



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Bruk av ICON for å estimere ionosfærisk forsinkelse over nord Europa

Estimates of ionospheric delay above northern
Europe using ICON

André Elvebakken Løvås
MSc Geomatikk

Forord

Masteroppgaven min markerer slutten på min studietid ved NMBU. Oppgavens omfang er 30 studiepoeng og er utarbeidet høsten 2016, ved Institutt for Matematiske realfag og Teknologi (IMT).

Oppgaven har bydd på mange opp og nedturer ettersom ny kunnskap stadig har blitt satt på prøve. Det er ikke alt man rekker å gå gjennom av metoder og muligheter på et 300 poengs studie. Derfor er jeg meget takknemlig for å ha fått muligheten til å jobbe med et tema som ligger utenfor det tradisjonelle pensum.

Først og fremst vil jeg takke min veileder Ola Øvstedal. Uten den støtten jeg har fått med ferdige programvare, gode råd og samtaler ville oppgaven vært alt for krevende for de 30 poengene den i dag omfatter. Masteroppgaven har lært meg mye, om meg selv, om metoder benyttet i den virkelige verden, men kanskje mest hvor mye jeg enda ikke vet. Jeg vil også gi en stor takk til min fantastiske samboer Christine Thorsrud som i perioder har måtte tatt den største jobben vedrørende å ta vare på vårt lille barn og hjem.

Siden vil jeg takke nære medstudenter samt forelesere og professorer for fine år på NMBU. En takk går også til mine foreldre som viser nysgjerrighet og oppmuntring til min studietid ved NMBU.

En takk går også til Statens Kartverk og International GNSS Service for tilgang og bruk av deres data.

Ås, Desember 2016

André Elvebakken Løvås

Sammendrag

Jordas atmosfære står for store og små forstyrrelser av GNSS signaler som skal nå en bruker på jordas overflate. Forstyrrelsene fører til at posisjonsbestemmelse med romgeodetiske teknikker avviker fra den potensielle nøyaktigheten et gitt GNSS tilbyr. Den største feilkilden fra signalets gang gjennom atmosfæren er forårsaket av ionosfæren. Ionosfæren er et dispersivt medium for frekvenser over 30MHz som gjør det mulig for to-frekvente mottakere å estimere eller eliminere signalets forsinkelse gjennom ionosfæren.

Tradisjonelt blir den ionosfære forskyldte forsinkelsen også da TEC estimert ved å anvende kode og fasemålinger sammen. Selv om kodemålinger er mindre nøyaktig enn fasemålinger blir de benyttet for å estimere fasens tvetydighet i en prosess kalt «carrier levelled to code».

I denne oppgaven har en annen metode for estimering av ionosfæreforsinkelsen blitt testet. Metoden er kalt ICON og baserer seg kun på to-frekvente, tvetydige faseobservasjoner uten støtte fra kodemålinger eller annen apriori informasjon. Metoden er avhengig av meppingfunksjoner mellom nære slant observasjoner av ionosfæren og at observasjonene kommer fra bakkestasjoner.

ICON vil ble testet på mottakernettsverk med forskjellige størrelser for å undersøke hvilke krav metoden setter til størrelsen til mottakernettsverket. Siden metoden baserer seg på å observere samme STEC verdi fra forskjellige stasjoner som overlapper i tid ble også geometrien i nettsverket testet.

Signalets forsinkelse gjennom ionosfæren ble også estimert med godt etablerte metoder som TEC estimert med carrier levelled to code, IGTEC og Klobuchar modellen som ble benyttet for å sammenligne med prestasjonen til ICON.

I ett mottakernettsverk med 14 mottakere distribuert i den nordlige delen av Europa, viser resultatene fra denne oppgaven til at ICON kan estimere ionosfærisk forsinkelse med et avvik fra IGTEC på under en meter.

Abstract

The earth's atmosphere is responsible for a number of disturbances on GNSS signals trying to reach the earth's surface. The disturbance leads to errors when trying to determine a position on earth using space geodetic techniques and prevents a user of GNSS the systems potential accuracy. The ionosphere is a dispersive medium for frequencies over 30 MHz witch? in turn makes it possible for double frequencies receivers to determine or strongly reduce the signals delay through the ionosphere.

Traditionally the ionospheric delay is estimated with phase combined with code measurements. The code measurements are less accurate than the phase they are used to help solve for the phases ambiguity in a process known as carrier levelled to code.

In this research, another method for estimating the ionospheric delay have been investigated. The method called ICON bases itself solely on double frequency, ambiguous carrier phase data with no reliance on pseudo-range or other apriori information. The only reliance is upon the mapping function between slant views of the ionosphere and that the measurements attained come from a network of ground based GPS receivers.

ICON have been tested on receiver networks of different size to try and determine the methods requirement of the receiver network size. Since the method is based on observing the same slant view of the ionosphere that overlap in time from different stations, the geometry of the receiver network has also been tested as well.

The ionospheric delay estimated with firmly established methods like ionospheric delay estimated with carrier levelled to code, IGTEC and The Klobuchar model was also performed. These methods were used to determine the performance of ICON.

With a receiver network containing 14 receivers distributed in the northern parts of Europe, the results from the research conducted in this theses show that ICON can estimate ionospheric delay with an error of under one meter compared to IGTEC.

Ofte brukte forkortelser

C/A	Coarse/acquisition
CDMA	Code division multiple access
CODE	Center for Orbit Determination in Europe
DCB	Differential code bias
DoD	U.S. Department of Defense
FDMA	Frequency division multiple access
GEO	Geostationary Earth orbit
GLONASS	Global'naya Nawigatsionnaya Sputnikowaya Sistema or Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IFB	Inter-frequency bias
IGS	International GNSS Service
IONEX	Ionosphere map exchange format
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IPP	Ionospheric pierce point
LEO	Low Earth orbit
MEO	Medium Earth orbit
NAVSTAR	Navigational Satellite Timing and Ranging
PRN	Pseudorandom noise
RINEX	Receiver-independent exchange format
RMSE	Root mean square error
VMF	Vienna mapping function

Innhold

Forord.....	2
Sammendrag	3
Abstract	4
Ofte brukte forkortelser	5
1. Introduksjon.....	10
1.1. Perspektiv	10
1.2. Oppgavens fokus	10
2. Globale Navigasjonssystem.....	11
2.1. Oppbyggingen av et GNSS	11
2.2. Rom segment	11
2.3. Kontrollsegment	12
2.4. Brukersegment.....	12
3. Satellittsystemer	13
3.1.1. Global Positioning System	13
3.1.2. Referansesystem	13
3.1.3. GPS tjenesten	13
3.1.4. Romsegment	14
3.1.5. Nåværende satellittgenerasjon.....	14
3.2.1.GLONASS.....	15
3.2.2.Referansesystem.....	15
3.2.3.GLONASS tjenesten	16
3.2.4.Romsegment.....	16
3.3.1.Galileo	16
3.3.2.Koordinatsystem.....	17
3.3.6.Galileo signaler.....	17
3.3.7.Galileo tjenester.....	17
3.3.8.Search And Rescue (SAR) tjenesten	18
3.4.1.BeiDou.....	18
3.5.Sammenligning og oppsummering av GPS, GLONASS, Galileo og BeiDuo	19
4. Atmosfæren	20
4.1. Radiosignalets gang fra satellitt til mottaker	20
4.2. Årsaken til ioniseringen.....	20

4.3.	Elektromagnetisk stråling.....	21
4.4.	Ionosfærens refraksjonsindeks	22
4.5.	Virkningen av ionosfæreforsinkelsen.....	24
4.6.	Troposfæren.....	25
4.7.	Mapping funksjoner	26
5.	Satellittbasert posisjonering.....	28
5.1.	Prinsipp.....	28
5.2.	Punktposisjonering	29
5.3.	Kode pseudoavstand.....	29
5.4.	Fasemåling.....	30
5.5.	Observasjonsligninger	30
5.6.	Singel og dobbeldifferanser.....	31
6.	Lineære kombinasjoner	33
6.1.	Konsept.....	33
6.2.	Ionosfærefri lineærkombinasjon.....	34
6.3.	Lineærkombinasjoners nye egenskaper.....	35
6.4.	Presis punktposisjonering.....	38
6.3.1.	Korreksjoner og modeller.....	38
7.	Estimere elektrontettheten i ionosfæren	40
7.1.	Klobuchar ionosfæremodellen.....	40
7.2.	Levelling carrier to code.....	40
7.3.	Single layer model.....	43
7.4.	IGS	45
7.4.1.	IGS working groups	47
7.4.2.	IONEX.....	47
7.5.	Kan VTEC estimeres med en nevneverdig nøyaktighet ved bare å anvende faseobservasjoner?48	
8.	Metode.....	49
8.1.	TEC estimert bare med faseobservasjoner	49
	Fremgangsmåte	49
8.2.	Modell	51
8.3.	Oversikt over prosesseringsrutine	54
8.4.	Krav til distribusjon av stasjoner og geometri.....	56
9.	Utjevning og resultat	61

10. Diskusjon.....	66
11. Oppsummering og konklusjon	70
Biografi	72
Internettkilder	73
Vedlegg: Resultatfil fra estimering av kryssninger.....	74

1. Introduksjon

1.1. Perspektiv

Rundt 230 år før moderne tidsregning ble den første målingen av jordas størrelse utført av Eratosthenes (275-194 B.C.). Eratosthenes innså at ved å måle vinkelen på skyggen kastet i to brønner som sto en avstand fra hverandre på samme meridian kunne man estimere jordas omkrets ved å relatere differansen av lengdegrad ved de to brønnene (Dutka 1993).

1500 år senere råder det uenighet om jordas flattrykking mellom franske og engelske vitenskapsmenn. Det vitenskapelige samfunnet i London med den universale gravitasjonsteorien og kunnskap om jordas rotasjon, argumenterer for en flattrykning ved polene. L'Académie Royale des Sciences i Paris iverksetter to ekspedisjoner for å måle nord-sør kurvingen på den nordlige halvkulen på grensen mellom Sverige og Finland og nord-sør kurvingen i Ecuador ved ekvator. Ekspedisjonene resulterer i målinger som underbygger en flattrykking ved polene (noaa.gov).

Går vi enda ca. 400 år frem, til 22. Februar 1978 og til oppskytningen av den første GPS satellitten har vi entret romgeodesiens alder. I dag bogner det med satellitter av forskjellige slag og formål over oss. Geodesien begrenser seg ikke lengre til å bare kunne estimere jordas omkrets og flattrykking. I dag kan man ved få tastetrykk finne sin egen posisjon og hastighet hvor som helst på eller nær jordas overflate. Ved å analysere målinger fra gravimetrisatellitter som gjør målinger av jordas tyngdefelt kan man se på masseforflytningen i eller på jorden (noaa.gov).

Siden den første oppskytning av en posisjonssatellitt har etterspørselen av posisjonsbestemmelse økt kraftig. Man finner i dag behovet for satellittbasert posisjonering i alt fra fly og båter, landmåling, biler og mobilapplikasjoner som vil vise deg nærmeste kjøpesenter. Det finnes flere globale navigasjonssystemer (GNSS) som det amerikanske Global Positioning System (GPS) og Russiske GLONASS. Europa og Kina driver også i disse dager utviklingen av sine egne GNSS, Galileo og BeiDou.

1.2. Oppgavens fokus

Ionosfæren er den største feilkilden i satellittbasert navigasjon som GPS, GLONASS og Galileo (Kjorsvik et al. 2002). Det beste estimatet på forsinkelsen signal opplever gjennom ionosfæren er dobbelfrekvente faseobservasjoner (Smith et al. 2002). Haken ved å bare anvende faseobservasjoner er at både heltallsflertydigheten til fasen og fasens forskyvning gjennom ionosfæren begge er frekvensavhengig. Disse to ukjente parameterne er tradisjonelt ikke separerbare. Dette har ført til at man tradisjonelt benytter mindre nøyaktige kodeobservasjoner sammen med faseobservasjoner for å estimere TEC.

I denne oppgaven vil det bli gjort forsøk på å estimere TEC med en metode som er designet for bare å anvende faseobservasjoner. Metoden er kalt ICON (navngitt etter dets opphav for å modellere ionosfæren over USAs kontinentområder (CONUS)) og utviklet av Dr. Dru Smith. Metoden vil bli presentert og testet i kapittel 8.

2. Globale Navigasjonssystem

2.1. Oppbyggingen av et GNSS

Som nevnt finnes det i dag et flertall satellittbaserte navigasjonssystemer. I tillegg til GNSS finnes det regionale satellittbaserte navigasjonssystemer som Japans QSZZ og Indias IRNSS. Felles for alle satellittbaserte navigasjonssystemer er at de består av tre segment. Ett rom segment, ett kontroll segment og ett bruker segment.

2.2. Rom segment

For å kunne bestemme tid og posisjon på eller nær jordas overflate må en ha sikt (kontakt) med minst fire satellitter. Et GNSS har som hensikt å fungere hvor som helst på kloden, eller i alle fall dekke så mye av jorden som mulig. For å oppnå et nøyaktig resultat er en avhengig av satellittenes elevasjonsvinkel i forhold til observatøren og geometrien til satellittene det måles til. Dette stiller krav til antall satellitter systemet har og hvordan de er distribuert rundt i konstallasjonen.

Fra bruker til operatør er kostnadene knyttet til å realisere og vedlikeholde systemet viktig. Dermed er det ønskelig å bruke så få satellitter som mulig og det antall baneplan som gir best dekning samtidig som kostnadene holdes innenfor et gitt budsjett. I tillegg bør konstallasjonen formes slik at det er herdet mot flaggede satellitter og reposisjonering av satellitter. En konstallasjon som oppfyller disse kravene er en Walker Delta mønster konstallasjon etter J. G Walker (Meindl 2011).

Walker delta konstallasjonen baserer seg på et antall satellitter jevnt fordelt i flere jevnt fordelte baneplan, hvor hvert baneplan har samme inklinasjon i forhold til ekvator og med noder jevnt fordelt rundt referanseplanet (ekvator). Walkers fremstilling av en konstallasjon er som følger:

$$i:n/p/f \quad (2.1)$$

i er inklinasjonen til baneplanene

n er antall satellitter i konstallasjonen

p er antall baneplan

f er avstanden mellom satellitter i samme plan.

For å gi hvert plan samme antall satellitter, beregnes antall satellitter per plan S ved antall satellitter delt på antall plan, $S = n/p$. Fordelingen av satellitter i samme plan er gitt ved $D_s = 360^\circ/S$. Vinkelen mellom de jevnt fordelte baneplanene er gitt ved $D_p = 360^\circ/p$ (Meindl 2011).

Konstallasjonen for Galileos satellitter er en Walker Delta $56^\circ : 27/3/1$ konstallasjon. Konstallasjonen vil ha en inklinasjon på 56° , bestå av 27 satellitter og tre baneplan med 9 satellitter jevnt fordelt i hvert baneplan (Meindl 2011).

En satellitts bane kan fordeles i tre høydekategorier, Low Earth orbit (LEO), Medium Earth orbit (MEO) og Geosynchronous orbit (GSO). Hastigheten til en satellitt er svært avhengig av jordas tyngdefelt. Desto nærmere en satellitt er jorda desto sterkere vil jordas tyngdekraft virke på satellitten og satellitten vil bevege seg raskere. LEO satellitter ligger i en høyde på opptil 2 000 km og GEO satellitter ligger rundt 36 000 km over jordas overflate. Satellitter som ligger i høyden til sistnevnte fra jordas overflate har samme fart som jordas egen rotasjon. Det medfører at GSO satellitter holder seg over samme lengdegrad, men kan bevege seg i breddegrad. En GSO satellitt som er plassert over ekvator er i en geostasjonær bane (GEO) og beveger seg ikke (i forhold til jorda). MEO ligger mellom LEO og GSO. De fleste GNSS satellittene er MEO satellitter og ligger mellom 19000 – 23500 km over jordas overflate (nasa.gov).

Hver GNSS satellitt er en plattform for verktøy som skal forsikre at systemet virker. Av verktøyene som en satellitt består av er den viktigste komponenten klokken. GNSS satellitter bærer på atomklokker av typen rubidium eller hydrogen maser (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Atomklokkene realiserer systemtid og er basis for grunnfrekvensen til systemet (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Radiosenderne om bord gjør det mulig for satellitten å sende sin egen posisjon og tid til en bruker på bakken.

2.3. Kontrollsegment

Kontrollsegmentet er sammensatt av bakkebaserte GNSS mottakere for kontinuerlig overvåkning av navigasjonssignalene til alle satellittene i systemet. Oppgaven til kontrollsegmentet er også å sende opp og vedlikeholde systemet. Det vil si å flagge satellitter som ikke er operative eller som av en eller annen grunn ikke bør måles til, samt justere banene til satellitter som har driftet ut av sin originale bane. Ved å følge satellittenes bane kan kontrollsegmentet determinere og prediktere bane- og klokkeparametere som de igjen sender tilbake til satellittene.

