

TALLINNA PEDAGOOGIKAÜLIKOOL

Matemaatika-loodusteaduskond

Informaatika osakond

Kelly Erin-Uussaar

## **GPS – Global Positioning System**

Proseminaritöö

Juhendaja: Kalle Tabur

Tallinn 2003

# Sisukord

Sisukord .....	2
Eellugu GPS-ile .....	4
Globaalne asukoha määramise süsteem.....	6
Mis on GPS.....	6
Mõõtmismeetodid.....	9
Absoluutne asukohamääramine .....	9
Diferentsiaalne mõõtmine .....	11
Interferomeetriline mõõtmine .....	12
Staatilised mõõtmismeetodid .....	14
Kinemaatilised mõõtmismeetodid.....	15
Veaallikad.....	17
GPS-i kasutus igapäeva elus.....	19
GLONASS ja ENSS .....	22
Kokkuvõte.....	23
Kasutatud kirjandus .....	24

## Sissejuhatus

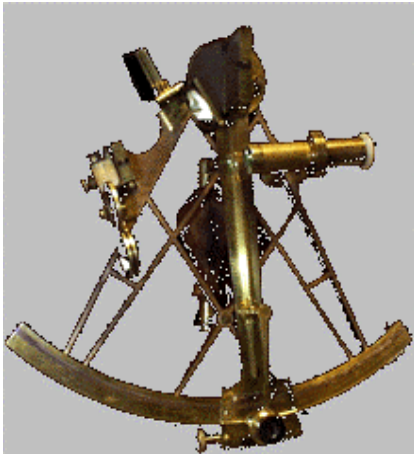
Käesoleva proseminaritöö eesmärgiks on anda ülevaade globaalse asukoha määramissüsteemist GPS. Varasemad materjalid antud teemal kipuvad olema liiga ülevaatlikud või mingit konkreetset tehnikat puudutavad. Antud töö sobib tutvustavaks materjaliks kõikidele asjahuvilistele oma teadmiste täiendamiseks.

Töö jaguneb kolmeks põhimõtteliseks osaks. Esimeses osas tutvustatakse navigeerimisvahendeid, mida kasutati enne GPS-i. Teine osa on pühendatud GPS-ile. Siin tutvustan GPS-i ja tema töö põhimõtteid, pikemalt peatun mõõtmismeetoditel. Uurin, millest tekivad vead mõõtmistel ja kui suured need olla võivad. Tutvustan ka mõningaid GPS-i kasutusvõimalusi igapäevaelus. Kolmanda osa tööst moodustab teiste positsioneerimissüsteemide lühitutvustus.

# Eellugu GPS-ile

Juba ammustest aegadest on inimesed püüdnud leida usalduslikku meetodit määramaks oma asukohta ning leidmaks teed sihtpunkti ja tagasi. Arvatavasti kasutasid koopainimesed jahile või toitu otsima minnes kivisid ja oksid oma tee märkimiseks. Esimesed meremehed järgisid hoolikalt rannajoont vältimaks avamerele sattumist. Esmakordselt avamerele seilajad avastasid, et oma teed saab tähtede järgi määrata. Näiteks foiniiklased kasutasid Põhjajanaela reisirajal Egiptusest Kreetale. Kahjuks on tähed nähtavad vaid öösiti ja selge taevaga.

Järgmiseks suureks sammuks oma asukoha määramisel olid kompass ja sekstant. Kompassi nõel osutab alati põhjapoolusele ja seetõttu on alati võimalik



*Joonis 1. Sekstant*

õelda, mis suunas liigutakse. Sekstanti kasutati taevakehade (Päike, tähed ja planeedid) täpsel jälgimisel. Tema abil sai mõõta taevakeha kõrgust kraadides horisondist ning leitud suurust kasutatigi oma asukoha määramisel. Kuid sekstanti abil sai määrata vaid laiuskraadi. Vaja oli määrata ka oma asukoha pikkuskraadi aga selleks puudusid vahendid ja oskused.

Selle probleemi lahendamiseks loodi 17. sajandil Inglismaal teadlastest koosnev ümarlaud, mille ülesandeks oli pikkuskraadi määramise meetodi leidmine. Panti välja 20 000 naela isikule, kes leiab viisi, kuidas määrata laeva asukoha pikkuskraad täpsusega 30 meremiili. 1761. a. töötas John Harrison (1693 – 1776) välja kronomeetri, mille abil sai määrata pikkuskraadi ning mis käis ette või jäi maha vaid sekundi päevas [13]. Järgneval kahel sajandil kasutati sekstante ja kronomeetreid kombineeritult pikkus- ja laiuskraadi määramisel.



*Joonis 2. Kronomeeter*

20. saj. alguses kasutati mitmeid raadiosidel põhinevaid navigatsioonisüsteeme, mida kasutati laialdaselt ka II maailmasõja ajal. Tuntuim neist on LORAN (Long Range Aid to Navigation) [3]. Mõned paigalseisvad

raadionavigatsiooni süsteemid on tänapäevalgi kasutuses. Nende üheks puuduseks on see, et kasutades kõrgsageduslike raadiolaineid saab määrata täpse positsiooni, kuid väikesel alal ning kasutades madalama sagedusega raadiolaineid, mis katavad suure ala, ei saanud määrata nii täpset asukohta.

Teadlaste arvates ainsaks viisiks võimaldada oma asukoha määramist igas maailma punktis, oli saata kõrgsageduslikud raadiosaatjad kosmosesse. Kõrgsagedusliku raadiosaatja spetsiaalne kood katab ära suure ala ja suudab ületada takistused oma teel maani. Esimeseks selliseks süsteemiks oli 1960-ndate keskel



NAVASAT (Navy's NAVigation SATellite System, tuntud ka kui TRANSIT) - laevadele ja allveelaevadele mõeldud navigeerimissüsteem. TRANSIT toimis kuni 1996. Aastani [3].

