	0	508.634916274
26.04.2019 11:35	20.6264837905	26.8736159601	0	525.520074929
26.04.2019 11:40	21.1231806616	26.2185496183	0	485.147934947
26.04.2019 11:45	21.2224619289	25.8311928934	0	439.679342693
26.04.2019 11:50	21.1040609137	25.7897208122	0	413.755014455
26.04.2019 11:55	21.0457107232	25.9985286783	0	406.213076651
26.04.2019 12:00	21.2526932668	25.4608478803	0	409.774911678

Lisa 2. Sõidutesti tulemusena valminud kaart on leitab järgnevalt lingilt.

<https://mapmakerapp.com?map=5cc2f49e5a1b500602386218ed3e>

Tänuavaldus

Soovin tänada oma juhendajaid Karl Kruusamäed ja Indrek Rebast, kes olid kogu töö valmimise ajal väga abivalmid ning toetavad. Mõlemad andsid mulle nõu, kui tekkisid raskused edasiminekinga.

Soovin tänada ka Kaido Kärnerit, kes võimaldas mitmed asju lihtsamalt teostada. Mihkel Heidenbergi, kes oli tehnilise lahenduse valmimisel ülevaataja rollis. Liina Rootsi, kes teostas tööle keelelise kontrolli.

Ragnar Margus

20.05.2019



Lihtlitsents

Mina, Ragnar Margus,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose Kergliiklusvahendite jagamisteenuseks vajaliku positsioneerimismooduli loomine ja uurimine,

mille juhendajad on Karl Kruusamäe ja Indrek Rebane,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, alates **20.05.2024** kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Ragnar Margus

26.05.2019