2.4. Brukersegment

Brukersegmentet omfatter det nødvendige utstyret som trengs for å benytte seg av den tilbudte posisjonstjenesten av et GNSS. Dette er mottakere og antenner som kan fange opp signaler benyttet av det gitte satellittsystemet. Disse kommer i mange forskjellige kategorier fra veldig presise flerfrekvente mottakere til de singelfrekvente mottakerne vi har i lomma innebygd i telefonen vår. Brukersegmentet består også av analysesenter som International GNSS Service (IGS) som leverer satellitt bane og klokkekorreksjoner til brukere av GNSS for å øke målingenes nøyaktighet ytterligere (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

3. Satellittsystemer

3.1.1. Global Positioning System

I 1973 ble Joint Program Office (JPO) med oppfordring fra US Department of Defense (DoD) tildelt oppgaven å etablere, utvikle og teste, tilordne og utsende et rombasert posisjoneringssystem. Resultatet ble Navigation System with Timing And Ranging (NAVSTAR) Global Positioning System (GPS).

Fem år etter initiativet til NAVSTAR ble første satellitt sendt opp i 1978 og systemet vokste til det nådde Full Operativ Kapasitet (FOC) 17. Juli 1995.

3.1.2. Referansesystem

GPS bruker og har brukt World Geodetic System 1984 (WGS-84) siden 1987. Systemet var først realisert på koordinater fra om lag 1500 terrestriske stasjoner som var utledet fra Transit observasjoner. En sammenligning mellom WGS-84 og den Internasjonale Terrestriske Referanserammen (ITRF) viste bemerkelsesverdige forskjeller (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). WGS-84 var basert på dopplerobservasjoner fra Transit satellittsystemet som viste til en nøyaktighet på stasjonene i området 1-2 meter, mens ITRF som er basert på SLR og VLBI viste til en stasjonsnøyaktighet på centimeternivå. Det ble også avduket forskjell i jordas gravitasjonskonstant mellom de to realiseringene, $d\mu = \mu_{WGS} - \mu_{ITRF} = 0.582 * 10^8 m^3 s^{-2}$ som ga målbare forskjeller i satellittbanene.

WGS-84 ble forbedret mot ITRF og i 2002 viste forskjeller mellom de to rammene usignifikante forskjeller i størrelsesorden 1 cm (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Den tilhørende ellipsoiden er nå definert ved de fire parameterne listet i tabell 1 under.

Tabell 3.1: WGS-84 ellipsoideparametere (HOFMANN-WELLENHOF ET AL. 2008)

Parametere og verdier	Beskrivelse
$a = 6378137.0 \text{ m}$	Store halvakse til ellipsoiden
$f = 1/298.257223563$	Ellipsoidens flattrykkning
$\omega_{\oplus} = 7292115 * 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$	Jordas rotasjonshastighet
$\mu = 3986004.418 * 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Jordas gravitasjonskonstant

3.1.3. GPS tjenesten

GPS tilbyr to nivåer av posisjonstjenester: standard posisjonstjeneste (SPS) som kan brukes av sivile brukere og en presis posisjoneringstjeneste (PPS) som er tilgjengelig for autoriserte brukere.

Alle signalkomponentene er kontrollert av atomklokker som rubidium eller cesium klokker. Disse klokkene er også opphavet til grunnfrekvensen i GPS $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$. Fra grunnfrekvensen er GPS-signalene utledet og L1, L2 og L5 bærefasene generert ved å multiplisere med 154, 120 og 115 respektivt som gir

$$L1 = 154f_0 = 1575.42 \text{ MHz}$$

$$L2 = 120f_0 = 1227.60 \text{ MHz}$$

$$L5 = 115f_0 = 1176.45 \text{ MHz}$$

Flere frekvenser er essensielt blant annet for å kunne redusere større feilkilder ved å ta differansen mellom observasjoner gjort på flere frekvenser eller å danne lineærkombinasjon av flere frekvenser, se kapittel 6.

Den sivile C/A (Coarse/Acquisition) koden er tilgjengelig på L1 bærefasen, mens den mer presise P-koden er sendt på både L1 og L2 bærefasene (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

GPS bruker Code Division Multiple Access (CDMA) prinsippet hvor alle satellittene sender forskjellige PRN kode. Satellittnummeret overlapper tradisjonelt med PRN nummeret (PRN01 = SV01) (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

3.1.4. Romsegment

GPS satellittene har en nærsirkulær bane (eksentrisitet på under 0.02) med en høyde på omlag 20200km over jordas overflate og en inklinasjon med ekvator på 55 grader. Som nevnt tidligere refereres satellitter i denne høyden til MOE satellitter. Satellittene har en periode på 11 t 58 m 2 s og en hastighet på 3.9 km pr. sekund. Romsegmentet består av 31 operative satellitter fordelt i seks baneplan.

3.1.5. Nåværende satellittgenerasjon

GPS-konstellasjonen er sammensatt av forskjellige BLOCK-satellitter og er oppsummert i tabell 3.2. Konstellasjonen består av 12 BLOCK IIR (Replenishmen), 7 BLOCK IIR(M) (modernized) som i tillegg til å sende sivilkode på L1 også sender sivilkode på L2 (L2C) sammen med to militære M-koder med forbedret jamme resistans (Tegeador 2015). 12 BLOCK IIF (follow-on) tilbyr et tredje sivilsignal L5 og har en forbedret navigasjonsnøyaktighet takket være de mer nøyaktige atomklokkene de er utstyrt med (rubidium klokker). GPS III er i dag under produksjon. GPS III skal ha alle signalene til IIF, et fjerde sivil signal på L1 (L1C), forbedret signalpålitelighet og ingen Selective Availability (SA). Fra 31. Oktober 2016 er det 31 satellitter som huser GPS konstellasjonen, ikke inkludert utgraderte satellitter som er holdt i bane i tilfelle det oppstår behov for å aktivere dem igjen.

Tabell 3.2: Konstellasjonen til GPS består av 2 BLOCK IIA, 12 BLOCK IIR, 7 BLOCK IIR(M) og 10 BLOCK IIF satellitter. Alle satellittene sender C/A kode på L1 frekvens, BLOCK IIR(M) sender C/A også på L2, BLOCK

IIF sender C/A også på en tredje frekvens L5. BLOCK IIA, IIR og IIR(M) sender kryptert P (M) kode på L1 og L2 frekvensene, BLOCK IIR(M) har en forbedret jamme resistans på M koden (**GPS.gov**).

LEGACY SATELLITTER	MODERNISERTE SATELLITTER	
BLOCK IIR	BLOCK IIR(M)	BLOCK IIF
12 operasjonelle	7 operasjonelle	12 operasjonelle
<ul style="list-style-type: none"> • C/A kode på L_1 • P(Y) kode på L1 og L2 • On-board clock monitoring • 7.5-års designet livstid • Lansert i tidsrommet 2005-2009 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle legacy signaler • Et andre sivil signal L2 (L2C) • Ny autorisert M kode signal for forbedret jamme resistans • Fleksibel styrkenivåer for autorisert bruk • 7.5-års designet livstid • Lansert siden 2010 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle Block IIR(M) signaler • Et tredje sivil signal på L5 frekvens (L5) • Advanced atomic clocks • Forbedret nøyaktighet, signalstyrke og kvalitet • 12-års designet livstid • Lansert siden 2010

3.2.1.GLONASS

«Global`naya Naviationnaya Sputnikovaya Sistema» (GLONASS) er Russlands globale navigasjon satellittsystem. Operert av det russiske militære er GLONASS et militært system. I midten av 1970 årene initaliserte den tidligere Republikanske Sovjet Unionen (USSR) utviklingen av GLONASS det var dog ikke før mai 1988 ble de tekniske detaljene rundt GLONASS gitt ut og USSR ga verden fri tilgang til GLONASS navigasjonssystemet.

Første satellitter av GLONASS systemet ble sendt opp mellom 1985 og 1990. Systemet ble i 1993 erklært operasjonell med 12 satellitter i bane, og økte inntil full konstellasjon (FOC) i 1995. Årene etter ble ikke konstellasjonen vedlikeholdt og i 2001 besto konstellasjonen av 6 operative satellitter. I etterkant av 2001 ble nye GLONASS-M (modernized) skutt opp for å starte oppbyggingen av satellittkonstellasjonen på nytt. I 2010 nådde GLONASS igjen FOC med 24 satellitter fordelt på tre baneplan hvor syv satellitter er aktive i hvert baneplan pluss en reservesatellitt i hvert plan, (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

3.2.2.Referansesystem

Det terrestriske referansesystemet til GLONASS kalles PE-90 (parameters of the Earth 1990). PE-90 er definert etter følgende: origo er lokalisert i jordas senter; hvor Z-aksen peker mot den konvensjonelle terrestriske pol; X-aksen peker mot krysningspunktet mellom ekvatorplanet og Greenwichmeridian planet; Y-aksen som i et hørehåndssystem står vinkelrett på de to andre aksene.

Den geodetiske rotasjonsellipsoiden assosiert med PE-90 er fullstendig gitt ved de fire paramterene gitt I tabell 1 (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

Tabell 3.3: PE-90 ellipsoideparametere (HOFMANN-WELLENHOF ET AL. 2008)

Parametere og verdier	Beskrivelse
$a = 6378136 \text{ m}$	Store halvakse til ellipsoiden
$f = 1/298.257839303$	Ellipsoidens flatttrykning
$\omega_e = 7292115 * 10^{-11} \text{ rads}^{-1}$	Jordas rotasjonshastighet
$\mu = 3986004.4 * 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$	Jordas gravitasjonskonstant

3.2.3. GLONASS tjenesten

Hver GLONASS satellitt tilbyr to navigasjonssignal: standard-nøyaktighet eller C/A-kode for sivile brukere og et høypresisjons signal P-koden på to frekvenser L1 og L2. I likhet med GPS C/A-koden er modulert kun på L1. I motsetning til GPS bruker GLONASS Frequency Division Multiple Access (FDMA) for å separere satellittene sine. FDMA er designet slik at hver satellitt har hver sin unike bærefrekvens som er gitt ved

$$f_{1k} = f_1 + \Delta f_1 k = 1602.0000 + 0.5625k \text{ MHz}$$

$$f_{2k} = f_2 + \Delta f_2 k = 1246.0000 + 0.4375k \text{ MHz}$$

$$f_{3k} = f_3 + \Delta f_3 k = 1204.7040 + 0.4230k \text{ MHz}$$

Hvor k varierer fra -7 til 6 slik at to satellitter på hver sin side av jorda kan bruke samme konstant (Tegeador 2015), (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

3.2.4. Romsegment

GLONASS satellittene har sirkulære baner med en høyde på ca. 19100 km over jordas overflate med en periode på 11 timer 15 minutter og 44 sekunder. Hele konstellasjonen består av 24 satellitter. Banene er separert med 120° med en inklinasjon på 64.8° i forhold til ekvator (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

GLONASS har nå startet et moderniseringsprogram med produksjonen av en ny generasjon GLONASS-K satellitter (Tegeador 2015). De nye satellittene har en forventet levetid på 10 år og er kompatibel med Search And Rescue (SAR) og er den første GLONASS generasjonen som utnytter CDMA i likhet med GPS (Tegeador 2015).

3.3.1. Galileo

Galileo er Europas satellitt navigasjonssystem som enda er under utvikling. De to første satellittene ble skutt opp i oktober 2011 mens de resterende satellittene vil og blir skutt opp med jevnlig intervaller til systemet har nådd FOC (gsa.europa.eu).

Den fullstendige Galileo konstellasjonen vil bestå av 27 satellitter jevnt fordelt på tre baneplan med en inklinasjon på 56 grader i forhold til ekvator. Galileo satellitter vil ifølge Hofmann-Wellenhof et al. (2008) ha en nærsirkulær bane med en eksentrisitet på $e = 0.002$ og store halvakse $a = 29\,601.297 \text{ km}$. Satellittene vil dermed ha en periode på 14 timer 4 minutter og 45 sekunder.

3.3.2.Koordinatsystem

Galileo baserer seg på en geosentrisk kartesisk referanseramme som er definert gjennom Galileo terrestrisk referanseramme (GTRF). GTRF er bestemt slik at forskjellen fra den internasjonale terrestriske referanserammen (ITRF) ikke overstiger 3 cm (2σ).

To GIOVE (Glonas In Orbit Validation Element) satellittene ble sendt opp i 2005 og 2008 for å teste systemets teknologi i bane. GIOVE-A ble skutt opp desember 2005 med den hensikt å gjøre krav på frekvensene bevilget av den Internasjonale Telekommunikasjons Unionen (ITU), men også for å teste on-board rubidium klokken. GIOVE-B ble skutt opp i april 2008. Etter oppskytingen ble GIOVE-B navigasjon nyttelast skrudd på og signaloverføringen påbegynt. Dette gjorde GIOVE-B til den første satellitten som sendte Galileo signal (gsa.europa.eu).

I oktober 2011 ble de to første In Orbit Validation (IOV) satellittene sendt opp etterfulgt av to til i oktober 2012. Med disse fire satellittene ble den første «Galileo-only» posisjonen bestemt i mars 2013 (Tegedor 2015).

Per dags dato (25. november 2016) er det 18 Galileo satellitter i bane. Siste oppskyting var 17. November 2016 hvor en Ariane 5 rakett løftet fire Galileo satellitter opp i bane (insidegnss).

3.3.6.Galileo signaler

Grunnfrekvensen i Galileo er den samme som hos GPS $f_0 = 10.23 \text{ MHz}$ og ut fra denne er fem bærefrekvenser utledet som vist i tabell 3.4. Galileo tilbyr fem bærefrekvenser E1, E6, E5, E5a og E5b. To frekvensbånd E5a og E1 korresponderer til GPS L5 og L1 respektivt med den hensikt å øke interoperabiliteten mellom de to systemene. Galileo E5b vil overlape GLONASS bærer G3 (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Galileo vil som GPS implementere Code Division Multiple Access (CDMA) får å separere satellittene sine.

Tabell 3.4: Frekvenser tilhørende Galileo satellittene, E1, E6, E5, E5a og E5b

Link	Faktor * f_0	Frekvens [MHz]	Bølgelengde [cm]
E1	154	1 575.420	19.0
E6	125	1 278.750	23.4
E5	116.5	1 191.795	25.2
E5a	115	1 176.450	25.5
E5b	118	1 207.140	24.8

3.3.7.Galileo tjenester

Som andre GNSS vil Galileo også tilby to nivåer av posisjoneringstjenester, en Open Service (OS) som vil være tilgjengelig for allmenheten og en Publick Regulated Service (PRS) som er et tilbud til autoriserte brukere. OS er designet for massemarkedet som tilbyr enkelposisjoner og tidstjenester. Ved å anvende seg av flere signaler slik som Galileos fem forskjellige signaler øker ytelsen og interferensresistansen øker, samt øker også de teknologiske kravene til utstyret man benytter seg av.

3.3.8. Search And Rescue (SAR) tjenesten

Galileo satellitter vil kunne oppdage nødsignaler på frekvenser mellom 406-406.1 MHz og sende signalet videre til SAR bakke-stasjoner på SAR downlink frekvensbåndet. Kontrollsentret vil videresende nødinformatjonen til lokale hjelpetjenester som iverksetter redningsmannskap i nærheten. En Galileo satellitt vil ha kapasitet til å oppdage 150 slike signaler til enhver tid.

3.4.1. BeiDou

Kina er også i ferd med å utvikle et selvstendig navigasjonssystem Beidou, også kjent som Compass. Det endelige BeiDous romsegment vil være bestående av 5 geostasjonære baner, 3 inklinerte geosynkrone baner (IGSO) og 27 MEO satellitter. En oversikt over romsegmentet er gitt i tabell 3.5.

MEO satellittene vil ha en høyde på 21 500 km. 24 satellitter vil være jevnt fordelt på tre baneplan, hvor av de tre siste MOE satellittene er antatt i Hofmann-Wellenhof et al. (2008) å være reservesatellitter. MOE satellittene skal ha en inklinasjon med ekvator på 55°. IGSO satellittene har en høyde på 35 785 km over jorda.

Utviklingen og designet av BeiDou er delt i to trinn. Ved å benytte seg av 5 GEO satellitter, 5 IGSO satellitter og 4 MEO satellitter har BeiDou kunnet tilby tidlig tilgang til posisjonering over Kina og nærliggende land. Trinn to vil være å supplementere med flere MEO satellitter frem til FOC bestående av 35 satellitter som er forventet å vær fullstendig i 2020 (InsideGNSS, 2013).