*Joonis 3. TRANSIT*

# Globaalne asukoha määramise süsteem

GPS (*Global Positioning System - globaalne asukoha määramise süsteem*) on üks täpsemaid süsteeme, mis võimaldab punkti koordinaate määrata kuni millimeetri täpsusega. GPS loodi USA Kaitseministeeriumi poolt täitmaks USA sõjaväe vajadusi. Satelliitide võrgu rajamist alustas USA kaitseministeerium 60-ndatel aastatel. See 12 miljardit USA dollarit maksma läinud projekt oli mõeldud vastase raketide stardiseadeldiste avastamiseks ja hävitamiseks [7]. 80-ndatel anti GPS kasutamiseks ka tsiviilelanikele, kuid GPS signaal sisaldas meelega lisatud vigu. Tsiviilkasutajatele tähendas see kuni sajameetrist viga. Vaid USA sõjaliseks otstarbeks mõeldud GPS vastuvõtjad võimaldasid täpset infot. 1. maist 2000 aastal lõpetati USA presidendi Bill Clintoni otsusega GPS-ile sihilikult ebatäpse info lisamine [7]. Tingituna Maa atmosfäärist on GPS info ebatäpsus praegu maksimaalselt 20 meetrit. Sarnane süsteem (GLONASS – GLObalnaja Navigatsioonaja Sputnikovaja Sistema) on loodud ka Venemaa kaitsestruktuuride poolt. Oma positsioneerimissüsteemi on loonud ka Euroopa Liit. Euroopa Liit. Soovitakse keskenduda põhiliselt tsiviilprobleemide lahendamisele

## Mis on GPS

GPS on kõikjal Maa pinnal (ja selle kohal) ööpäevaringselt toimiv satelliitidel põhinev süsteem, mille kasutaja võib määrata oma asukoha ja liikumiskiiruse ning saada täpse aja [2].

Süsteem koosneb kolmest osast –satelliidid, seirejaamade võrk ja kasutajad.

GPS satelliitide võrk koosneb 24 satelliidist, mis tiirlevad 6 orbiidil. Orbiitide kauguseks maast on 20 183 km. Satelliitide tiirlemisperioodiks on 11 h 58 min. Niisugune satelliitide paiknemine võimaldab üle maailma igal ajal vähemalt nelja satelliidi nähtavuse tõusunurgaga 15°. Iga satelliit lähetab signaale kandevasagedusel L1 (1575,42 MHz) lainepikkusel 19cm



*Joonis 4. GPS satelliitide võrk*

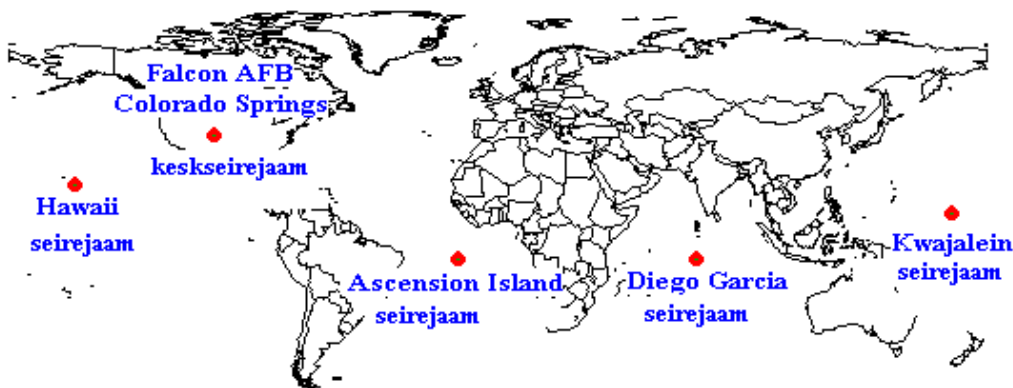
ja L2 (1227,6 MHz) lainepikkusel 24cm. Kandevlainerel on moduleeritud kaks pseudojuhuslikku signaali C/A (Coarse/Acquisition) ja P (Precise) kood ning satelliitide trajektoori andmed. Signaalide stabiilsus kindlustatakse tseesiumkellade abil.[2]



Joonis 5. Satelliit

Satelliidi planeeritud “eluiga” on 7,5 aastat. Esimene satelliit saadeti orbiidile 1978. aastal. 1994. aastal saavutati 24 satelliidist koosnev satelliitide võrk. [14]

GPS süsteemi kontrollivad 5 seirejaama, mis asuvad Colorado Springsis, Havail, Ascensiooni saarel, Diego Carcias ja Kwajaleinis (Joonis 6.). Seirejaamad kujutavad endast GPS vastuvõtjaid, mis koguvad informatsiooni kõikidelt nähtaval olevatelt satelliitidelt ja seejärel saadavad need andmed keskseirejaama, mis asub Falconi Õhujõudude baasis Colorado Springsis. Seirejaamadest kogutud informatsiooni põhjal arvutatakse keskseirejaamas parandused satelliitide efemeriididele (tabelid, milles antakse taevakehade ettearvutatud asukohad iga päeva kohta; astronoomilised kalendrid) ja ajastandarditele-kelladele. See info saadetakse läbi maapealsete kontrolljaamade satelliitideni paar korda päevas. [2]



Joonis 6. GPS seirejaamade võrk

GPS vastuvõtja võtab vastu satelliitide signaale ja määrab nende abil oma asukoha 2D või 3D koordinaatide süsteemis. Asukoha koordinaadid saadakse kohe (navigatsioon) või peale andmetöötlust (täpignavigatsioon, geodeetilised tööd) [1]. Iga hetk on põhimõtteliselt näha kuus satelliiti. 3D kohamääranguks on vaja side vähemalt nelja satelliidiga. Maksimaalselt on nähtaval 12 satelliiti ja paremad vastuvõtjad suudavad neid kõiki jälgida.



*Joonis 7. Kaasaskantav vastuvõtja Garmin GPS 72*

Vastuvõtjad jagatakse ühe- ja kahesageduslikeks. Ühesageduselised kasutavad L1 ja harilikult ainult C/A koodi. Kahesageduselised vaatlevad nii L1 kui L2 faaside vahesid, C/A ja P koodi ning signaalide Doppleri nihet (P-koodi ei saada otseselt vaid see rekonstrueeritakse) [2].

On kaasaskantavaid vastuvõtjaid kuid ka selliseid, mida saab paigaldada lennukitesse, laevadesse, autodesse, allveelaevadesse ja veoautodesse. Kasutuses on üle 100 erineva mudeli. Kaasaskantav vastuvõtja on umbes mobiiltelefoni suurune, kuid on ka väiksemaid.