Tabell 3.5: Oversikt over BeiDous romsegment

Generelt	MEO satellitter	IGSO satellitter	GEO satellitter
Antall satellitter	27	3	5
Høyde over jordoverflaten	21 500 km	35 785 km	~ 35 786 km
Inklinasjon med ekvator	55°	55°	-(Geostasjonær)

Satellittene tilbyr to posisjoneringstjenester: en åpen tjeneste og en autorisert tjeneste på signalene B1 (1567.098 MHz) og B2 (1207.14MHz) og en autorisert tjeneste på B3 (1268.52MHz)

3.5.Sammenligning og oppsummering av GPS, GLONASS, Galileo og BeiDou

I tabell 1 er det gitt en sammenligning og oppsummering av alle operatørene, antall satellitter og baneplan, inklinasjonsforskjeller, satellithøyde, omløpstid, referansesystem, kanaltilgangsmetode, antall frekvenser på hvert system, hvilken grunnfrekvens som blir brukt og antall frekvenser som tilbys fra de forskjellige GNSS systemene. Legg merke til at det bare er middel bane satellittene til BeiDou som er tatt med i oppsummeringstabellen under.

Tabell 3.6: Tabellen viser en sammenligning mellom de fire globale navigasjonssystemene som er gjennomgått i de foregående kapitlene. Sammenligningene er gjort av antall satellitter og baneplan, satellithøyde og omløpstid, referansesystem, kanaltilgangsmetode, grunnfrekvenser og antall frekvenser per GNSS (**HOFMANN-WELLENHOF ET AL. 2008**).

Generelt	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou
Land/Operatør	USA	Russland	EU	Kina
Første oppskytning	22 Februar 1978	12 Oktober 1982	28 Desember 2005	14 April 2007 (MOE)
Fullstendig konstellasjon	17 Juli 1995	18 Januar 1996	-	-
Antall satellitter	32 (24)	21 (24)	-(27)	27 (24)
Baneplan	6	3	3	3
Satellitter i hvert plan	5/6/5/5/6/5	7/8/6	9/9/9	9/9/9
Inklinasjon (i grader i forhold til ekvator)	55	64.8	56	55
Store halvakse (a)	26 560 km	25 508 km	29 601 km	27 840 km
Baneplanseperasjon (i grader)	60	120	120	120
Omløpstid	11h 57.96 min	11h 15.73 min	14h 4.75 min	12h 50 min
Bakkespor	~1 sideraldag	~8 sideraldag	~10 sideraldag	
Efemeridedata	Kepler elementer	Posisjon og hastighet	Kepler elementer	
Geodetisk referansesystem	WGS-84	PE-90	GTRF	CGS 2000
Kanaltilgangsmetode	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Antall frekvenser	3	2	5	3
Grunnfrekvens f_0	10.23MHz	178MHz	10.23MHz	10.23MHz
Frekvenser (MHz)	L1: 1575.420 L2: 1227.600 L5: 1176.450	G1: 1602.000 G2: 1246.000 G3: 1204.704	E1: 1575.420 E6: 1278.750 E5: 1191.795 E5a: 1 176.450 E5b: 1 207.140	B1: 1561.098 B2: 1207.140 B3: 1268.52

4. Atmosfæren

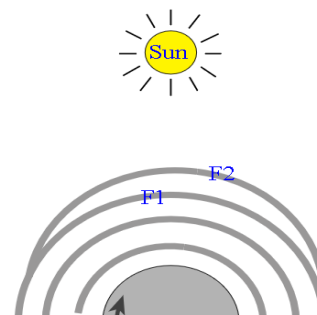
4.1. Radiosignalets gang fra satellitt til mottaker

Fra det tidspunktet et radiosignal som er en elektromagnetisk bølge sendes fra en satellitt til signalet når mottakeren på eller nær jordas overflate, skal det gjennom jordas atmosfære. Her må signalet samhandle med forskjellige omgivelser. Konsekvensen av dette er at signalet blir reflektert, brytes eller diffrakteres (electronics-notes.com). Disse samhandlingene fører til en forandring i signalets retning som forsinker eller forskyver signalet. Jordas atmosfære er delt inn i flere lag definert etter sin fysiske karakter. Nærmest jordas overflate og det laget vi omgir oss i er troposfæren 0 – 10 km over jordas overflate. Neste lag er stratosfæren, laget som huser ozonlaget 10 – 50 km. Senere kommer mesosfæren 50 – 80 km og tilslutt ionosfæren fra ca. 80 km over bakken og strekker seg til omlag 1000 km opp (Christol 2000). I satellitt geodesi er det naturlig å dele jordas atmosfære inn etter påvirkningen de forskjellige lagene har på radiobølger anvendt av satellitter for å kringkaste sine posisjoner. Det leder oss til å dele atmosfæren i to deler, en naturlig del og en ionisert del. Den naturlige delen er også kjent som troposfæren hvor temperatur, trykk og luftfuktighet påvirker satellittsignalers gangtid. Den ioniserte delen, også kjent som ionosfæren har sitt navn etter en prosess kalt ionisering. I denne prosessen blir positive eller negativt ladde atomer eller molekyler gitt eller tatt fra ett eller flere elektroner (Christol 2000). De nå frie elektronene er opphavet til forstyrrelsen av radiosignal utsendt fra navigasjonssatellitter som GPS, Glonass og Galileo. Også de dispersive egenskapene er forskjellig i de to lagene. Ionosfæren er dispersiv for frekvenser over 30 GHz, mens den naturlige delen ikke er det. Det medfører at signaler med forskjell i frekvens opplever forskjellig forstyrrelser gjennom ionosfæren, men da oppfører seg likt gjennom den naturlige delen.

4.2. Årsaken til ioniseringen

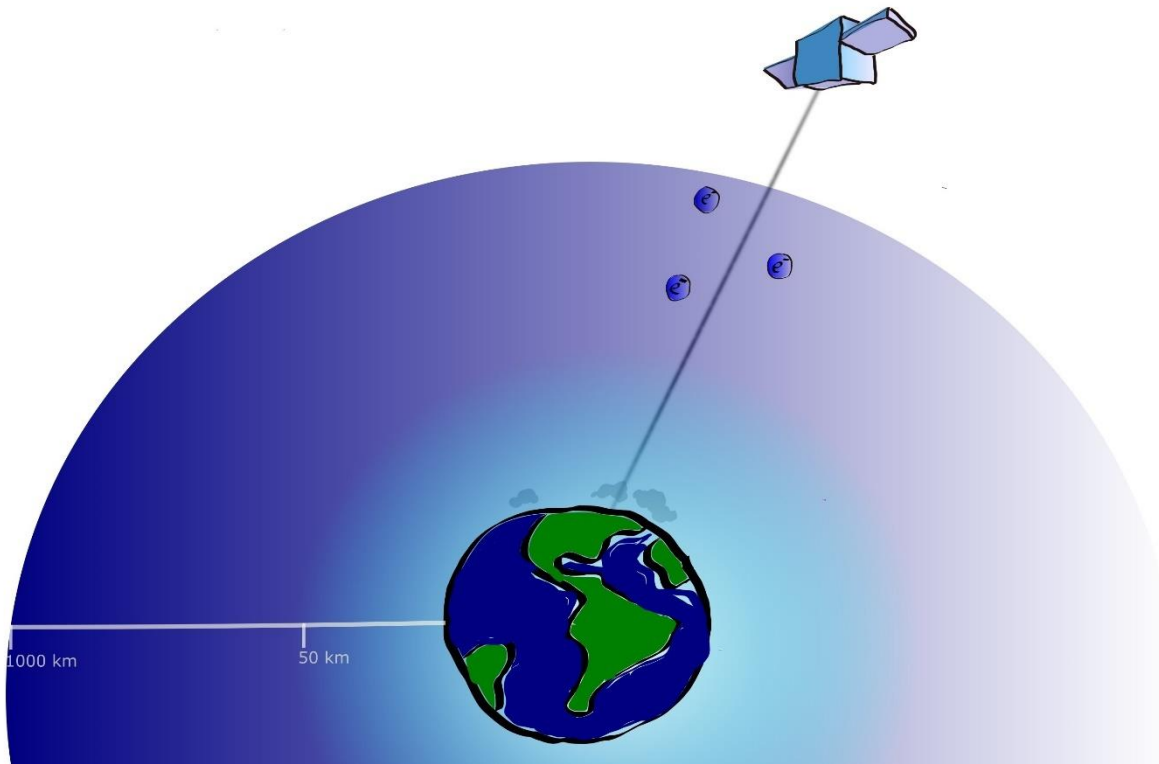
Atomer og molekyler i ionosfæren blir utsatt for en intensiv stråling primært fra solen. Når energien fra strålingen overstiger bindingsenergien mellom elektronet og atomet vil elektronet bli presset ut og reiser videre som et fritt elektron. På grunn av solas store påvirkning på ionosfæren vil en finne den største andelen av frie elektroner ved lokal dagtid. Siden det tar tid for frie elektroner og ioner å finne sammen igjen, vil ikke ionosfæren forsvinne fullstendig ved nattetid selv om en kan anta at ingen solstråling penetrerer ionosfæren.

Tettheten av frie elektroner er ikke konstant gjennom hele ionosfæren. Dermed er ionosfæren delt opp i lag bestemt etter elektrontettheten som er typisk for hver region. På dagtid består lagene av D, E, F1 og F2 laget. Hvor det ene laget starter og det andre slutter er ikke entydig definert da de alle opplever variasjoner (Christol 2000). Etersom andelen naturlige partikler er høy i D laget finner frie elektroner og ioner raskt sammen straks UV-strålingen fra solen avtar og forsvinner helt på nattetid. F1



Figur 4.1: Bilde over ionosfæren over en periode på ett døgn (electronics-notes.com).

laget går over til å bli en del av F2 laget når strålingen fra solen avtar(electronics-notes.com). De fleste modeller som illustrerer ionosfæren med ett enslig lag refererer gjerne til en høyde i F2 laget



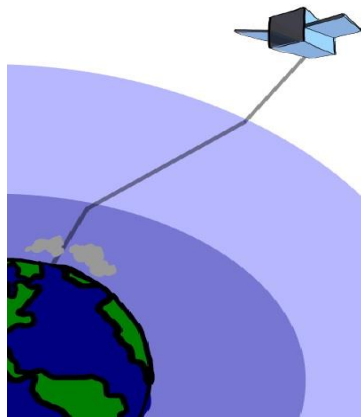
Figur 4.1. signalets gang gjennom jordas atmosfære som er det laget med høyest TEC gjennom hele døgnet.

4.3. Elektromagnetisk stråling

I satellittgeodesi baserer observasjonene seg på å sende og motta informasjon via elektromagnetiske bølger beskrevet av Maxwells ligninger (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Disse bølgene karakteriseres av dets frekvens, amplitude, fase og polarisering. Ved å kontrollere variasjonene på en av disse parameterne kan man påføre signalet en modulasjon (informasjon) som for eksempel en satellitts posisjon (Seeber 2003). EM stråling forplanter seg gjennom medier som en bølge og forsinkelsen (i forhold til hastigheten i vakuum) er avhengig av bølgelengden og atmosfæriske variabler. I vakuum er hastigheten til all EM stråling $2.99792458 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$ og kan beskrives ved (Seeber 2003).

$$c = \frac{\lambda_{\text{vakuum}}}{P} = f \lambda_{\text{vakuum}} = \frac{\omega}{k_{\text{vakuum}}} \quad (4.1)$$

Hvor c er lysets hastighet i vakuum ($2.99792458 * 10^8 \text{ms}^{-1}$), λ_{vakuum} er bølgelengden i vakuum og P er perioden. f er frekvensen til signalet, ω er vinkelhastigheten og k er fasekonstanten.



Figur 4.2 atmosfærens effekt på signalets retning

Når signalet entrer jordens atmosfære er det ikke lengre i vakuum og signalet opplever refraksjon som følge av at det går over i et annet medium. Hastigheten til signalet er her karakterisert av refraksjonsindeksen n til mediet, gitt som forholdet mellom lysets hastighet i vakuum og bølgens hastighet i mediet som gitt i ligning 4.2. Refraksjonen forårsaker en endring i signalets retning som følge av hastighetsforandringen til bølgen som illustrert i figur 4.2. Dette skjer i hovedsak to ganger gjennom atmosfæren. Første gang når signalet entrer ionosfæren som følge av elektrontettheten og neste gang når signalet når troposfæren hvor hastighetsforandringen er en funksjon av temperatur, vanndamp og trykk. Refraksjonsindeksen til et medium kan beskrives ved

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_{\text{vakuum}}}{\lambda} = \frac{k}{k_{\text{vakuum}}} \quad (4.2)$$

Refraktiviteten gir et mål på hvor stor forandring i bølgens hastighet signalet opplever ettersom det går fra ett medium til et annet, for eksempel fra vakuum til jordas atmosfære. Dersom n er større enn 1 opplever signalet å gå raskere enn lysets hastighet i vakuum og om n er mindre enn 1 vil signalet gå saktere enn lysets hastighet i vakuum. I vakuum er refraksjonsindeksen $n = 1$. Siden n er svært nær 1 er den i litteratur som Seeber (2003) og Hofmann-Wellenhof et al. (2008) byttet ut med

$$N = (n - 1) * 10^6 \quad (4.3)$$

4.4. Ionosfærens refraksjonsindeks

Ved å unnlate å korrigere målinger for ionosfæreforsinkelsen, kan posisjonsbestemmelsen nå en feil på over 80 meter på GPS L2 frekvens (1228 MHz) (Petit & Luzum 2010).

Ionosfæren er et dispersivt medium som medfører at signaler med forskjellige frekvenser opplever forskjellige fartspåvirkninger. Fra Seeber (2003) og Hofmann-Wellenhof et al. (2008)(Hofmann-Wellenhof et al. 2008) kan refraksjonskoeffisienten til fasen skrives som en potensrekke på formen

$$n_p = 1 + \frac{q}{f^2} + \frac{s}{f^3} + \frac{r}{f^4} + \dots \quad (4.4)$$

Hvor q , s og r er gitt ved

$$q = -\frac{q_e^2}{8\pi^2 m_e \epsilon_0} * N_e \quad (4.5)$$

$$s = -\frac{q_e^3}{16\pi^3 m_e^2 \epsilon_0} * N_e B \cos(\theta) \quad (4.6)$$

$$r = -\frac{q_e^4}{128\pi^4 m_e^2 \epsilon_0} * N_e - \frac{q_e^4}{64\pi^4 m_e^2 \epsilon_0} * N_e B^2 (1 + \cos^2(\theta)) \quad (4.7)$$

- elektronets masse $m_e \simeq 9.1094 * 10^{-31} \text{ kg}$
- den elektriske permittiviteten $\epsilon_0 \simeq 8.8545 * 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$
- og elektronets ladning $q_e \simeq 1.6022 * 10^{-19} \text{ C}$
- B representerer jordas magnetiske felt
- og θ er vinkelen signalets bølge treffer magnetfeltet med

Ved innsetting i ligning 4.5, 4.6 og 4,7 får vi

$$q = -40.3 \int_s^r N_e dl \quad (4.8)$$

$$s = -1.1284 * 10^{12} \int_s^r N_e B \cos(\theta) dl \quad (4.9)$$

$$r = -812.42 \int_s^r N_e^2 dl + 1.5793 * 10^{22} \int_s^r N_e B^2 (1 + \cos^2(\theta)) dl \quad (4.10)$$

hvor N_e er antall elektroner per kubikkmeter mellom mottaker og satellitt (Hofmann-Wellenhof et al. 2008), (Petit & Luzum 2010). Det første leddet i 4.4 er som vist avhengig av elektronets ladning, masse og elektrisk permittivitet, mens høyere ordensleddene s og r er i tillegg avhengig av jordas magnetfelt og vinkelen radiosignalet treffer feltet på. Påvirkningen fra disse høyere ordensleddene (s og r i ligning 4.4) er utenfor oppgavens rekkevidde, men er ment for å opplyse leseren om at når vi senere skal redusere ionosfæreforsinkelsen eller estimere den er det dette første q -leddet i ligning 4.4 som forsvinner. Se (Fritsche et al. 2005) og (Petit & Luzum 2010) for mer informasjon om ionosfæreforsinkelsens høyere ordens ledd.