# Mõõtmismeetodid

Enne mõõtma asumist tuleb valida ülesannetele vastav mõõtmismeetod. Vastuvõtjate arvu järgi eristatakse nn. absoluutset asukohamääramist (üks vastuvõtja) ja diferentsiaalset asukohamääramist (kaks või enam vastuvõtjat). Kui vastuvõtjad on kogu mõõtmiste perioodi jooksul paiksed, on tegu nn. staatiliste mõõtmistega, liikuvate vastuvõtjate puhul aga kinemaatiliste mõõtmistega. Mõõdetavaks suuruseks võib olla kas koodi leviku kiirus (nn. koodkohamääramine) või põhilainepikkuste vahe (nn. interferomeetiline mõõtmine). [1]

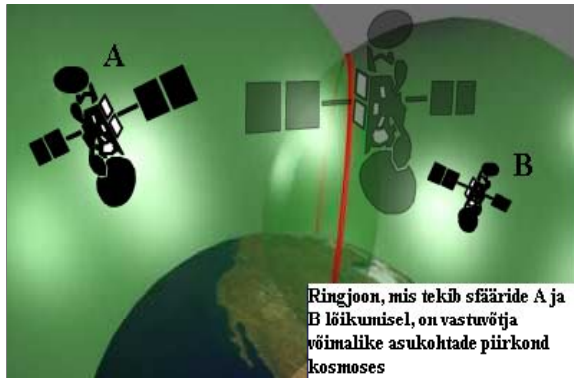
Tähtsaim valiku kriteerium on soovitud täpsus. Teiseks kriteeriumiks on mõõdetavate vektorite pikkus. Kuni paarikümne kilomeetri pikkuseid vektoreid võib mõõta ühesageduslike vastuvõtjatega, pikemate puhul tuleks kasutada aga kaheageduselisi.

Seega võib mõõtmismeetodid tinglikult jagada järgmiselt:

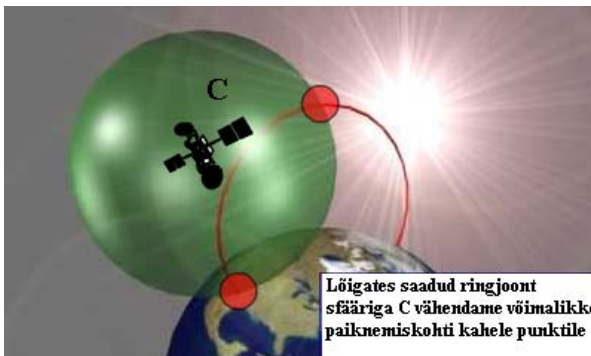
- 1) vastuvõtjate arvu järgi
  - absoluutne asukohamääramine - üks vastuvõtja
  - diferentsiaalne asukohamääramine - kaks või enam vastuvõtjat
- 2) vastuvõtja asukoha järgi
  - vastuvõtjad on paiksed- staatiline meetod
  - vastuvõtjad liikuvad - kinemaatiline meetod
- 3) Mõõdetav suurus
  - koodi levikukiirus – koodkohamäärang
  - põhilainepikkuste vahe - interferomeetiline mõõtmine

## Absoluutne asukohamääramine

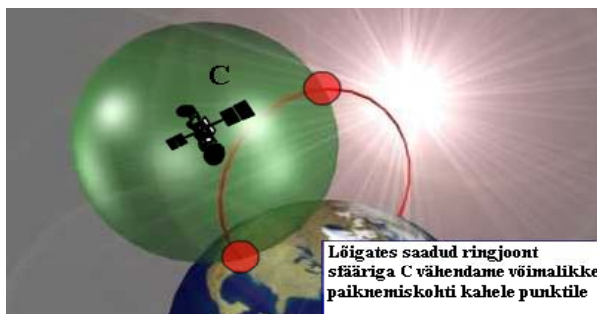
GPS tööpõhimõtted on üsnagi lihtsad, olgugi et kasutatakse tänapäeva tehnoloogia viimaseid saavutusi. Absoluutne asukohamääramine põhineb vastuvõtja ja satelliitide vahelise kauguse mõõtmisel. Oletame, et kaugus satelliidini ja satelliidi asukoht orbiidil on teada. Teades näiteks, et kaugus satelliidini A on 20000 km, võime väita, et asume sfääril A raadiusega 20220 km. Teades ka kaugust teise satelliidini B raadiusega 20890 km, võime öelda, et meie asukohaks kosmoses on piirkond, mis



Joonis 8.



Joonis 9.



Joonis 10.

moodustab sfääride A ja B lõikumisel (Joonis 8.). Teades kaugust kolmanda satelliidini C, tulevad võimaliku paiknemiskohana kõne alla vaid kaks punkti (Joonis 9.). Need punktid saame kui lõikame sfääre A ja B sfääriga C. Kasutades neljandat satelliiti saame selgitada millises neist kahes punktis me asume. Võime piirduda ka kolme satelliidiga, lähtudes asjaolust, et üks kahest võimalikust paiknemiskohast on praktiliselt ebareaalne (Joonis 10.) arvestades, et asume ise Maal.

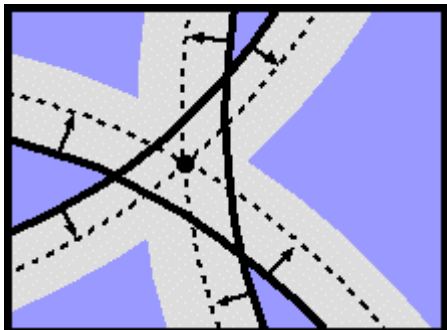
Mõõtmiste idee oleks järgmine. Kaugus satelliidini on signaali levikuaeg korrutatud signaali levikukiirusega, st. mõõdetakse aega, mille kulutab signaal, läbimaks vahemaad satelliidist vastuvõtjani [1].

Signaali lähteaja saame, kui vastuvõtja ning satelliidi kellad sünkroniseerida - mõlemad genereerivad sama koodi täpselt

samal ajal. Nüüd ei tarvitse meil teha muud, kui võtta vastu satelliidist saabunud kood ja määrata, kui kaua enne seda genereeris sama koodi vastuvõtja [1]. Ajavahe annabki meile signaali levikuaega.

Igas satelliidis on neli väga täpset ja väga kallist aatomkella (2 tseesium- ja 2 rubiidiumkella). Seirejaamad hoolitsevad selle eest, et kõigi satelliitide näitaksid ühte aega. Kuna aatomkell teeks vastuvõtja liiga kalliks, on siin kasutusel kvartskell. Satelliitide ja vastuvõtja ajastandardite erinevus selgitatakse, mõõtes kauguse neljanda satelliidini [1]

Peatume sellel meetodil lähemalt. Lihtsuse mõttes kasutame kahemõõtmelist ruumi. GPS on küll kolmemõõtmeline süsteem, kuid põhimõte on sama. Elimineerime vaid ühe mõõtmise. Oletame, et vastuvõtja kell on satelliidikellast ees. Joonisel 11. pidev joon näitab, kus vastuvõtja arvates ringid asuvad. Punktirjoon aga ringide



Joonis 11.

tegelikku asukohta. Kuna vastuvõtja ja satelliidi kellad ei ühti, siis ringid ei lõiku ühes ja samas punktis. Kui kolm üheaegselt tehtud mõõtmist ei lõiku ühes punktis, hakkab GPS vastuvõtja protsessor kõigist signaali levikuaegadest vähendama (või liitma) ühesugust ajahulka seni, kuni leiab lahenduse. See on muidugi arvutuste lihtsustatud skeem, tegelikult lahendab

protsessor kolme tundmatuga võrrandisüsteemi.