Ved å sette 4.5 inn i 4.4 og bare tar med det andre ordens ledd f^{-2} får vi for refraksjonsindeksen til fasen

$$n_p = 1 + \frac{q}{f^2} \quad (4.6)$$

som er ionosfæreforsinkelsen første ledd. Innsetting av $q = -40.3N_e$ gir

$$n_p = 1 - 40.3 \frac{N_e}{f^2} \quad (4.7)$$

Effekten på koden kan fremstilles etter forholdet mellom fase og kode refraksjonene n_p og n_g ved å relatere fase hastigheten med gruppe hastigheten, se (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

$$v_p = v_g + f \frac{dv_p}{df} \quad (4.8)$$

det samme forholdet som relaterer hastigheten til fasen og koden holder for refraksjonen mellom de to observasjonene

$$n_g = n_p + f \frac{dn_p}{df} \quad (4.9)$$

som gir refraksjonen

$$n_g = 1 + \frac{q}{f^2} - f \frac{2q}{f^3} \quad (4.10)$$

ved å stryke f i teller og nevner i 3. ledd reduseres ligningen til $n_g = 1 - \frac{q}{f^2}$. Setter inn for q og får

$$n_g = 1 + 40.3 \frac{N_e}{f^2} \quad (4.11)$$

Vi ser fra ligning 4.6 og ligning 4.11 at fasen blir forskjøvet mens koden blir forsinket gjennom ionosfæren.

4.5. Virkningen av ionosfæreforsinkelsen

Radiosignalets gang fra satellitt til mottaker kan beskrives som integralet over avstanden mellom satellitt s og mottaker r (Petit & Luzum 2010).

$$s = \int_s^r (n - 1) ds \quad (4.12)$$

Hvor n er refraksjonsindeksen (som beskrevet i forrige avsnitt) langs strekningen til signalet. Forskjellen mellom den observerte avstanden til den geometriske avstanden er her den ionosfæriske refraksjonen I_r^s

$$I_r^s = \int_s^r n ds - \int_s^r ds \quad (4.13)$$

Innsatt refraksjonsindeksen for koden og fasen gir

$$I_r^s = \int_s^r \left(1 \pm \frac{40.3}{f^2}\right) ds - \int_s^r ds \quad (4.14)$$

som resulterer i den ionosfæriske refraksjonen for kode og fase.

$$I_{r_{kode}}^s = -\frac{40.3}{f^2} \int_s^r N_e ds \quad (4.15)$$

$$I_{r_{fase}}^s = \frac{40.3}{f^2} \int_s^r N_e ds \quad (4.16)$$

Resultatet i ligningene over fører oss til en mye brukt enhet, Total Electron Content (TEC) som er integralet i de to foregående ligningene.

$$TEC = \int_s^r N_e ds \quad (4.16)$$

TEC er som navnet indikerer et mål på hvor stor elektrontetthet det er i ionosfæren og er gitt i enhet TECU der $1 \text{ TECU} = 10^{16} \frac{\text{elektroner}}{\text{m}^2}$. Om ikke tatt høyde for vil 1 TECU gi en feil på 16 centimeter i anvendelse av GPS L1 frekvens, (Hofmann-Wellenhof et al. 2008), (Tegedor 2015).

4.6. Troposfæren

Den naturlige atmosfæren er et ikke-dispersivt medium med tanke på radiosignaler som medfører at signalforplantningen ikke er frekvensavhengig slik som den er i ionosfæren. Dermed kan man ikke redusere troposfæreforsinkelsen ved å anvende lineærkombinasjoner slik man kan for ionosfæren, se kapittel 6.

Den troposfæriske forsinkelsen et signal opplever i zenit retning er definert som følger

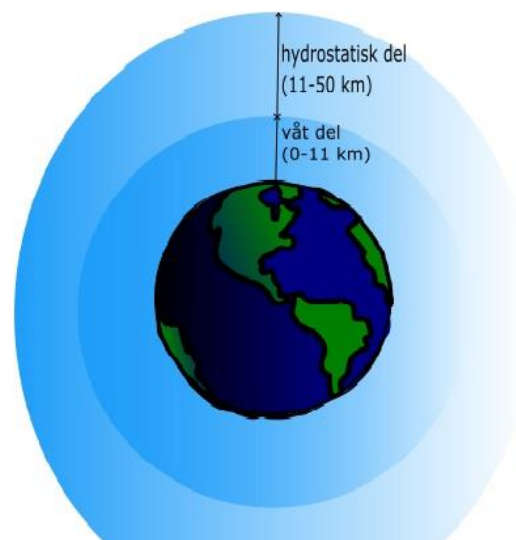
$$Z = \int (n - 1) ds = 10^{-6} \int N^{Trop} ds \quad (4.17)$$

Troposfæren er sammensatt av to uavhengige deler, en våt og en hydrostatisk del. Dermed deler vi den troposfæriske forsinkelsen inn i sine respektive forsinkelser

$$Z = Z_h + Z_v = 10^{-6} \int_s^r N_h ds + 10^{-6} \int_s^r N_v ds \quad (4.18)$$

hvor Z_v og Z_h er den våte og hydrostatiske komponenten av troposfæreforsinkelsen, $N = (n - 1) * 10^6$ er den totale refraksjonsindeksen til fuktig luft og N_h og N_v er den hydrostatiske og våte komponenten av refraktiviteten (Petit & Luzum 2010).

Forsinkelsen signalet opplever gjennom den naturlige delen av atmosfæren (troposfæren, stratosfæren) kan påføre målingene en feil på opptil 2.3 m. Den hydrostatiske delen står for ca. 90% av den totale troposfæreforsinkelsen, men er til gjengjeld ubrysom å korrigere for med modeller som Hopfield eller Saastamoinen modeller (Choy et al. 2015). Etter en korreksjon vil gjerne den hydrostatiske forsinkelsen være redusert til noen få millimeter eller mindre (Choy et al. 2015).



Figur 4.3 illustrasjon av troposfærens hydrostatiske og våte del

Ved å anvende bakkemålinger av overflatetrykket P_0 ved stasjonen og stasjonens høyde H samt stasjonens breddegrad Φ kan den hydrostatiske delen av troposfæreforsinkelsen uttrykkes ved

$$Z_h = \frac{(0.0022768 \pm 0.0000005)P_0}{f_s(\Phi, H)} \quad (4.19)$$

hvor

$$f_s(\Phi, H) = 1 - 0.00266\cos^2\Phi - 0.00000028H \quad (4.20)$$

(Petit & Luzum 2010)

Den resterende forsinkelsen gjennom troposfæren kan variere fra få centimeter og opp til 35 cm i fuktige områder (Choy et al. 2015). Denne delen av troposfæreforsinkelsen kan ikke estimeres med noen nevneverdig nøyaktighet apriori måling. Det forskes imidlertid på metoder for å overvåke vanndampen i troposfæren med utstyr som water vapor radiometer (Petit & Luzum 2010). Metoder for å estimere bidraget på forsinkelsen fra Z_v er å beregne den som en del av etterprosessering, for eksempel i en minstekvadraters utjamning.

Ved å måle den totale forsinkelsen gjennom troposfæren Z og trekke fra den hydrostatiske delen Z_h kan man finne en verdi for forsinkelsen gjennom den våte delen Z_v .

$$Z_v = Z - Z_h \quad (4.21)$$

I geodesien er man interessert i å gjøre så nøyaktige målinger som mulig. Dette innebærer å fjerne eller redusere støykilder så godt som mulig. Forsinkelsen gjennom Z_v skyldes i stor grad luftfuktighet og som nevnt kan vi ikke estimere Z_v apriori med bakkemålinger. Hvor noen ser bry, ser andre nytte, fordi forsinkelsen Z_v kan konverteres til nedfellbart vann eller Precipitable Water Vapor (PWV) som kan gi meteorologer et mål på vannmengden i den nedre delen av atmosfæren. Uten å gå i for mye detalj kan det vises at overgangen fra Z_v til PWV skjer ved å multiplisere Z_v med en dimensjonløs konverteringsfaktor II (Choy et al. 2015).

$$PWV = Z_v II \quad (4.22)$$

Hvor

$$II^{-1} = 10^{-6} \rho R_v \left(\frac{k_3}{T_m} + k_2 \right) \quad (4.23)$$

Der k_3 og k_2 er fysiske konstanter, ρ er tettheten til flytende vann, R_v er spesifikk gasskonstant for vanndamp og T_m er det vektete gjennomsnittet av temperaturen i atmosfæren som gitt i (Askne & Nordius 1987).

4.7. Mapping funksjoner

Som nevnt i forkant av ligning 4.17 er den troposfæriske forsinkelsen som er utledet hittil gitt i zenit. Vi vil sjeldent eller aldri ha satellittene man måler til rett over seg spesielt i Norge. Forsinkelsen gjennom troposfæren er avhengig av signalets gang gjennom den og dermed er elevasjonsvinkelen til satellitten sentral her.

Det er utledet mange forskjellige mappingfunksjoner (MF) med forskjellige formål og siden signalet er påvirket av forskjellige faktorer gjennom den hydrostatiske og den våte delen, er de to forsinkelse modellert forskjellig. Med utgangspunkt i ligning 4.18 kan man ved å introdusere mappingfunksjoner beskrive signalets troposfæriske forsinkelse slik

$$Z(a, e) = Z_h m_h(e) + Z_v m_v(e) + m_g(e)[G_N \cos(a) + G_\theta \sin(a)] \quad (4.24)$$

Hvor Z_h og Z_v er våt og hydrostatisk forsinkelse gitt i zenith, e er satellittens elevasjonsvinkel (må ikke forveksles med eksentrisitet) og a er asimutvinkelen til hvor signalet blir mottatt, målt mot øst fra nord, G_N og G_θ er de horisontale Nord og Øst gradienter med tilhørende mappingfunksjon m_g .

En realisering av MF er Marini (1972) videre spesifisert av Herring (1992) for å gjelde både den hydrostatiske og våte delen av troposfæren (Niell 1996).

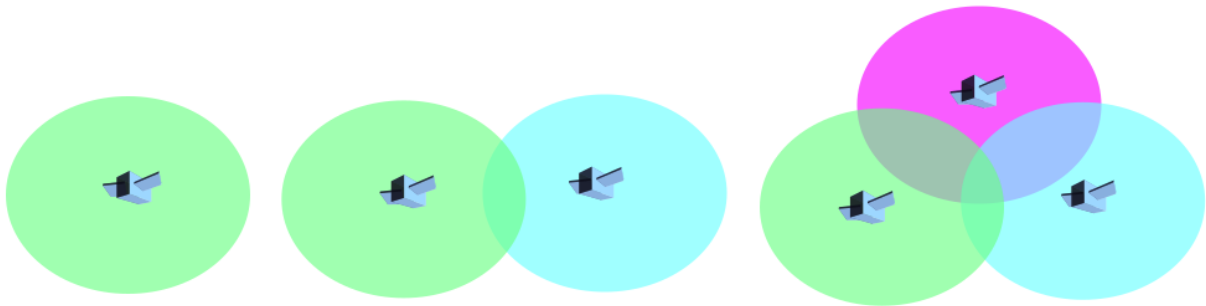
$$m_h(e) = 1 + \frac{a_h}{1 + \frac{b_h}{1 + c_h}} \frac{\sin(e) + \frac{a_h}{\sin(e) \frac{b_h}{\sin(e) + c_h}}}{\sin(e) \frac{b_h}{\sin(e) + c_h}} \quad (4.25)$$

Hvor parameterne a (må ikke forveksles med asimut vinkelen i 4.24), b og c er lineære funksjoner av overflatens trykk, temperatur, høyden og stasjonens breddegrad. MF for den våte delen $m_v(e)$ er identisk med den gitt for den hydrostatiske delen over, men er forskjellig i måten parameterne a , b og c er utformet, se (Hofmann-Wellenhof et al. 2008) side 136.

5. Satellittbasert posisjonering

5.1. Prinsipp

Prinsippet bak satellittbasert posisjonering er å måle avstanden mellom mottakere og satellitter med kjente koordinater. Avstanden mellom satellitten og en observatør beregnes ved tiden signalet bruker fra satellitt til mottaker multiplisert med hastigheten til signalet. Som man raskt legger merke til vil ikke bare én slik måling kunne gi en entydig posisjon. For å skape et bilde av satellittens kringkastede signal kan man for enkelhets skyld se for seg utfoldelsen av en ringbølge i vannet etter man har kastet en sten i en dam i en to dimensjonal verden. Ved å gjøre målinger til bare en satellitt, vil observatøren kjenne den relative avstanden ρ_r^s mellom seg og satellitten, men ellers kan observatøren være hvor som helst på kanten av sirkelen med radius ρ_r^s . Ved å observere avstanden til to satellitter med kjente koordinater vil observatørens posisjon ligge på krysningen mellom de to sirklene dannet av radiusen ρ_{r1}^s og ρ_{r2}^s . Ved å observere tre satellitter er observatørens mulige posisjon redusert til to punkter, hvor den ene vanligvis er urimelig nok til å forkastes. Dermed er det bare en mulig posisjon for observatøren (Meindl 2011).



Figur 5.1: Observert posisjon representert med krysningen mellom sirkulære flater definert etter den geometriske avstanden mellom satellitter og observatør.

GNSS er en enveis kommunikasjonsform, satellitten sender informasjon og mottakeren mottar informasjon. Satellitten og mottakeren har hver sin klokke og om begge klokkene viste nøyaktig samme tid ville avstanden mellom dem være løst ved å ta forskjellen mellom tidspunktet satellitten sendte signalet og når mottakeren mottok signalet. I den virkelige verden er det første problemet som oppstår at mottakers tid ikke samsvarer fullstendig med satellittsystemtid. Dette fører igjen til at den målte avstanden ρ_r^s ikke samsvarer med den geometriske (virkelige) avstanden R mellom dem. Dette er opphavet til pseudoavstand. Pseudoavstanden er den geometriske avstanden pluss avstandskorreksjon $\Delta\rho$ som følger av klokkefeilen δt som er iboende i satellitt- og mottakerklokken og også årsaken til at en mottaker må ha sikt til minst fire satellitter for kunne løse for den fjerde ukjente i ligning 5.1.

$$R = \rho_r^s + \Delta\rho = \rho_r^s + c\Delta\delta t \quad (5.1)$$

hvor

c er lysets hastighet

$\rho_r^s = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2}$ er den geometriske avstanden mellom satellitt og mottaker. Her er X^s, Y^s og Z^s de geosentriske koordinatene til satellitten. X_r, Y_r og Z_r er koordinatene til mottakeren gitt ECEF koordinater.

5.2. Punktposisjonering

Det er to grunnpilarer som er utgangspunktet for observasjonene i GNSS målinger: pseudoavstand som er utledet fra gangtiden til satellittens kodesignal eller fra målinger av fasen (antall bølgelengder) fra bærefasen. Forskjellen på disse målingene ligger i nøyaktigheten som kan oppnås, hvor mye de blir påvirket av støykilder og tvetydigheten til bærefasen.

5.3. Kode pseudoavstand

Når mottakeren mottar signalet fra satellitter er signalet tidsstemplet av satellittens klokke med den tiden signalet ble sendt. Når signalet når mottakeren blir tiden på nytt avlest, denne gangen av mottakeren. Dette gir to tidsavlesninger i to forskjellige tids system som begge avviker fra den sanne tiden. Videre doneres utsendt tid fra satellitt $t^s(sat)$ og mottatt tid avlest i mottakeren $t_r(mot)$. Både $t^s(sat)$ og $t_r(mot)$ avviker fra systemtid med en klokke feil δt^s og δt_r .

I mottakeren blir det gjennomført en korrelasjonsprosedyre som tar differansen mellom klokke avlesningene.

$$t_r(mot) - t^s(sat) = (t_r + \delta t_r) - (t^s + \delta t^s) \quad (5.2)$$

Ved å multiplisere venstresiden av ligning (5.2) med lysets hastighet og setter $\Delta t = t_r - t^s$ og $\Delta \delta t = \delta t_r - \delta t^s$ kommer man igjen frem til kode pseudoavstanden som angitt i innledningen i ligning (5.1)

$$R = c(t_r(mot) - t^s(sat)) = c(\Delta t + \Delta \delta t) = \rho + c\Delta \delta t \quad (5.3)$$

Hvor ρ som før er tiden signalet bruker multiplisert med lysets hastighet. Ligning 5.3 er enda ikke fullkommen. Leg merke til at $\Delta \delta$ inneholder klokkefeil fra både satellitt og mottaker som gir totalt 4 ukjente pluss en ny ukjent for hver satellitt som er med i løsningen. For å løse dette problemet er satellittklokkefeilen δ^s sendt som tre polynomkoeffisienter a_0, a_1 og a_2 med en referanse tid t_c i navigasjonsmeldingen. Klokkefeilen til satellitten løses ved:

$$\delta^s = a_0 + a_1(t - t_c) + a_2(t - t_c)^2 \quad (5.4)$$

Merk videre at dette polynomet sterkt reduserer størrelsen δ^s , men for en mer fullkommen løsning av klokkefeilen må også korreksjoner for relativistiske effekter introduseres. Får da løsningen

$$R + \delta t^s = \rho + c\delta t_r \quad (5.5)$$

hvor alle kjente størrelser er på venstre side og posisjonen og klokkefeilen til mottakeren som skal bestemmes er på høyre side.

5.4. Fasemåling

Fasemålinger er gitt i antall sykler Φ og den matematiske modellen er som følger

$$\Phi_r^s = \frac{1}{\lambda^s} \rho_r^s + N_r^s + \frac{c}{\lambda} \Delta \delta t_r^s \quad (5.6)$$

hvor λ er bølgelengden, ρ og $\Delta \delta t_r^s$ er på fase som for kodesignalets gangtid multiplisert med lysets hastighet og klokkefeilen i begge systemene. N er et ukjent heltall kalt fasens tvetydighet. Satellittens klokkefeil er som nevnt tidligere sendt gjennom navigasjonsmeldingen. For å løse for de ukjente parameterne som utgjør observatørens posisjon kan vi skrive ligning 5.6 slik

$$\Phi_r^s + \frac{c}{\lambda^s} \delta t^s = \frac{1}{\lambda^s} \rho_r^s + N_r^s + \frac{c}{\lambda} \delta t_r \quad (5.7)$$

Får å gjøre fasemålingen mer intuitiv kan vi ved å multiplisere fasen med den korresponderende bølgelengden få målingen i enhet meter.

$$L = \Phi \lambda \quad (5.8)$$

Hvor L nå er i enhet meter. Ved å multiplisere ligning 5.7 med fases bølgelengde λ^s får vi

$$L_r^s + c \delta t^s = \rho_r^s + N_r^s \lambda + c \delta t_r \quad (5.9)$$

5.5. Observasjonsligninger

Observasjonsligningene er gitt for pseudoavstand og fasemåling mellom satellitt og mottaker, gitt respektivt av P_r^s og L_r^s med frekvens f_i , hvor $i = 1, 2, \dots, n$

$$P_{ri}^s(t) = \rho_r^s(t) + Z_r^s(t) + I_{ri}^s(t) + Orb_i + c(\delta t_r - \delta t^s) + c(p_{ri} - p_i^s) + \varepsilon_{P_i} \quad (5.10)$$

$$L_{ri}^s(t) = \rho_r^s(t) + Z_r^s(t) - I_{ri}^s(t) + Orb_i + c(\delta t_r - \delta t^s) + c(l_{ri} - l_i^s) + \lambda_i N_{ri}^s + \varepsilon_{L_i} \quad (5.11)$$

ρ_r^s er den geometriske avstanden mellom satellitt og mottaker når det antas at korreksjoner som phase wind-up, tide jord, ocean loading og antenne fase senter korreksjoner er utført.

For å holde oversikt blir det gjentatt at $\rho_r^s = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2}$ hvor X^s og Y^s er satellittens og mottakerens koordinater.

Z_r^s er signalets troposfæriske forsinkelse. Troposfærens forsinkelse som angitt i ligning 5.10 og 5.11 er summen av alle forsinkelser forårsaket av den naturlige atmosfæren som beskrevet i kapittel 4.

I_r^s er signalets ionosfæriske forsinkelse. Ionosfæren er et dispersivt medium som medfører at den forsinket signaler med forskjellige frekvenser forskjellig, altså $I_{r1}^s \neq I_{r2}^s$.

Orb er satellittens radielle banefeil.

c er lysets hastighet i vakuum.

δt_r og δt^s er mottaker- og satellittklokkens avvik fra systemtid.

p_{ri} og p_i^s er kode hardware biaser i mottaker og satellitt for frekvens f_i .

l_{ri} og l_i^s er fase hardware biaser i mottaker og satellitt for frekvens f_i .

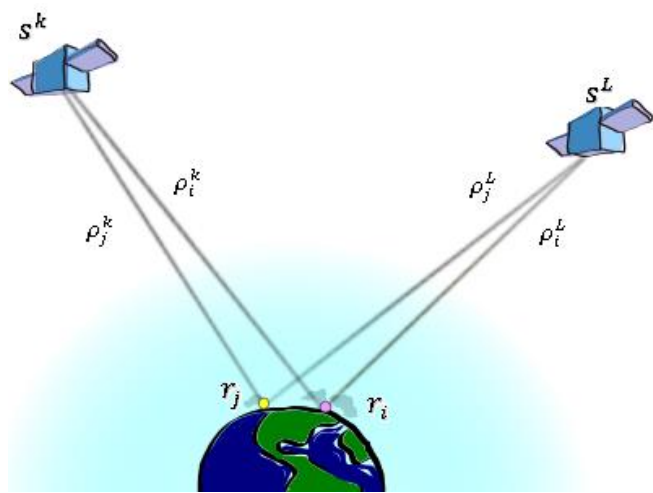
ε_{P_i} og ε_{L_i} er gjenværende kode- og faseobservasjonsfeil/støy som påvirker målingene. Observasjonsfeilen inneholder blant annet multipath.

N_{ri}^s er fasens heltallsflertydighet på frekvens f_i .

λ_i er bølgelengden tilhørende frekvens f_i

5.6. Singel og dobbeldifferanser

Bortsett fra mottakerens koordinater er det flere ukjente parametere i observasjonsligningene 5.10 og 5.11 som forstyrrer og minsker nøyaktigheten til observasjonene. Ved å forme differansen mellom observasjoner gjort til to mottakere fra en satellitt er satellittens klokkefeil og hardware bias eliminert. En singel differanse mellom to mottakere i og j og én satellitt k kan utledes som i ligning 5.12-5.14. Se figur 5.2 for illustrasjon tilhørende singel og dobbeldifferanser.



Figur 5.2: Illustrasjon av målinger mellom to satellitter og to mottakere

$$L_i^k = \rho_i^k + T_i^k - I_i^k + c(\delta t_i - \delta t^k) + c(l_i - l^k) + \lambda^k N_i^k \quad (5.12)$$

$$L_j^k = \rho_j^k + T_j^k - I_j^k + c(\delta t_j - \delta t^k) + c(l_j - l^k) + \lambda^k N_j^k \quad (5.13)$$

Legg merke til fellesuttrykkene i ligning 5.12 og 5.13, begge inneholder satellittens klokke og satellittens hardware bias, δt^k og l^k . Ved å trekke 5.13 fra 5.12 eliminerer vi disse parameterne

$$\Delta L_{ij}^k = \Delta \rho_{ij}^k + \Delta T_{ij}^k - \Delta I_{ij}^k + c\Delta \delta t_{ij} + c\Delta l_{ij} + \Delta B_{ij}^k \quad (5.14)$$

hvor $\Delta B_{ij}^k = \lambda^k(N_i^k - N_j^k)$.

Avhengig av hvor langt fra hverandre de to mottakerne står, vil også atmosfæriske forstyrrelser bli sterkt redusert. Med en baselinje kortere enn ~30 km kan en anta at signalene opplever feilbidragene fra atmosfæren likt (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

Ved å introdusere enda en singeldifferanse mellom samme mottakere, men til en ny satellitt L

$$\Delta L_{ij}^L = \Delta \rho_{ij}^L + \Delta T_{ij}^L - \Delta I_{ij}^L + c\Delta\delta t_{ij} + c\Delta l_{ij} + \Delta B_{ij}^L \quad (5.15)$$

kan en ve å ta differansen mellom disse to singel differanser $\Delta L_{ij}^k - \Delta L_{ij}^L$ elimineres også mottakers klokke og hard ware bias og vi står igjen med dobbeldifferensiert geometrisk avstand $\nabla\Delta\rho_{ij}^{Lk}$, troposfære $\nabla\Delta T_{ij}^{Lk}$, ionosfære $-\nabla\Delta I_{ij}^{Lk}$ og heltalsflertydigheten $\nabla\Delta B_{ij}^{Lk}$.

$$\nabla\Delta L_{ij}^{Lk} = \nabla\Delta\rho_{ij}^{Lk} + \nabla\Delta T_{ij}^{Lk} - \nabla\Delta I_{ij}^{Lk} + \nabla\Delta B_{ij}^{Lk} \quad (5.16)$$

Når biasene i mottakerne og satellittene er blitt eliminert, står heltalsflertydigheten $\nabla\Delta B_{ij}^{Lk}$ til den dobbeldifferensierte observasjonen som et integer tall.

I situasjoner hvor den ene mottakerens posisjon er kjent på forhånd si mottaker k kan posisjonsnøyaktigheten til andre mottakere øke sin nøyaktighet ved at mottaker k raskere kan løse for feilkilder som behefter posisjonsbestemmelsen for så å sende korreksjonene til den andre mottakeren. Denne type målinger kalles differensiell GNSS (DGNSS) (Hofmann-Wellenhof et al. 2008).

6. Lineære kombinasjoner

6.1. Konsept

Ved å skape lineære kombinasjoner mellom flere kode- og faseobservasjoner kan det utledes nye observasjoner med særegne egenskaper, som å redusere den ionosfæriske påvirkningen av signalet, løse heltalsflertydigheten, redusere støyen på kodemålinger osv.

Om vi tar for oss to faseobservasjoner Φ_1 og Φ_2 med sine respektive frekvenser f_1 og f_2 kan en lineær kombinasjon mellom disse målingene skrives:

$$\Phi_{n,m} = n\Phi_1 + m\Phi_2 \quad (6.1)$$

Hvor Φ_1 og Φ_2 er faseobservasjonene målt på frekvens $i = 1, 2, \dots, n$ gitt i enhet sykler, n og m er valgfri skaleringsfaktorer. Ved substitusjon av forholdet $\Phi_{n,m} = f_{n,m} t$ for de korresponderende frekvensene får vi:

$$\Phi_{n,m} = nf_1 t + mf_2 t = f_{n,m} t \quad (6.2)$$

som gir den nye frekvensen til lineærkombinasjonen

$$f_{n,m} = nf_1 + mf_2 \quad (6.3)$$

og den nye bølgelengden

$$\lambda_{nm} = \frac{c}{f_{nm}} \quad (6.4)$$

Ved å multiplisere fasemålingen med den korresponderende bølgelengden λ kan man utlede faseobservasjonen i enhet meter ved:

$$L = \Phi\lambda \rightarrow \Phi = \frac{L}{\lambda} = \frac{L}{\frac{c}{f}} = L \frac{f}{c}$$

Går vi tilbake til ligning 6.1 ser vi at fasemålingene Φ_1 og Φ_2 kan erstattes med $L_1 \frac{f_1}{c}$ og $L_2 \frac{f_2}{c}$.

$$\Phi_1 = L_1 \frac{f_1}{c} \text{ og } \Phi_2 = L_2 \frac{f_2}{c} \quad (6.5)$$

Hvor L_1 og L_2 er fasemålingene gitt i meter, f_1 og f_2 er frekvensene målingene ble målt på og c er lysets hastighet.

Det er beleilig å kunne uttrykke målingen i enhet meter siden forståelse av avstand blir klarere, men også fordi en lineærkombinasjon eller en annen anvendelse med kodemålinger som naturlig er gitt i enhet meter blir enklere.

$$L_{nm} = \lambda_n \Phi_{nm} = \frac{c}{nf_1 + mf_2} (n\Phi_1 + m\Phi_2) \quad (6.6)$$

Her er forholdet mellom meter og sykler benyttet på ligning 6.1 for å få lineærkombinasjonen som tidligere var angitt i enhet sykler nå i enhet meter.

$$L_{nm} = \frac{c}{nf_1 + mf_2} \left(n \frac{f_1}{c} L_1 + m \frac{f_2}{c} L_2 \right) \quad (6.7)$$

Ved å benytte forholdet i ligning 6.6 har vi fått en komplett lineærkombinasjon, men nå i enhet meter. Ser at lyshastigheten kanselleres og vi står igjen med

$$L_{nm} = \frac{nf_1 L_1 + mf_2 L_2}{nf_1 + mf_2} \quad (6.8)$$

Det er nå utledet en lineær kombinasjon mellom to fasemålinger på to frekvenser og tilslutt gitt i enhet meter. Leser kan notere seg at denne fremgangsmåten vil være identisk for kodemålinger med unntak av siste del hvor vi går fra sykler til meter da kodeobservasjoner naturlig er gitt i meter.

6.2. Ionosfærefri lineærkombinasjon

For å redusere ionosfæreavhengige målefeil må vi enten ha kunnskap om elektrontettheten i den banen signalet tar fra sender til mottaker eller kunne fjerne TEC-avhengige ledd. For det første alternativet finnes det ionosfærekart som estimerer antall frie elektroner og da også den totale konsentrasjonen av elektroner (TEC) som gjør det mulig får observatøren å korrigere sine målinger. Det andre alternativet er kanskje den mest effektive metoden. Ved å anvende to observasjoner med forskjellige frekvenser, altså $f_1 \neq f_2$ kan man skape en ionosfærefri lineærkombinasjon som fjerner første ledd i ligning 4.4 som står for 99.9% av ionosfærens refraksjon, (Tegedor 2015), (Hernández-Pajares et al. 2007).

For å vise en aktuell ionosfærefri lineærkombinasjon tas det utgangspunkt i GPS faseobservasjoner L_1 og L_2 med frekvens $f_1 = 1557.42 \text{ MHz}$ og $f_2 = 1227.60 \text{ MHz}$ som settes inn som vektene i ligningene 6.8 og gir ionosfærefri observasjon for fase L_3 og kode P_3

$$L_3 = \alpha L_1 + \beta L_2 \quad (6.9)$$

$$P_3 = \alpha P_1 + \beta P_2 \quad (6.10)$$

hvor koeffisientene α og β er gitt ved

$$\alpha = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (6.11)$$

$$\beta = \frac{-f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (6.12)$$

Innsatt for observasjonene L_1 , L_2 , P_1 og P_2

$$L_3 = \rho + Z + Orb - \alpha I_1 + \beta I_2 + c(\delta t_{r_3} - \delta t_3^s) + B_3 + \varepsilon_{L_3} \quad (6.13)$$

$$P_3 = \rho + Z + Orb + \alpha I_1 - \beta I_2 + c(\delta t_{r_3} - \delta t_3^s) + \varepsilon_{P_3} \quad (6.14)$$

hvor ionosfærefri klokkekorreksjoner for satellitt og mottaker er gitt ved

$$\delta t_{r_3} = \delta t_r + \alpha p_{r_1} + \beta p_{r_2} \quad (6.15)$$

$$\delta t_3^s = \delta t^s + \alpha p_1^s + \beta p_2^s \quad (6.16)$$

og den ionosfærefrie tvetydigheten er gitt ved

$$B_3 = \alpha \lambda_1 N_1 - \beta \lambda_2 N_2 + b_{r_3} - b_3^s \quad (6.17)$$

Der de nye biasene b_{r_3} og b_3^s er gitt som en sammensetning av kode og fase biasene

$$b_{r_3} = c(\alpha l_{r_1} + \beta l_{r_2} - \alpha p_{r_1} - \beta p_{r_2}) \quad (6.18)$$

$$b_3^s = c(\alpha l_1^s + \beta l_2^s - \alpha p_1^s - \beta p_2^s) \quad (6.19)$$

En nærmere titt på ionosfærekomponentene αI_1 og βI_2 i ligning 6.13 og 6.14 avslører hensikten med denne lineærkombinasjonen

$$\frac{-\alpha I_1 - \beta I_2}{\frac{-f_1^2 I_1 + f_2^2 I_2}{f_1^2 - f_2^2}}$$

setter inn 4.16 (refraksjonen for faseobservasjoner) i ligningen over ser vi at første ordens ionosfæreledd forsvinner

$$\frac{-f_1^2 \frac{40.3TEC}{f_1^2} + f_2^2 \frac{40.3TEC}{f_2^2}}{f_1^2 - f_2^2} = 0$$

som gir endelig ionosfærefri observasjon L_3 hvor ionosfæreleddet er korrigert for.

$$L_3 = \rho + Z + Orb + c(\delta t_{r_3} - \delta t_3^s) + B_3 + \varepsilon_{L_3} \quad (6.20)$$

Samme fremgangsmåte gjelder for kodeobservasjoner som gir

$$P_3 = \rho + Z + Orb + c(\delta t_{r_3} - \delta t_3^s) + \varepsilon_{P_3} \quad (6.21)$$

6.3. Lineærkombinasjoners nye egenskaper

Ved å velge $n = 1$ og $m = -1$ ser vi fra ligning (6.3) at det blir en mindre frekvens som gir en større bølgelengde fra ligning (6.4) og er derfor kalt wide-lane. Om $n = m = 1$ økes frekvensen som resulterer i en reduksjon av bølgelengden. Denne lineærkombinasjonen er derfor kalt narrow-

lane. Under er wide- og narrow-lane egenskapene vist numerisk med frekvensene $f_1 = 1557.42 \text{ MHz}$ og $f_2 = 1227.60 \text{ MHz}$.