Nn. absoluutset asukohamääramist kasutatakse põhiliselt merel navigatsiooniülesannete lahendamisel (näiteks isiklikel purjejahtidel, kaubalaevastikus jne.). Absoluutne asukohamääramine on sobiv ka geoloogilisteks uuringuteks (näiteks puuraukude koordinaatide määramiseks). [1]

## Diferentsiaalne mõõtmine

Nii nagu absoluutse asukohamääramise puhul, kasutatakse ka diferentsiaalsel GPS mõõtmisel koodi levikuaajale põhinevat tehnoloogiat.

Kuna antud meetodi puhul asub üks vastuvõtjatest kindelpunktis, siis on võimalik välja arvutada tegelik kaugus satelliidini. Kindelpunktis asuva vastuvõtja asukoht peaks olema määratud vähemalt 10 sentimeetri täpsusega. Võrreldes analüütilist kaugust mõõdetuga, saame leida mõõtmisvea suuruse (S/A, kellade viga, satelliidi ja orbiidivead jne. Vt peatükki Veaallikad).

Kui tugi- ja liikuvjaama vahekaugus ei ületa 500 km, võib oletada, neid mõjutavad ühed ja samad tegurid. Liikuvjaama mõõtmistulemustesse paranduste sisseviimisega saavutatakse 1-5-meetrine täpsus. Täpsust mõjutavad tugi- ja liikuvjaama vaheline kaugus ja satelliidigeomeetria. Liikuvjaama mõõtmistulemustesse võib parandusi sisse viia vahetult, kasutades raadioside abi või

hilisemat andmetöötlust. Viimasel juhul teevad tugi- ja liikuvjaam sõltumatuid mõõtmisi ning talletatud info töödeldakse ühiselt spetsiaalset tarkvara kasutades.

Mõlemad vastuvõtjad peavad salvestama andmeid samaaegselt, eriti oluline on see siis, kui arvutused teostatakse hiljem. Diferentsiaalne mõõtmismeetod aitab vältida põhilisi vigu, kuid mitte mitmeteelisust ega müra, suurimaks veallikaks selle meetodi puhul on satelliidi orbiidi ekslimatsioon. Meetodi täpsuseks on 1-5 m, seda meetodit kasutatakse täppisnavigatsioonis.

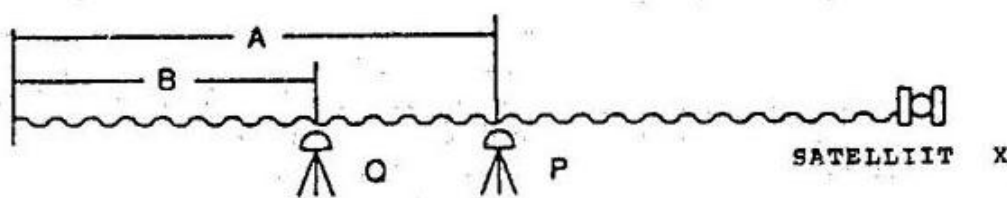
Diferentsiaalne asukohamääramine võib olla dünaamiline või staatiline. Staatiline meetodika annab vea alla ühe meetri. Diferentsiaalset asukohamääramist rakendatakse täpsusnavigatsioonis maal, merel ja õhus. Kasutamist leiab ka mõnes maamõõduvaldkonnas (GIS- andmepankade loomisel jt.). [1]

## Interferomeetriline mõõtmine

Täpseteks maamõõdutöödeks ei ole nn. absoluutse asukohamääramise täpsus piisav. Et viia täpsus sentimeetri ja millimeetri tasemele, tuleb kasutada teist mõõtmisviisi.

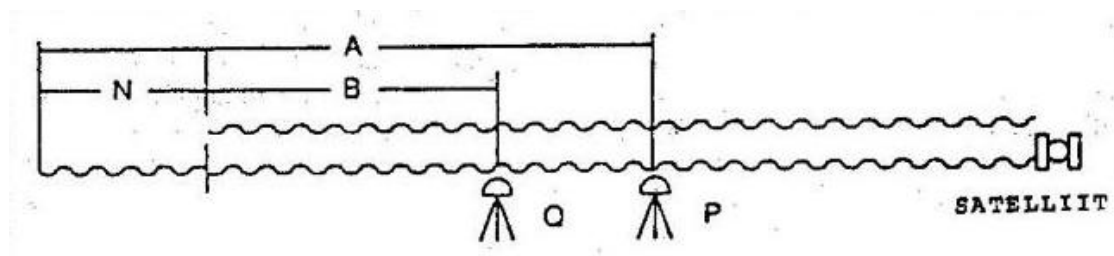
Toome näite selgitamiseks interferomeetrilise mõõdistamise põhimõtet. Tähistame kasutatavad vastuvõtjad tähtedega P ja Q. Vastuvõtjate käivitamisel sünkroniseerivad nad oma kellad satelliidi omaga ja alustavad vastuvõttu, hakates lugema saabuvate signaalide täisvõnkeid. [1]

Oletame, et vastuvõtjad alustavad signaali vastuvõttu täpselt ühel ja samal ajal. Sel puhul on teatud aja ( $t$ ) möödudes vastuvõtja P mõõtnud A ning vastuvõtja Q mõõtnud B signaali täisvõnget (Joonis 12.). Kauguskomponent ( $D$ ) satelliidi X suunas on arvutatav järgmiselt  $D=(A-B) \cdot \text{lainepikkus}$ .



Joonis 12.