Wide-lane: $n=1$ og $m=-1$

$$f_{\Delta} = nf_1 + mf_2 \quad (6.22)$$

Gir differansen mellom de to frekvensene f_1 og f_2

$$f_{\Delta} = f_1 - f_2 \quad (6.23)$$

$$f_{\Delta} = 1575.42 \text{ MHz} - 1227.60 \text{ MHz} = 347.82 \text{ MHz} \quad (6.24)$$

$$\lambda_{\Delta} = \frac{c}{f_{\Delta}} = \frac{299792458 \text{ ms}^{-1}}{347820000 \text{ Hz}} = 0.862 \text{ m} \quad (6.25)$$

Narrow-lane: $n=1$ og $m=1$

$$f_{\epsilon} = nf_1 + mf_2 \quad (6.26)$$

Gir summen av de to frekvensene f_1 og f_2

$$f_{\epsilon} = f_1 + f_2 \quad (6.27)$$

$$f_{\epsilon} = 1575.42 \text{ MHz} + 1227.60 \text{ MHz} = 2803.02 \text{ MHz} \quad (6.28)$$

$$\lambda_{\epsilon} = \frac{c}{f_{\epsilon}} = \frac{299792458 \text{ ms}^{-1}}{2803020000 \text{ Hz}} = 0.107 \text{ m} \quad (6.28)$$

Fordelen med å velge n og m som heltall er at heltalsegenskapen til flertydigheten ikke ødelegges. Wide-lane gir en lengre bølgelengde som gjør det enklere å finne flertydigheten, mens narrow-lane gir en bedre oppløsning eller en mer nøyaktig måling.

Ved å velge $n = 77$ og $m = 60$ hvor blir førsteordens ledd i ionosfæreforsinkelsen kansellert.

$$f_3 = nf_1 + mf_2 \quad (6.29)$$

$$f_3 = 77f_1 - 60f_2 = 47651.34 \text{ MHz} \quad (6.30)$$

$$\lambda_3 = \frac{c}{f_3} = \frac{299792458 \text{ ms}^{-1}}{47651340000 \text{ Hz}} = 0.0062 \text{ m} \quad (6.31)$$

Under er det vist en tabell med skaleringer n og m , frekvens, bølgelengde og standardavvik for L_1 (faseobservasjon på frekvens f_1), L_2 (faseobservasjon på frekvens f_2), wide-lane (L_Δ), narrow-lane (L_ϵ) og ionosfærefri kombinasjon (L_3)

Tabell 1 Tabell 6.1: Tabellen viser en oversikt over noen av lineærkombinasjonene og to faseobservasjoner på L1 og L2 med korresponderende skalering n og m , frekvens, bølgelengde og standardavvik

	n	m	Frekvens	Bølgelengde	σ
L_1	1	0	1575.42MHz	0.19 m	0.0057
L_2	0	1	1227.60Mhz	0.244 m	0.0073
L_Δ	1	-1	347.82Mhz	0.862 m	0.0366
L_ϵ	1	1	2803Mhz	0.107 m	0.0045
L_3	77	60	47651.34Mhz	0.0062 m	0.0184

6.4. Presis punktposisjonering

Presis PunkPposisjonering (PPP) tar ofte utgangspunkt de ionosfærefrie observasjonene 6.20 og 6.21.

$$L_3 = \rho + Z + Orb + c(\delta t_{r_3} + \delta t_3^s) + B_3 + \varepsilon_{L_3}$$

$$P_3 = \rho + Z + Orb + c(\delta t_{r_3} - \delta t_3^s) + \varepsilon_{P_3}$$

I motsetning til relative metoder bruker man i en PPP løsning udifferensierte observasjoner og kun én mottaker som har den egenskap at den kan motta observasjoner på flere frekvenser samtidig. For eksempel fase og kodemålinger på GPS frekvens f_1 og f_2 . Ved å bare anvende én mottaker kan man ikke differensiere bort uvedkomne feilkilder slik man ville gjort i en DGNSS løsning. Konsekvensen av å estimere posisjoner med én mottaker er at man ikke kan eliminere hardware biasene i satellitt og mottaker. Videre fører dette til at man ikke kan løse heltallsflertydigheten til fasen som medfører at flertydigheten må estimeres i en float løsning (Øvstedal et al. 2006). I en PPP løsning er satellittbane og klokke korreksjonene erstattet med presise estimater fra analysesenter som IGS. Første ordens ionosfæreforsinkelse kan reduseres for med ionosfærefri lineærkombinasjon. Den hydrostatiske delen av troposfæren er estimert a priori med modeller som Saastamoinen modellen. I tillegg må korreksjoner som phase wind-up, antenne offset og loadingeffekter tas høyde for (Kouba 2009).

Ved å anvende satellittbane og satellittklokke dataene fra IGS består de ionosfærefrie observasjonene L_3 og P_3 av følgende ukjente parametere som må estimeres: mottakers koordinater (X_r, Y_r, Z_r) , mottakers klokkefeil δt_r , den våte delen av troposfæreforsinkelsen Z og ionosfærefri tvetydighet B_3 .

$$L_3 = \rho + Z_{våt} + c(\delta t_{r_3}) + B_3 + \varepsilon_{L_3} \quad (6.32)$$

$$P_3 = \rho + Z_{våt} + Orb + c(\delta t_{r_3} - \delta t_3^s) + \varepsilon_{P_3} \quad (6.33)$$

6.3.1. Korreksjoner og modeller

Koordinatene (X_r, Y_r, Z_r) som angir mottakers posisjon er i konstant bevegelse som følge av at jorda deformeres av geofysiske fenomen. For å kunne oppnå høyest mulig nøyaktighet må mottaker posisjonen korrigeres med disse deformasjonene som behefter stasjonens koordinater. Opphavet til koordinatenes forandring er tide-effekter som tide jord, tidevann og atmosfærisk trykk variasjon.

I programvare som Bernese og GIPSY som benyttes som verktøy for prosessering av GNSS målinger av typen pseudoavstand- og faseobservasjoner blir målingene korrigert for relativistiske effekter, satellittklokke avvik, atmosfærisk forsinkelse osv. Selv for målinger med nøyaktighet på dm-nivå er dette effekter som må tas høyde for.

Jorda har ikke en stiv form, men en elastisitet som medfører at andre legemer i solsystemet trekker på jordas overflate og deformerer den. Tidejord er effekten av at legemer i solsystemet, hovedsakelig månen og solen, trekker på jordas overflate og produserer vertikale og horisontal deformering av stasjonens koordinater på rundt 30 cm i radiell retning og 5 cm i horisontal retning. Effekten av tide jord kan beregnes ved efemeridene til månen, sola og planeter i vårt solsystem (Torge & Müller 2012). For differensiell posisjonering med baselinjer mindre enn 100 km vil stasjonene oppleve identiske tideforflytninger og vil være lite påvirket av denne effekten. For høypresisjons PPP målinger må denne «tide-frie» korreksjonen påføres for å være konsistent med ITRF tide referansesystem (Kouba 2009).

En annen indirekte konsekvens av tide effekter er ocean loading. Etter som månen og sola trekker og flytter på jordens vannmasser, opplever havbunden og nærliggende landmasser tidsvarierende deformasjoner av trykket fra den flyttede vannmassen. Ocean loading er en mer lokal effekt og kan oversees ved målinger langt fra kystsoner. For presise målinger i nærheten av kysten med måleintervaller kortere enn 24 timer må ocean loading korrigeres for

Atmosfærisk ladning er et resultat av at solen varmer opp atmosfæren og skaper overflatetrykkssvingninger. Disse svingningene forandrer trykket jordoverflaten opplever fra atmosfæren og utarter seg med en vertikal og horisontal deformasjon av stasjonens posisjon. Førstnevnte utgjør en målefeil på 1-2 cm og sistnevnte en feil på en størrelsesorden mindre (Torge & Müller 2012).

7. Estimere elektrontettheten i ionosfæren

Ved å sende signaler på flere frekvenser kan man som vist i kapittel 6 redusere den frekvensavhengige ionosfæreforsinkelsen/forstyrrelsen. Alternativt kan man løse for den ionosfæriske forsinkelsen og måle elektrontettheten i banen signalet tar mellom satellitt og mottaker som gir grunnlaget for ionosfæriske kart av TEC. For singelfrekvenser kan effekten av ionosfærens refraktivitet påføre målingene en feil på 30 m for frekvenser rundt 1600 MHz (Seeber 2003). Tabell 7.1 viser en oversikt over ionosfærens effekt på forskjellige frekvenser for singel- og to-frekvens brukere.

Tabell 7.1 forstyrrelsen på forskjellige frekvenser forårsaket av ionosfæren (SEEBER 2003)

Singelfrekvens	400 MHz	1600 MHz	2000 MHz	8000 MHz
Gjennomsnittlig effekt	50 m	3 m	2 m	0.12 m
Maksimum effekt	500 m	30 m	20 m	1.2 m
To-frekvenser	150/400 MHz	400/2000 MHz	1227/1572 MHz	2000/8000 MHz
Gjennomsnittlig effekt	0.6 m	0.9 cm	0.3 cm	0.04 cm
Maksimum effekt	36 m	22 cm	4.5 cm	0.43 cm

Tidligere er det demonstrert formelverk for å redusere ionosfæren som feilkilde på GNSS signaler. Dette er en rutine som blir utført for å øke nøyaktigheten på posisjonsbestemmelsen på eller nær jordas overflate. Derimot finnes det også interesse av å måle TEC-verdien framfor å fjerne den. Mange forskningsfelt som studerer ionosfæren og dens oppførsel i forhold til jordskjelv, solaktivitet, men også for å kunne redusere målefeil for brukere av singelfrekvente mottakere, vil ha stor nytte av å kunne bruke målinger av elektrontettheten i ionosfæren. For brukere av mottakere som bare kan måle på én frekvens står ionosfæren fortsatt som den største feilkilden. Ved å danne kart over den totale elektronkonsentrasjonen over et gitt område, kan brukere av singelfrekvente mottakere korrigere målingene sine ut fra disse ionosfærekartene.

7.1. Klobuchar ionosfæremodellen

GPS satellitter kringkaster sammen med efemeridedata også ionosfæreparametere til Klobuchar ionosfæremodell for singelfrekvens brukere. Modellen er estimert til å kunne korrigere for omlag 50 % av ionosfæreforsinkelse RMS verden over. Modellen antar at alle elektroner er tilstede i et tynt skall (single layer modell) med en høyde på 350 km. Ionosfæreparameterne i Klobuchar modellen beskriver den daglige TEC-kurven som best passer TEC verdiene fra et gjennomsnitt av månedlige TEC observasjoner. TEC er hold konstant på nattestid.

7.2. Levelling carrier to code

To-frekvente GPS kode og faseobservasjoner kan kombineres for å finne ionosfæriske observasjoner direkte relatert til TECS som er elektrontettheten i satellitt-mottakers line f sight

(LOS). Med utgangspunkt i kode og faseobservasjonsligningene 5.10 og 5.11 kan en to-frekvent mottaker måle forskjellen i forsinkelsen mellom L1 og L2 frekvensene som er antatt å reise den samme ruten fra satellitt til mottaker. Ionosfæreforsinkelsen er som tidligere vist, forskjellen mellom enten to kodeobservasjoner P1 og P2 eller mellom to faseobservasjoner L1 og L2.

$$P_4 = P_1 - P_2 = 40.3 \left(\frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2 f_2^2} \right) TEC + c(DCB^s + DCB_r) + e_{p_4} \quad (7.1)$$

Hvor P_4 er den geometri-frie observasjonene, P_1 og P_2 er kodeobservasjoner som i ligning 1.10 på frekvens f_1 og f_2 , DCB^s er differential code bias for satellitt, DCB_r er differential code bias for mottaker og $e_{p_4} = e_{p_1} - e_{p_2}$ er forskjellen mellom den umodelerte støyen på P_1 og P_2 som multipath. I_1 er ionosfæreforsinkelsen på f_1 frekvens og $\gamma = \frac{f_1^2}{f_2^2}$. Fra ligning 1.1 kan en løse for TEC. For å gjøre dette mer intuitivt kan ligning 7.1 skrives

$$TEC = \frac{1}{40.3} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) P_4 - c(DCB^s - DCB_r) + e_{p_4} \quad (7.2)$$

Faseobservasjoner er som kjent mer nøyaktig enn koden da faseobservasjoner ikke er like påvirket av støy og multipath som koden. Faseobservasjoner er fremdeles beheftet med en ukjent heltallsflertydighet som skaper problemer ved estimering av TEC. I tillegg til heltallsflertydigheten er det forsinkelser i en geometrifri observasjon forårsaket av senderen og mottakeren kalt inter frequency bias (IFB) (IFB på kodemålinger også kjent som differential code bias (DCB)) som er frekvensavhengig og forskjellig fra fase og kodemålinger. Tradisjonelt kan man gå rundt problemet med fasenes ukjente heltallsflertydighet ved å utføre en prosedyre kalt «carrier levelled to code» beskrevet senere. Forsinkelsen assosiert med sender og mottakers IFB kan nå flere nanosekunder og effekten må fjernes for å kunne observere upåvirkede STEC målinger. En geometri-fri lineærkombinasjon mellom L_1 og L_2 GPS faseobservasjon er gitt ved

$$L_4 = L_1 - L_2 = -(1 - \gamma)I_1 + B_4 \quad (7.3)$$

hvor L_4 er den geometri-frie faseobservasjonen, L_1 og L_2 er faseobservasjoner på frekvens f_1 og f_2 , B_4 er forskjellen i heltallsflertydigheten og fase-biaser mellom L_1 og L_2

På samme måte som vist for den geometrifire lineærkombinasjonen mellom to kodeobservasjoner kan også lineærkombinasjonen for to faseobservasjoner resultere i en TEC verdi

$$L_4 = -40.3 \left(\frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2 f_2^2} \right) TEC + B_4 + e_{L_4} \quad (7.5)$$

løser for TEC ved

$$TEC = -\frac{1}{40.3} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (L_4) - B_4 - e_{L_4} \quad (7.6)$$

Umiddelbart kan det observeres fra ligningen over at den geometri-frie faseobservasjonen L_4 ikke kan gi et entydig uttrykk for TEC verdien siden heltallsflertydigheten til observasjonen ikke er håndtert enda. For å løse problemet som omfatter heltallsflertydigheten i ligningen over kan en iverksette en mye anvendt metode «carrier levelled to code». Anta to geometri-frie observasjoner observert over hver sin kurve av kontinuerlige, uavbrutte (fravær av fasebrudd) fase og kodemålinger. Der etter å midle forskjellen mellom observasjonene vil forskjellen mellom kode og faseobservasjonene være heltallsflertydigheten og de differensielle kode biasene.

$$L_4^{arc} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n (P_4 + L_4) \quad (7.7)$$

Ved å sette inn for P_4 og L_4

$$L_4^{arc} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n (c(DCB^s + DCB_r) + B_4) \quad (7.8)$$

Forskjellen mellom L_4 og L_4^{arc} vil nå være

$$\frac{L_4 + L_4^{arc}}{\gamma - 1} = I_1 - \frac{c(DCB^s + DCB_r)}{\gamma - 1} \quad (7.9)$$

Løser for ionosfæreforsinkelsen

$$I_1 = \frac{L_4 + L_4^{arc}}{\gamma - 1} + \frac{c(DCB^s + DCB_r)}{\gamma - 1} \quad (7.10)$$

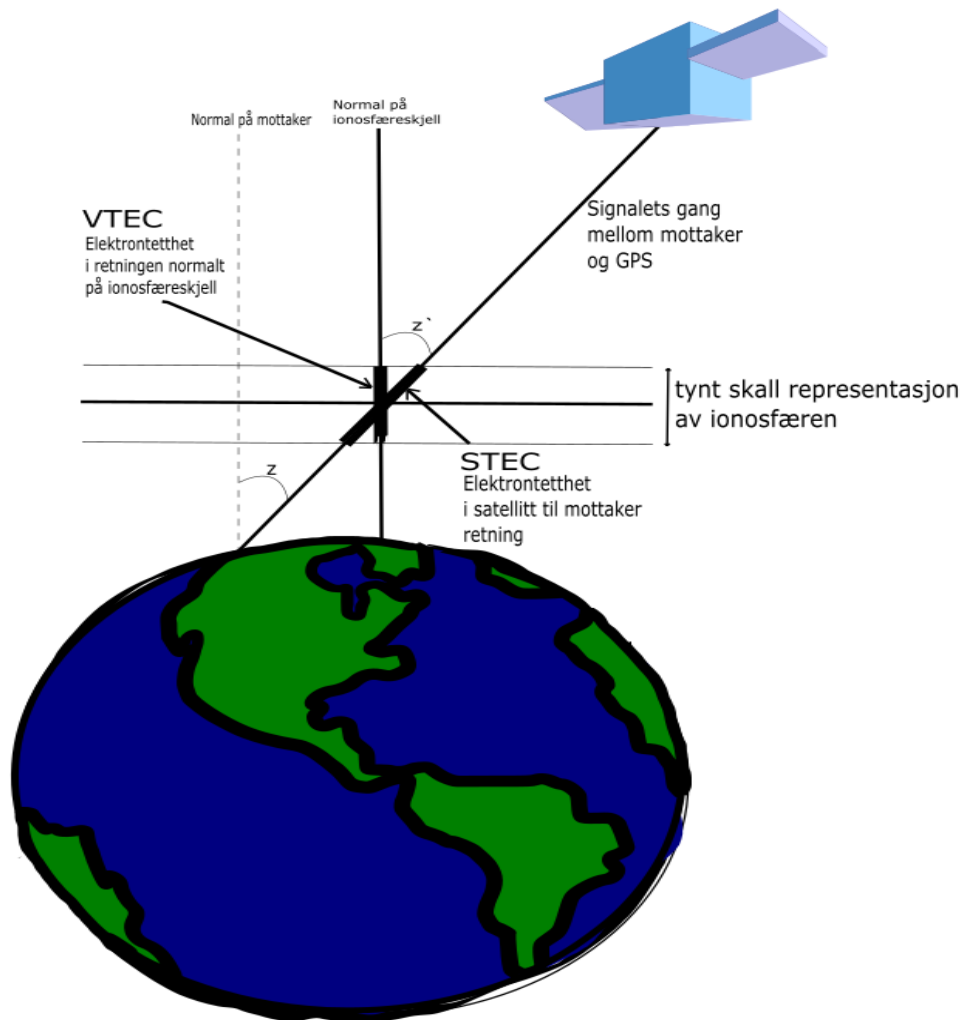
Som nå er en observasjon uten heltallsflertydigheten. Det er fremdeles biaser forårsaket av hardwaren i satellitten og mottaker. Hardware biasen til satellitten kan hentes fra IONEX filer og om stasjonen som måles til er en del av IGS nettverket kan også disse biasene hentes fra IONEX filer for den gitte dagen for observasjonen.