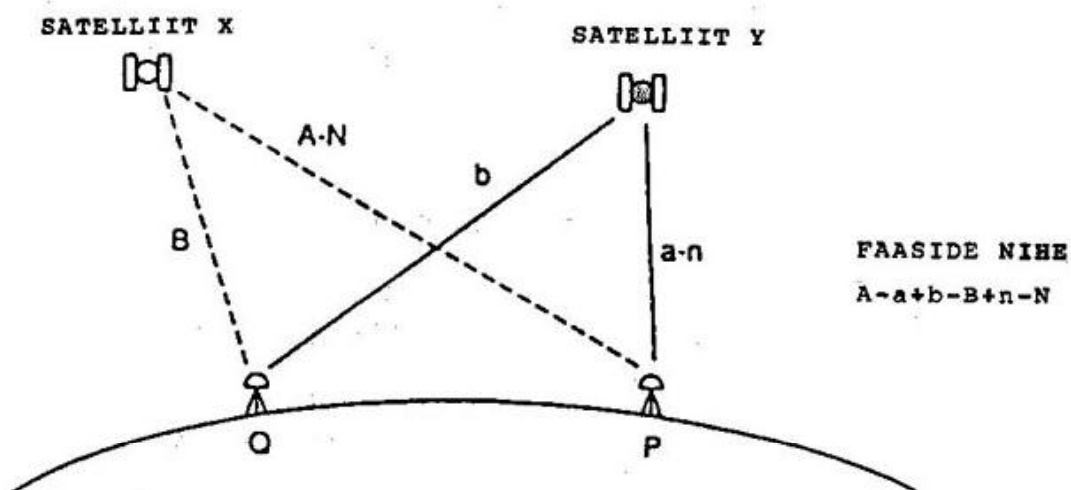
Praktiliselt aga ei ole vastuvõtjate üheaegne käivitumine mõeldav. Oletame, et vastuvõtja Q on mõõtnud N signaali töövõngset enne vastuvõtja P käivitumist (joonis 13). Eeltoodud valem omandab nüüd järgmise kuju:  $D=(A-B-N)*\text{laine pikkus}$ . Valemi osa  $(A-B-N)$  nimetatakse vahesuuruseks (inglise keeles *single difference*) satelliit X suhtes. [1]



Joonis 13.

Antud meetodit kasutades saab teoreetiliselt satelliidi X kellade vea kõrvaldada, kuna see mõjutab samaaegselt A ja B tulemusi. Vastuvõtjate kellade vead mõjutavad praktiliselt siiski tulemusi, kuna nende omavahelist identsust ei ole võimalik garanteerida.

Tekkinud probleemi lahendamiseks mõõdetakse teine vahe  $(a-b-n)$  teise satelliidi Y suhtes samal ajal  $(t)$ . Kuna kaks tulemust  $(A-B-N)$  ja  $(a-b-n)$  on saadud ühe ajavahemiku jooksul, siis mõjutavad nad mõlema vastuvõtja mõõtmistulemusi sarnaselt [1].



Joonis 14

Järgnevalt lahutatakse ühest saadud suurusest teine  $(A-B-N)-(a-b-n)$  ning tulemusena saadakse satelliitide X ja Y vaheline kaksikvahe (*double difference*)

(Joonis 14) [1]. Nii saabki kõrvaldada vastuvõtjate Q ja P ning satelliitide kellade vead. Suurust  $n-N$  nimetatakse algtundmatuks. Algtundmatu väärtus on teadmata, kuid ta püsib kogu mõõtmiste aja muutumatuna juhul, kui signaal satelliidi ja vastuvõtja vahel ei katke. Algtundmatu lahendi leidmine vajaliku tõenäosusega on võimalik vaid püsiva signaali korral.

Kui mõõtmiste käigus signaal satelliidi ja vastuvõtja vahel katkeb (*cycle slip*), saab pärast ühenduse taastamist algtundmatu uue väärtuse. Algtundmatu lahendamist tuleb alustada uuesti. Katkestusi on võimalik arvestada ka hilisemas andmetöötles spetsiaalmeetodeid kasutades. [1]

Kokkuvõttes võib öelda, et interferomeetrilise mõõtmismeetodi puhul orienteerutakse satelliitide ja vastuvõtjate vahekauguste vahedele. Tulemuseks saadakse kahe punkti omavaheline paiknemine suure täpsusega.

## **Staatilised mõõtmismeetodid**

Antud meetodit kasutatakse põhiliselt geodeetiliste põhivõrkude kõrgemate klasside loomisel, maakoore nihete vaatlusel ning see on kõigi ülejäänud meetoditega võrreldes kõige täpsem.

Staatilise mõõtmismeetodi puhul teostatakse mõõtmisi 40 minutist mõne tunnini, olenevalt vastuvõtjate omavahelisest kaugusest, satelliidigeomeetriast jne. Epohhi salvestamise intervall võiks olla 15-30 sekundit [2]. Mõõtmistel kasutatakse vähemalt nelja satelliidi signaali ja horisont võiks olla vaatluspunkti ümbruses avatud  $15^\circ$ .

Ühesageduslike vastuvõtjatega mõõtmisel võib vastuvõtjate vahekaugus ulatuda 25 kilomeetrini. Kahesageduslike vastuvõtjatega mõõtmisel võib vahemaa ulatuda aga isegi sadadesse kilomeetritesse.

Staatiline mõõtmismeetod on parim, kui nõutakse kõrget täpsust, mõõdetavad vektorid on pikad või kui satelliitide konstellatsioon ei ole sobiv teiste mõõtmismeetodite jaoks.

### **Kiirstaatiline mõõtmismeetod (inglise keeles *rapid static; fast static*)**

Kiirstaatiline meetod on paljuski sarnane staatilisele. Ainsaks erinevuseks on lühem mõõtmiste aeg. Kasutades kiirstaatilist meetodit, võime vähendada näiteks ühetunnist mõõtmiste aega (staatilise meetodi puhul) 5-20 minutini. Minimaalne satelliitide arv, mida kasutatakse, on 4 (soovitav 5 või enam). Ka siin vajatakse avatud horisonti 15° ulatuses.

Kiirstaatilist meetodit võib kasutada kuni 20 kilomeetriliste vahemaade puhul, kuid teda on võimalik kasutada vaid kahesageduslike vastuvõtjate ja spetsiaaltarkvara olemasolul.

Üks vastuvõtjatest asub kindelpunktil ja püüab kõiki nähtaval olevaid satelliite. Teine vastuvõtja liigub mööda punkte, peatudes neil hetke. See meetod on ideaalne, kui on vaja mõõdistada lühikese ajaga palju punkte. [2]

Kiirstaatilist meetodit võib rakendada madalama klassi geodeetilise põhivõrgu loomisel ja kaardistamistöodel [1].

## **Kinemaatilised mõõtmismeetodid**

Kinemaatiliste mõõtmismeetodite puhul paikneb vähemalt üks vastuvõtjatest kindelpunktis, ülejäänud vastuvõtjad on aga liikuvad. Oluline, on vahemaa tugijaamani. Mida kaugemal tugijaamast on punkt, seda kauem peab mõõtma. Kinemaatiliste mõõtmismeetodite juures on olulisim aeg, mis on vaja algundmatute määramiseks. Eksisteerib mitmeid erinevaid kinemaatilisi mõõtmismeetodeid. [2]

### **Pidev kinemaatiline mõõtmine (inglise keeles *continuous, true kinematic*)**

Selle meetodi kasutamisel on liikuv vastuvõtja pidevas liikumises, näiteks vastuvõtja on paigaldatud lennukile või laevale. Enne mõõtmiste algust tuleb aga lahendada algundmatud (näiteks staatilisel meetodil) [1]. Mõõtmiste ajal peab vastuvõtja fikseerima pidevalt vähemalt nelja satelliiti. Kui signaal katkeb, tuleb mõõtmisi korrata.

Praktiliselt saab seda meetodit kasutada täiesti avatud maastikul (ka avamerel). Statsionaarse ja liikuvjaama vahekaugus võib ulatuda kuni 30 kilomeetrit.

Pidevat kinemaatilist meetodit kasutatakse liiklusvahendite liikumistrajektooride jälgimiseks, näiteks aeropildistamisel. Liikuv vastuvõtja registreerib asukoha teatud ajavahemike järel või välise ärrituse mõjul (näiteks aerofotokaamera katik). Kui mõõdistamine õnnestub, saadakse liiklusvahendi liikumistrajektor mõne sentimeetri täpsusega. [1]

### **Kinemaatiline (Stop and Go) meetod**

Siin liikuv vastuvõtja registreerib nõutaval punktil andmeid mõnest sekundist mõne minutini. Vastuvõtja liikumisel punktilt punktile ei tohi satelliitide signaal katkeda. See meetod sobib kaardistamiseks avatud maastikul ning alg tundmatud määratakse enne mõõtmisi.

Soovitav on viie või enama satelliidi signaali kasutamine. Vastuvõtjate lähteasend peab olema määratud vastavalt juhendile enne mõõtmisi. Kinemaatiline mõõtmine peaks algama ja lõppema tuntud punktil. Epohhi salvestamise intervall peaks olema 1-5 sekundit, võib ka kuni 15 sekundit .

### **Pseudokinemaatiline meetod**

Mõõtmisi tehakse liikuva vastuvõtjaga mõne minuti jooksul kaks korda samades punktides tunniajalise vahega. Vastuvõtja liikumisel punktilt punktile ei ole side satelliitidega vajalik. Algtundmatud leitakse hilisema andmetöötluse käigus, igale punktile eraldi. [2]

Referentsjaamal ei tohiks side satelliitidega katkeda kogu mõõtmiste jooksul. Minimaalne sessiooni pikkus liikuv vastuvõtjal peaks olema mõlemal sessioonil 5 minutit ja mõõtmiste vahele peaks jääma vähemalt 45 minutit. Liikuvatel vastuvõtjatel peaks kasutama kinnitatud antenni süsteemi (et antenni kõrgus oleks sama).

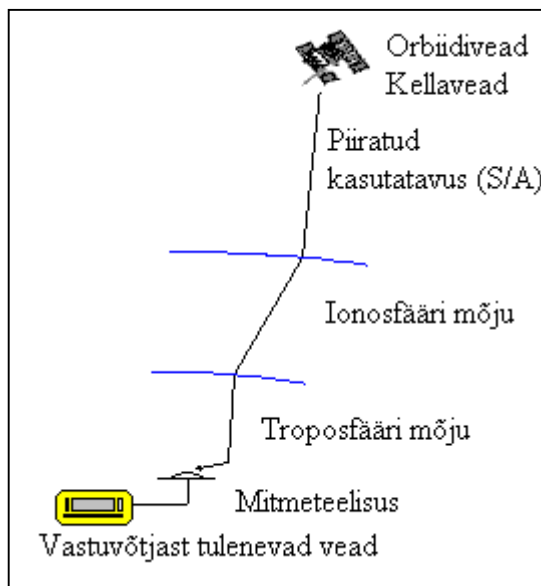
Epohhi salvestamise intervall 10, 5 või 1 sekund. Viie või enama satelliidi signaali kasutamine annab parema täpsuse. Vektorite lahendus sõltub satelliitide geomeetria muutusest esimese ja teise sessiooni vahel.



# Veaallikad

20000 km kõrgusel ja kiirusel 3 km/s liikuva satelliidi paiknemine on meile teada tänu GPS satelliitide efemeriiitidele, mis on suhteliselt täpselt määratletavad. Satelliitide orbiidi suur kõrgus on teatud eeliseks. Antud juhul on Maa õhuruumi ja gravitatsioonivälja muutuste mõjud küllalt väikesed ning võimalikke kõrvalekaldeid matemaatilisest mudelist kontrollitakse seirejaamades, kus määratletakse satelliidi kõrgus, kiirus ja paiknemine. Määratud parameetrid lähetatakse satelliidi protsessorile, sealt tarbijale. Matemaatilisest mudelist kõrvalekallete põhjuseiks loetakse Kuu ja Päikese külgetõmbejõudu ning päikesekiirguse rõhku satelliidile.

Üheks raskemini arvestatavaks veaallikas GPS mõõtmisel on ionosfääri



(ulatus 50 kuni 1000 km kõrguseni) mõju. Päikese ultraviolettkiirgus on vabastanud selles kihis asuvatest gaasimolekulidest elektrone ning GPS signaal, läbides selle ioniseeritud gaasi kihi, teatud määral pidurdub [1]. Pidurdus mõjutab signaali levikuaja määramist, kuna signaali levikukiirust peetakse konstantseks. On välja töötatud kaks põhimõtteliselt erinevat ionosfääri mõju elimineerimise meetodit.

Joonis 15. Veaallikad

Esiteks, võime oletada, milline oleks normaalionosfääri mõju tüüpilisel

päeval ning viia kõigisse mõõtmistulemustesse sisse parandused, kasutades loodud mudelit. Sellest on kindlasti abi, kuid kahjuks pole kõik päevad tüüpilised. [1]

Teine, rangem meetodika põhineb tõsiasjal, et ionosfääri pidurdava toime on pöördvõrdeline sageduse ruuduga. Kui kasutame kahesageduslikke GPS vastuvõtjaid ja mõõdame erinevatel sagedustel väljunud signaalide saabumisaegu, saame välja arvutada ionosfääri pidurdava toime. [1]

Peale ionosfääri läbimist satub GPS signaal troposfääri, kus veeaur teda omakorda pidurdab. Kahjuks on troposfääri mõju praktiliselt võimatu korrigeerida, tema mõju on aga siiski väiksem ionosfääri omast.