Om stasjonen ikke er en del av IGS nettverket kan DCB for mottakeren kalibreres ved å bruke ionosfærisk forsinkelse og DCB for satellitten som er gitt i IONEX.

$$DCB_r = \frac{1}{c} [(P_1 - P_2) - I_1(1 - \gamma)] + \frac{1}{c} [(M_2 - M_1) + (e_2 - e_1)] - DCB^s \quad (7.11)$$

7.3. Single layer model

Når TEC estimeres eller ionosfærekart skal lages tas det vanligvis utgangspunkt i at alle frie elektroner er samlet i et tynt skall som omringer jorda. Høyden til skallet er normalt satt til en høyde i F2 laget av ionosfæren ~350 – 450 km hvor det er antatt at den største konsentrasjonen av elektroner befinner seg. Det er i dette skjæringspunktet mellom satellitt-mottaker line of sight (LOS) vektoren og skallet som representerer ionosfæren kalt ionospheric pierce point (IPP) at VTEC er estimert. Figur 7.1 viser en illustrasjon av single layer modellen (SML) og hvordan STEC mappes over til VTEC.



Figur 7.1: Viser konseptet for single layer modellen som illustrerer forskjellen mellom STEC og VTEC

Elektrontettheten i siktelinjen mellom satellitt og mottaker og elektrontettheten i linjen normalt på ionosfæreskallet er relatert ved zentih vinkelen z .

$$STEC = F(z)VTEC \quad (7.12)$$

Hvor $F(z)$ er mappingfunksjonen

$$F(z) = \frac{1}{\cos(z')} \quad (7.13)$$

$$\frac{1}{\cos(z')} = \frac{1}{\sqrt{1 - \sin^2(z')}} \quad (7.14)$$

hvor

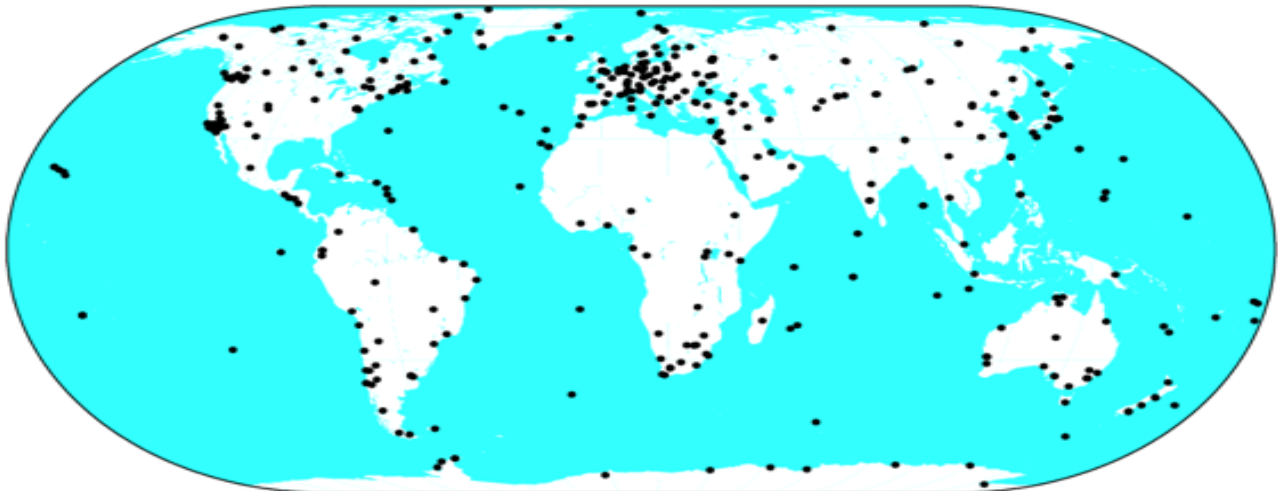
$$\sin(z') = \frac{R}{R_0 + H} \quad (7.15)$$

der $F(z)$ som nevnt er den approksimerte SLM mappingfunksjon, z og z' geosentrisk zenith avstand i høyden ved stasjonen og i IPP. R og R_0 er radius til stasjon og den gjennomsnittlige radiusen til jorda ca. 6371 km. Tilslutt er H høyden til ionosfæreskallet over jordas overflate.

Legg også merke til at *VTEC* ikke refereres seg til stasjonenes posisjon, men til punktet rett under IPP (sub ionospheric pierce point).

7.4. IGS

I 1994 ble den gang International GPS service, i dag International GNSS service (IGS) opprettet av International Association of Geodesy (IAG). IGS består av over 200 forskjellige byråer, universiteter og forskningsinstitusjoner fordelt i over 100 land verden rundt med Central Bureau lokalisert ved Jet Propulsion Laboratory (JPL). IGS opererer et globalt nettverk på om lag 400 GNSS målestasjoner med høykvalitets antenner distribuert som vist på figur 7.2. Stasjonene er utrustet med geodetisk to-frekvente GNSS mottakere som observerer fase og kodeobservasjoner lever på timeligbasis.



Figur 7.2: GPS mottaker som utgjør IGS nettverket (ccar.colorado.edu)

IGS samler inn, arkiverer og distribuerer GPS og GLONASS observasjonsdata med svært høy nøyaktighet. Observasjonene er analysert og satt sammen til produktpakker med forskjellig nøyaktighet og forsinkelse.

IGS produkter

- GPS satellitt efemerider, satellittklokke og stasjonsklokke med svært høy nøyaktighet. Produktene er levert i fire nivåer, ultra-rapid (prediktert), ultra-rapid (observert), rapid og final. Respektivt er forsinkelsen på produktene sanntid, 3 – 9 timer, 17 – 41 timer og 12 – 18 dager. Det er ikke estimert stasjonsklokker i ultra-rapid produktene.

Tabell 7.1: IGS GPS produkter (igs.org)

GPS efemerider og satellitt/stasjonsklokker		Nøyaktighet	Forsinkelse	Oppdatering	Samplingsintervall
Kringkastet	Bane	~100 cm	sanntid	--	daglig
	Sat.klokker	~5 ns RMS ~2.5 ns STD			
Ultra-Rapid (prediktert)	Bane	~5 cm	Sanntid	Ved 03, 09, 15 og 21 UTC	15 min
	Sat.klokker	~3 ns RMS ~1.5 ns STD			
Ultra-Rapid (observert)	Bane	~3 cm	3 – 9 timer	Ved 03, 09, 15 og 21 UTC	15 min
	Sat.Klokker	~150 ps RMS ~50 ps STD			
Rapid	Bane	~2.5 cm	17 – 41 timer	Ved 17 UTC daglig	15 min
	Sat. og sta.klokker	~75 ps RMS ~25 ps STD			5 min
Final	Bane	~2.5 cm	12 – 18 dager	Hver Torsdag	15 mn
	Sat. og sta.klokker	~75 ps RMS ~20 ps STD			Sat: 30 s Sta: 5 min

<https://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>

- GLONASS satellitt efemerider som leveres i ett final product med en nøyaktighet på ~3 cm og en forsinkelse på 12 – 18 dager.
- Geosentriske koordinater til alle IGS stasjoner levert i to produkter begge med en forsinkelse på 11 – 17 dager.
 - Final position med en nøyaktighet på 3 mm horisontalt og 6 mm vertikalt.
 - Final velocities med en nøyaktighet på 2 mm/år horisontalt og 3 mm/år vertikalt.
- Jordrotasjonsparametere
 - Polar bevegelse (PM)
 - Polar bevegelses rate (PM rate)
 - Length-of-day (LOD)

Alle produktene er levert i fire produktene, ultra-rapid (prediktert) levert i sanntid, ultra-rapid (observert), rapid og final. Ultra-rapid (prediktert) er levert i sanntid, de resterende er levert med en forsinkelse på 3- 9 timer, 17 – 41 timer og 11 – 17 dager.

- Atmosfæriske parametere
 - Final troposfære zenith path delay med en nøyaktighet på 4 mm og en forsinkelse på over 4 uker.
 - Ultra_rapid troposfære zenith path delay med en nøyaktighet på 6 mm og en forsinkelse på 2 – 3 timer.
 - Final ionosfære TEC grid med en nøyaktighet på 2 – 8 TECU og en forsinkelse på ~11 dager.
 - Rapid ionosfære TEC grid med en nøyaktighet på 2 – 9 TECU og en forsinkelse på over 24 timer.

7.4.1. IGS working groups

IGS har en rekke grupper som jobber med å forbedre IGS produktene kalt The IGS working groups. Blant disse er det en gruppe som spesialiserer seg på ionosfæren, Ionosphere Working Group. Det er fem Ionosfære Asosierte Analysesentre (IAAC) som bidrar med ionosfærekart til Iono-WG, Center for Orbit Determination (CODE), Sveits, European Space Operations Center of ESA (ESCO), Tyskland, Jet Propulsion Laboratory (JPL), USA og det tekniske universitet i Catalonia som ligger i Barcelona. De fire analysesentrene lager uavhengige TEC kart med forskjellige fremgangsmåter (igs.org). Gruppens hovedaktivitet er å utgi IGS globale TEC kart (IGTEC-kart) med en tidsoppløsning på 2 timer og daglige sett med GPS satellitt og mottaker DCB (Hernandez-Pajares 2003).

7.4.2. IONEX

IONosphere map Exchange format (IONEX) inneholder DCB for alle mottakere i IGS nettverket og alle satellitter. Filformatet inneholder VTEC verdier i et globalt grid. I breddegrad varierer punktene fra 87.5° til –87.5° med et romlig intervall på 2.5°. I lengdegrad varierer punktene fra 180° til –180° med et romlig intervall på 5°. Koordinatene er gitt som sfæriske koordinater i en ECEF referanseramme. De globale TEC kartene eller GIM (global ionospheric map) levert gjennom IONOEX, har en tidsoppløsning på 2 timer, starter 00:00:00 og er gitt i Universal Time (UT). Presentert i IONEX filen er 13 globale TEC kart med romlig oppløsning på 2.5° * 5°. Det siste kartet er konstruert for å overlape med det første neste dag (igs.org).

7.5. Kan VTEC estimeres med en nevneverdig nøyaktighet ved bare å anvende faseobservasjoner?

Som nevnt tidligere er problemet med å måle TEC på faseobservasjoner at tvetydigheten til signalet forhindrer en absolutt måling av TEC.

Dr. Dru Smith presenterte i artikkelen «Absolute Ionosphere Slant Delay From Ambiguous Carrier Phase Data» en ny metode for å estimere absolutt TEC verdier langs GPS mottaker-satellitt linjer ved bare å anvende tvetydige to-frekvente faseobservasjoner. Metoden er navngitt Ionosphere over the conterminous (ICON) og tar utgangspunkt i at flere stasjon-satellitt kombinasjoner observerer samme punkt i ionosfæren (i teorien skal alle målingene til dette punktet ha samme STEC verdi). Siden observasjonene er gjort av fasen vil alle være beheftet med biaser som forhindrer en entydig observasjon av STEC. Alle STEC verdiene målt i samme punkt i ionosfæren vil også i teorien ha samme VTEC verdi og dette forholdet benytter Smith for å mappe STEC verdier sammen og tilslutt estimere biasene til hver observasjon.

ICON er blitt utført på CORS-nettverket i USA koordinert av The National Geodetic Survey of NOAA. CORS (Continuously Operating Reference Stations) som observerer GPS kode og fase.

I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i ICON-metoden. I første omgang vil metoden bli testet på fem stasjoner i det norske CPOS-nettverket. Hensikten er å se om stasjoner i Norge som ikke strekker seg veldig langt i lengdegrad gir grunnlag for en god nok geometri for at metoden skal fungere. Videre vil det systematisk bli tatt inn andre stasjoner fra IGS-nettverket for å styrke geometrien og også for å øke antall observasjoner. Tilslutt vil resultatet av ICON bli sammenlignet med GIM fra en IONEX-fil fra samme dag og TEC estimert med teknikkene beskrevet tidligere «levelling carrier to code» og Klobuchar ionosfæremodellen.

8. Metode

8.1. TEC estimert bare med faseobservasjoner

Fremgangsmåte

ICON baserer seg som nevnt på at to observasjoner av samme STEC verdi kan mappes til hverandre. Først kan en se for seg to stasjonære stasjoner A og B som observerer hver sin satellitt 1 og 2. Ettersom satellittene beveger seg kan en tenke at vektoren mellom mottakerne og satellitten skjærer ut en linje i ionosfæren, en slik linje kaller vi en track. Hvis de to trackene laget av de to mottaker-satellitt kombinasjonene A og 1 og B og 2 krysser hverandre i tid og rom vil de i virkeligheten i krysningepunktet begge ha samme VTEC-verdi.

For at teknikken skal kunne anvendes er det ett sett med kriterier som må oppfylles.

- Først og fremst må det eksistere et nettverk av mottakere som er plassert slik at de ser de samme satellittene fra forskjellige posisjoner gjennom dagen.
- Videre, siden målet er å estimere VTEC ved å anvende bare faseobservasjoner må mottakerne kunne motta faseobservasjoner på GPS frekvens f_1 og f_2 over lengre tidsperioder.
- Det antas at forskyvningseffekten gjennom ionosfæren som oppleves på L1 og L2 fase er direkte relatert til elektrontettheten i ionosfæren.

$$I = \frac{k}{f^2} STEC [m]$$

$$I_1 = \frac{k}{cf^2} STEC [s] \quad (8.1)$$

$$I_2 = \frac{k}{cf^2} STEC [s] \quad (8.2)$$

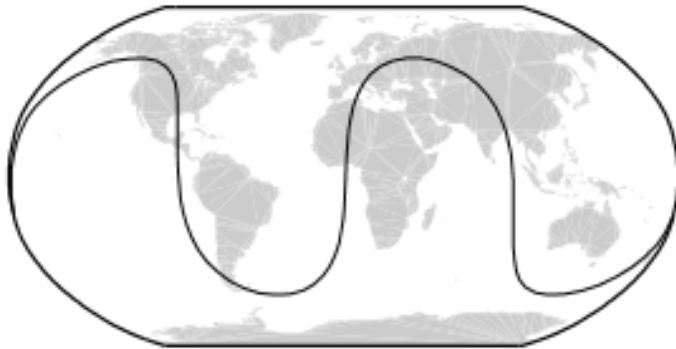
Hvor I_1 og I_2 er forsinkelse i antall sykler på L1 og L2 med tilhørende frekvenser f_1 og f_2 . STEC er tettheten av elektroner i siktelinjen mellom mottaker og satellitt hvor $1TECU = 10^{16} \left(\frac{m \text{ cyc}^2}{TECU} \right) \frac{1}{s^2}$.