Hoolimata aatomikellade täpsusest ja seirejaamade valvest ei ole kõik muutused kellade töös korvatavad. Viga, mille tekkimises ei saa süüdistada satelliite ja vastuvõtjaid on nn. signaali mitmeteelisus, mille puhul signaal ei tule otse vastuvõtjasse, vaid peegeldununa mõnest pinnakattest (näiteks plekk-katusest). Sama veallikas toob näiteks varjud televiisoriekraanile. Viimase põlvkonna vastuvõtjad kasutavad küll vastavaid antenne ja programmkava, kuid lõplikuks seda lahendust pidada ei saa.

GPS mõõtmiste suurimaks veallikaks oli pikka aega nn. piiratud kasutatavus (S/A- *selective availability*). Viimane oli tingitud USA Kaitseministeeriumi poolt teadlikult ebatäpsemaks muudetud satelliitide rajaparameetritest ja ajaparandustest.

Asukoha määramise täpsust mõjutab ka satelliitide omavaheline paiknemine ehk satelliidigeomeetria. Satelliidigeomeetriat hinnatakse GDOP (Geometric Dilution of Precision) skaala abil. Mida kaugemal üksteisest on satelliidid ning mida ühtlasemalt on nad taevaalaotusel jaotunud, seda väiksem on GDOP väärtus ning seda täpsem tulemus. [1]

Üheks veallikaks on ka kasutajate endi poolt põhjustatud vead näiteks viga koordinaatide sisestamisel ning ka seirejaamades tekkinud arvutite tööst tulenevad vead. Vea suurus võib ulatuda ühest meetrist sadade kilomeetriteni

Eelmainitud veallikate tüüpväärtused meetrites on järgmised:

satelliidi kellavead	1m
satelliidi orbiidivead	1m
vastuvõtja vead	2m
iono- ja troposfääri mõju	4m
piiratud kasutatavus (S/A)	30m
satelliitide kauguse mõõtmise summaarne viga (ilma S/A-ta)	5-10m

# GPS-i kasutus igapäeva elus

GPS vastuvõtja peamiseks ülesandeks on vastu võtta satelliitide poolt saadetud infot, mille abil on võimalik oma asukoht välja arvutada. Peale mõningaid arvutusi ilmubki vastuvõtja ekraanile kasutaja asukoha pikkus-, laiuskraad ning kõrgus merepinnast. Enamus vastuvõtjad suudavad need andmed esitada mälus olevatel kaartidel. Kuna vastuvõtjate mälu on siiski väike võib kaarte hoida oma personaalarvuti mälus, mis on tunduvalt mahukam. Nii saab kasutaja pärast infot töödelda nagu ta soovib. Hiljem kui jälle sama kaarti vaja on saab selle jälle vastuvõtjasse tõmmata.

GPS vastuvõtja mitte ainult ei näita sinu asukohta kaardil, vaid suudab näidata ka sinu liikumist kaardil. Ainsaks tingimuseks sel juhul on, et vastuvõtja oleks pidevas ühenduses satelliitidega. Nii saab kasutaja teada ka näiteks kaugemale ta oma sihtpunktist jõudnud on, kaua ta on liikunud, hetkekiirust, keskmist kiirust, läbitud maad ja ka arvatavat teekonna lõpp-punkti jõudmise aega. Viimast muidugi juhul kui vastuvõtjasse on eelnevalt lõpp-punkti koordinaadid sisestatud.

Seega saab vastuvõtjasse ka andmeid sisestada. See võimaldab kasutajal näiteks oma reisi ette planeerida, salvestades vastuvõtjasse peatuspaikade, vaatamisväärsuste, laagrikohtade jne andmeid. Ning reisil olles ei lähe muud vaja kui ainult oma vastuvõtjat.

Olgugi, et GPS loodi algul sõjaliseks otstarbeks, on tal nüüdseks väga palju erinevaid kasutamismõimalusi ja nende arv aina kasvab.

## Näiteid

Kõige rohkem kasutavad muidugi maamõõtjad GPS-i oma igapäeva töös – kaardistamisel ja mõõtmistel. Samuti kasutatakse GPS vastuvõtjaid osooniaukude jälgimisel. Ning ka muude loodusnähtuste vaatlemisel.

Üheks enam populaarsust koguvaks kasutusviisiks on liiklusvahendite jälgimine. Näiteks ärandatud autode leidmine pole enam probleemiks, kui auto on varustatud GPS seadmega ja vargad pole seda eemaldanud.

Liiklusvahendile paigaldatakse GPS-GSM (Global Standard for Mobile Communications – mobiilside globaalstandard) seadmete komplekt, mis koosneb: GPS-antennist, GPS-vastuvõtjast, kontrollierist ja GSM-modemist.

Kontroller juhib kogu seadme tööd ja teisaldab koordinaadi GSM-standardile vastavaks SMS<sup>1</sup> - sõnumiks. Samas on kontroller ka täiturseadmeks operaatori (kliendi) poolt juhitud tegevuses. GSM-modem edastab vajaliku sõnumi kontrollerisse programmeeritud telefonide numbritele. Positsioneerimine on rakendatav kõikides riikides, kellega on mobiilsideoperaatorid sõlminud koostöölepingu. Lisaks ühekordsele positsioneerimisele mingil ajahetkel, on võimalik teostada mõningate objektide pidevat reaajas jälgimist GSM-data kanali kaudu.

Süsteemi keskmine SMS-iga saadetava või saadava päringu ja vastuse aeg on 18-25 sekundit.

Samuti saab tavalise GSM-telefoni abil saata autole SMS-päringu, millele vastuseks saadab GPS-GSM kontroller teate auto täpse asukoha ja liikumiskiiruse kohta päringu teostamise hetkel. Seadme kasutusala ei piirdu paarisaja meetriga, vaid PC-arvuti ja digitaalkaardi (AutoRoute Express) olemasolu korral on võimalus kuvada auto asukohta digitaalkaardil suhteliselt täpselt nii Euroopas kui ka pea terves maailmas.

Varastatud auto puhul on võimalus kõnealuse GPS-GSM seadmega juhtida selle sõiduriista "elutähtsaid organeid" eemalt mobiiltelefoni abil. Auto mootorit saab lühisõnumiga kiiresti välja lülitada, lukustada autouksed ning lülitada sisse helisignaali ja ohutuled - veel palju muudki, millega ärandatud auto omanik väldib suure tõenäosusega tekkida võivat kahju.

See võimalus ei ole mitte ainult individuaalautode tarbeks vaid ka transpordi- ja metsaveofirmad, operatiivteenistused, maaparandusettevõtted, turismi- ja taksoteenuseid pakkuvad ettevõtted, veesõidukite omanikud jne. [8]

Inglise kanali alla tunneli ehitamisel kasutati GPS-i. Kuna inglased alustasid ehitus töid Doverist ja prantslased Calaisist, siis tuli pidevalt jälgida GPS-i abil oma asukohta ja seda, et ikka ühes punktis kokku saadakse. [5]

Ka laste jälgimiseks saab GPS-i kasutada. USA firma Wherify Wireless on loonud Wherify GPS Locator FOR CHILDREN nimelise käekell-asukohamääraja-pageri lastele [10]. Seade on mõeldud lapsevanematele, kes tahavad igal hetkel teada oma lapse asukohta. Asukoha määramiseks kasutatakse GPS-satelliite ja muu side käib läbi ameeriklaste PCS-mobiilivõrgu [10].

---

<sup>1</sup> Short Message Service - lühisõnumiteenus

GPS Locatori abil saab lapse asukohta määrata minuti jooksul, samuti saab seadet programmeerida salvestama lapse liikumist etteantud intervalliga, näiteks iga 10 minuti tagant. Vanemad saavad oma lapse asukohta kontrollida läbi interneti või telefoni teel. Loomulikult käib seade randmele lukku. Lukku saab maha võtta spetsiaalse puldiga või kaugjuhtimise teel näiteks läbi interneti. Wherify töötab ainult USAs. [10]

GPS-iga saab ka joonistada, kui kasutada paberi asemel Maad ning joonistusvahendina oma GPS vastuvõtjat (vt [15]).

Üks laialt levinud kasutusala on ka geopeitus. See on aaretemäng, kus aarete leidmisel on abiks GPS. Keegi peidab ära mingisuguse aarde, annab selle asukohta andmed ning huvilistel jääb üle see vaid leida. [16]

Nagu eelpool mainitud on kasutusvõimaluste nimekiri lõputu.

# GLONASS ja ENSS

Peale GPSi satelliitidele tiirlevad kosmoses ka Venemaa GLONASS i 24 satelliiti. Süsteem loodi aastatel 1982-1996. Satelliitide kõrgus on 19100km ja nende tiirlemisperiood on 11 tundi 15,7 minutit. Taevamehaanika seisukohalt on nende trajektoorid paremad kui GPS puhul, kuid nende planeeritud eluiga on lühem (1-5a). GLONASS põhipuuduseks on see, et süsteemi seirejaamad asuvad ainult endise NL territooriumil, mistõttu trajektooriandmete täpsus kannatab. 1997. aastast on olemas vastuvõtjad, mis kasutavad nii GPS kui GLONASS satelliite, saades nii suurema täpsuse.[2]

Ka Euroliit kavatseb luua oma satelliitsüsteemi ENSS (European Navigation Satellite System, tuntud ka kui GALILEO), mis koosneb 12 geosünkroonsel ja 3 geostatsionaarsel trajektoorigil asuvast 30 satelliidist. Geostatsionaarsete satelliitide kõrguseks on planeeritud 35 800 km, nende trajektoorid on konstantsetel laiustel ja tiirlemisaeg ühtib Maa pöörlemisajaga, nii et nad “ripuksid” teatud punktides Lõuna-Euroopa, Kesk-aafrika ja Lõunamere kohal. Geosünkroonsed on planeeritud joonestama kaheksaid Atlandi ookeani, Lääne-Euroopa ja Lääne-aafrika ning Ida-Euroopa, Lääne-Aasia ja India ookeani kohal. GALILEO peaks saama valmis 2008. aastaks. [4]

GPS, GLONASS ja ENSS moodustaksid koos nn. GNSS (Global Navigation Satellite System).

# Kokkuvõte

Käes oleva töö eesmärk oli anda ülevaade asukohamääramise süsteemist GPS ja luua materjal, millest oleks kasu kõikidel huvilistel ja ka mõne mõõtmistega seotud aine õpilastel. Tööd on hea kasutada lisamaterjalina, kuna vaatamata süsteemi populaarsusele on eesti keelset materjali siiski vähe.

Töö kirjutamisel püüdsin tuua välja huvitavamaid aspekte GPS süsteemi tekkeloost ning kasutusvaldkondadest. Huvilised saavad esialgse ülevaate antud teema kohta lihtsamal kujul, kui seda on kõikvõimalikud inglise keelsed teaduslikud tekstid

Oma töös keskendusin peamiselt ülevaate andmisele erinevatest mõõtmismeetoditest ja kasutusvõimalustest. Kuna töö on siiski ülevaatliku iseloomuga, puuduvad tehnilisemad seletused ja täpsemad kirjeldused.

# Kasutatud kirjandus

1. **Rüdja, A.** GPS – Geodeet, 1993, nr. 5, lk. 18-27.
2. 2.1 GPS, <http://www.hot.ee/maits00/sisukord/1sisu.htm>, 12/10/2003
3. Before GPS – GPS: A New Constellation,  
<http://www.nasm.si.edu/galleries/gps/before.html>, 07/10/2003
4. EUROPA – Energy and Transport – GALILEO,  
[http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/index\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm), 20/10/2003
5. Global Positioning System Primer,  
<http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER/index.html>, 08/10/2003
6. GPS GSM positioneerimise seade, <http://www.infors.ee/gps.html>, 20/10/2003
7. GPS info “Mis asi on GPS”, <http://www.zone.ee/gps/info/gps.htm>, 12/10/2003
8. GPS Tutor, <http://www.mercat.com/QUEST/gpstutor.htm>, 12/10/2003
9. Howstuffworks “How GPS Receivers work”,  
<http://www.howstuffworks.com/gps.htm>, 12/10.2003
10. minut.ee | GPS asukohamääraja lastele –mürsiku õudusunenägu,  
<http://www.minut.ee/article.pl?sid=03/05/04/2230257>, 20/10/2003
11. Global Positioning System Overview,  
<http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>, 10/10/2003
12. GPS Portal: Global Positioning System introduction and services in internet, links to world wide, <http://www.wowinfo.com/gps/>, 22/10/2003
13. Harrison Chronometers, <http://www.harrisonclocks.co.uk/chronometers.htm>,  
29/10/2003
14. Garmin:What is GPS, <http://www.garmin.com/aboutGPS/>, 15/10/2003
15. GPS Drawing Gallery, <http://www.gpsdrawing.com/gallery.htm>, 22/10/2003
16. Geopeitus, <http://www.geopeitus.ee/>, 16/10/2003
17. What to do with your new GPS, <http://www.gpsinformation.org/dale/usegps.htm>,  
23/10/2003