- Tilslutt antas det at to STEC verdier som ligger nært hverandre i rom og tid kan relateres til hverandre gjennom en mappingfunksjon, altså for to forskjellige tracker som ligger nært hverandre i rom og som ligger i et intervall δi i tid kan skrives

$$STEC(track\ 1, epoke\ i) = f(STEC(track\ 2, epoke(i \pm \delta i)) \quad (8.3)$$

For å finne signalets skjæring med det tenkte ionosfæreskallet ble det først beregnet satellittkoordinater med programvare utviklet av studenten selv. Programmet tar inn efemeridedata gitt i RINEX-navigasjonsfilen og gir ut satellittkoordinater i ECEF koordinater. Satellittkoordinatene ble beregnet med et intervall på 15 sekunder i 24 timer fra 21. august klokken 00:00:00 til 22. august 00:00:00. Ved å kjenne satellittenes bane og mottakernes posisjon som antas å være konstant ble signalets skjæring med ionosfæren estimert for hver mottaker-satellitt-kombinasjon og gitt geodetiske koordinater. Alle observasjoner med en elevasjon mindre enn 10° ble utelatt fra observasjonene. Informasjon om mottakernetverket benyttet i denne oppgaven vil bli introdusert i kapittel 8.3.

På figuren 8.3 er det illustrert IPP tracken for stasjon SASS og GPS SV#3 for dag 234 2016. Formene på hver av trackene er svært identiske med en kurvete form fra mottakeren oppretter kontakt til satellitten forsvinner bak horisonten. For at flest mulig tracker skal krysse hverandre er en avhengig av å distribuere stasjonene på en slik måte at trackene kan krysse hverandre på langs. En ulempe som kan være et hinder for å få et rikelig antall kryssninger med denne metoden i Norge er at Norge ligger på høye breddegrader (fra $\sim 58^\circ$) og GPS-satellittene har en inklinasjon på 55° . Figur 8.2 viser en GPS-satellitts bakkespor.

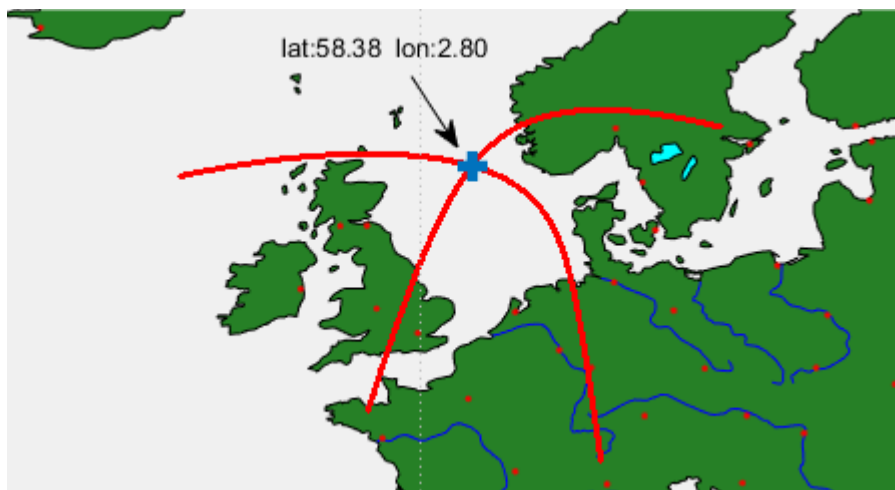


Figur 8.2: En GPS satellitts bakkespor (MEINDL 2011)



Figur 8.3: Illustrasjon av en track målt fra stasjon SASS til GPS SV#3

Det ble laget en rutine i Matlab for å finne kryssninger mellom de observerte sammenhengende trackene ved å benytte en allerede eksisterende Matlab funksjon (`polyxpoly`) (mathworks.com). Denne funksjonen tar inn to linjesegment, hver bestående av to vektorer. For eksempel er X_1 og Y_1 vektorene til det første linjesegmentet og X_2 og Y_2 er vektorene til det andre linjesegmentet. Outputverdiene til funksjonen er et sett med koordinater XI og YI som angir koordinatene til skjæringspunktet/skjæringspunktene funksjonen oppdaget mellom de to linje segmentene. Under er det vist et eksempel på to tracker som krysser hverandre i rommet med tilhørende outputkoordinater funnet av `polyxpoly`funksjonen.



Figur 8.4: Polyxpoly funksjonen benyttet på to tracker med tilhørende outputkoordinater fra polyxpoly.

8.2.Modell

Når en GPS mottaker kobler seg til en satellitt vil den straks observere differansen mellom satellittens utsendte bærefase og mottakerens genererte kopi og det blir igangsatt en heltallsteller av antall hele bølgelengder (Smith et al. 2002). Om det ikke oppstår et fasebrudd eller at satellitten går ut av synsfeltet til mottakeren vil mottakeren stadig generere tellinger av Φ_1 og Φ_2 sykler og sammenligner endringen i sykler med den initialisert i mottakeren. Denne endringen av sykler skyldes satellittens bevegelse og dermed er forskjellen i sykler et mål på forskjellen i avstand etter som satellitten beveger seg (se kapittel 5 om observasjonsligninger for utdypende faseobservasjon). Videre vil forskjellen mellom to epoker, si epoke 1 og epoke 2 være gitt identisk som i (Smith et al. 2002)

$$\Delta_{1,2} \Phi_1 \lambda_1 = \Delta_{1,2} R = \Delta_{1,2} \rho + c \Delta \Delta_{1,2} t + \frac{\Delta_{1,2} I_1}{\lambda_1} + \Delta_{1,2} Z + \Delta_{1,2} m_1 \quad (8.4)$$

$$\Delta_{1,2} \Phi_2 \lambda_2 = \Delta_{1,2} R = \Delta_{1,2} \rho + c \Delta \Delta_{1,2} t + \frac{\Delta_{1,2} I_2}{\lambda_2} + \Delta_{1,2} Z + \Delta_{1,2} m_2 \quad (8.5)$$

hvor $\Delta_{1,2} \Phi_1 \lambda_1$ og $\Delta_{1,2} \Phi_2$ er forskjellen i Φ_1 og Φ_2 sykler på frekvens L1 og L1 over perioden mellom epoke 1 og epoke 2. Ved å trekke (8.12) fra (8.13) vil bare frekvensavhengige ledd gjenstå, altså den geometriske avstanden ρ , tiden t og troposfæreforsinkelsen Z blir kanselert

$$\Delta_{1,2} \Phi_1 \lambda_1 - \Delta_{1,2} \Phi_2 \lambda_2 = \left(\frac{\Delta_{1,2} I_1}{\lambda_1} - \frac{\Delta_{1,2} I_2}{\lambda_2} \right) + \Delta \Delta_{1,2} m_{1,2} \quad (8.6)$$

Videre antas at forstyrrelsen forårsaket av multipath på L1 og L2 og også forskjellen mellom dem er neglisjerbare. Erstatte ionosfære uttrykkene i (8.14) med (8.1) og (8.2) og får

$$\Delta_{1,2} STEC = {}^1 STEC - {}^2 STEC = \left(\frac{1}{k} \right) \left(\frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_2^2} \right)^{-1} (\Delta_{1,2} \Phi_1 - \Delta_{1,2} \Phi_2) \quad (8.7)$$

Som er et entydig uttrykk for forskjellen i STEC mellom epoke 1 og epoke 2.

For to mottaker-satellitt tracker som krysser hverandre i samme epoke vil de begge observere samme VTEC.

$$STEC_1 \cos(z'_1) = VTEC_1 = VTEC_2 = STEC_2 \cos(z'_2) \quad (8.8)$$

Fra ligningen over er det klart at om de to mappingfunksjonen mellom $STEC$ og $VTEC$ er nøyaktige nok vil både $STEC_1$ og $STEC_2$ kunne kobles til samme $VTEC$ verdi i det punktet hvor de to trackene krysser hverandre. $STEC_1$ kan nå også mappes til $STEC_2$ ved å omrokere på ligningen over

$$STEC_1 = \frac{STEC_2 \cos(z'_2)}{\cos(z'_1)} \quad (8.9)$$

Nå er alle kriteriene som ble nevnt tidligere oppfylt:

- Vi har et nettverk av mottakere som kontinuerlig observerer L1 og L2 faseobservasjonene.
- Forskyvningseffekten på faseobservasjonene kan direkte relateres til TEC.
- Til slutt har vi nå også en funksjon som relaterer to $STEC$ verdier fra to forskjellige tracker.

For hver krysning hvor ligning 8.16 kan antas å være oppfylt vil vi ha to ukjente, én bias for hver track som forhindrer et estimat på den absolutte $STEC$ verdien og da også den absolutte $VTEC$ verdien for det punktet hvor to tracker krysser. Dermed kan ikke en krysning alene løse for biasene til hver av trackene. Kravet til systemet er derfor at det må eksistere like mange eller flere krysninger enn det finnes tracker.

For tre tracker med $\Delta STEC$ som sammen danner et nett med tre krysninger vil ha tre ukjente biaser b_1 , b_2 og b_3 som forhindrer en bestemmelse av en absolutt $STEC$ verdi langs tracken. b_i kan tenkes på som den virkelige $STEC$ verdien for hver track i starten av hver track. Siden vi kjenner trackenes forandring i $STEC$ kan vi ved å finne biasen til en track estimere den absolutte $STEC$ verdien for hele tracken ved å plusse på biasen.



Figur 8.5: Tre tracker som sammen danner tre krysninger

De tre krysningene A, B og C setter følgende begrensninger på systemet

$$VTEC_1^A = VTEC_3^A = VTEC^A \quad (8.10)$$

$$VTEC_1^B = VTEC_2^B = VTEC^B \quad (8.11)$$

$$VTEC_1^C = VTEC_3^C = VTEC^C \quad (8.12)$$

Altså er VTEC verdiene ved kryssningspunktene unike og uavhengig av tracken. På dette stadiet kjenner vi enda ikke VTEC for trackene, men vi kjenner $\Delta STEC$ og forholdet mellom STEC og VTEC. Dermed har vi muligheten til å uttrykke observasjonene som VTEC.

$$VTEC_1^A = STEC_1^A \cos(z_1'^A) = (b_1 + \Delta STEC_1^A) \cos(z_1'^A) \quad (8.13)$$

$$VTEC_3^A = STEC_3^A \cos(z_3'^A) = (b_3 + \Delta STEC_3^A) \cos(z_3'^A) \quad (8.14)$$

$$VTEC_1^B = STEC_1^B \cos(z_1'^B) = (b_1 + \Delta STEC_1^B) \cos(z_1'^B) \quad (8.15)$$

$$VTEC_2^B = STEC_2^B \cos(z_2'^B) = (b_2 + \Delta STEC_2^B) \cos(z_2'^B) \quad (8.16)$$

$$VTEC_2^C = STEC_2^C \cos(z_2'^C) = (b_2 + \Delta STEC_2^C) \cos(z_2'^C) \quad (8.17)$$

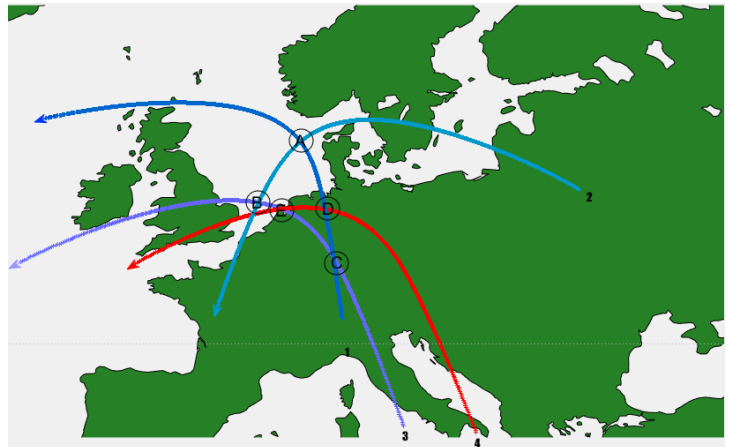
$$VTEC_3^C = STEC_3^C \cos(z_3'^C) = (b_3 + \Delta STEC_3^C) \cos(z_3'^C) \quad (8.18)$$

Ved å sette (8.13-8.18) inn i (8.10-8.12) og representerer dette i matrisform får vi dette systemet med lineære ligninger $Z = AX$

$$\begin{aligned} & \Delta STEC_1^A \cos(z_1'^A) - \Delta STEC_3^A \cos(z_3'^A) \\ & \Delta STEC_1^B \cos(z_1'^B) - \Delta STEC_2^B \cos(z_2'^B) \\ & \Delta STEC_2^C \cos(z_2'^C) - \Delta STEC_3^C \cos(z_3'^C) \\ & -\cos(z_1'^A) \quad 0 \quad \cos(z_3'^A) \quad b_1 \\ = & -\cos(z_1'^B) \quad \cos(z_2'^B) \quad 0 \quad * \quad b_2 \\ & 0 \quad -\cos(z_2'^C) \quad \cos(z_3'^C) \quad b_3 \end{aligned} \quad (8.19)$$

I eksemplet over er det tre observasjoner (kryssninger) og tre ukjente (trackene). Selv om tre observasjoner er nok for å løse ligningssystemet med tre ukjente har vi ingen overbestemmelser.

I tilfelle hvor enda en track blir lagt til (track 4 i rødt på figur 8.6) systemet i eksemplet over som krysser to eller flere av de andre trackene vil vi ha fire ukjente og minst 5 observasjoner. Ved å finne nettverk av tracker som danner flere observasjoner enn ukjente vil vi ha mulighet til å kunne teste utjevningen og ha muligheten til å luke ut eventuelle feil.



Figur 8.6: fire tracker som sammen danner 5 kryssninger

8.3. Oversikt over prosesseringsrutine

Figur 8.7 illustrerer den fullstendige rutinen fra observasjonene er representert i RINEX og IONEX format til de er prosessert og biasene til trackene er estimert.

Programvare utviklet av veileder Ola Øvstedal ble benyttet for å estimere IPP koordinater med tilhørende STEC og zenithvinkel. Input i programmet var RINEX observasjon og navigasjonsfiler samt IONEX fil for samme dag for å beregne mottakers hard ware bias.

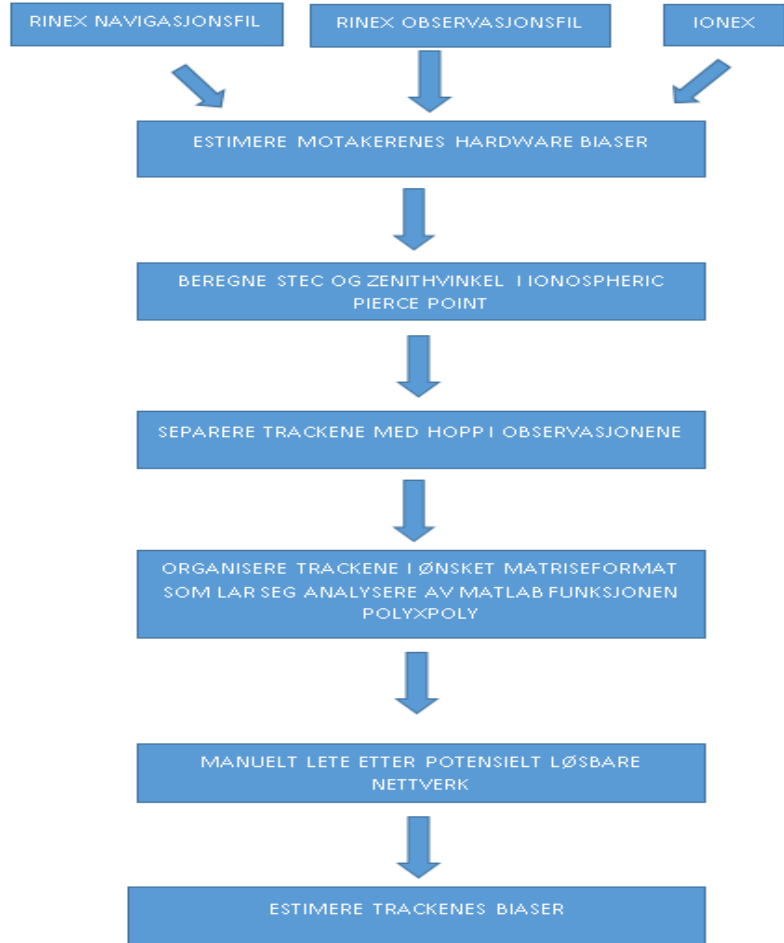
IPP koordinatene ble beregnet med en høyde over bakken på 450 km.

Output filene inneholdt timer ut i dagen for hver observasjon, SV#, en track indikator for å skille mellom tracker, elevasjonsvinkel på bakken hvor mottakerne er plassert, ionosfærisk forsinkelse (slant retning) i meter i IPP, standardavvik på ionosfæreforsinkelsen, IPP koordinater og zenithvinkel i IPP. Et utklipp fra en slik output fil er vist i figur 8.8.

Siden ble trackene først organisert etter mottaker så etter SV# og til slutt etter track nummer som vist i figur 8.9. Alle trakkene ble så plassert rekursivt etter hverandre i én matrise som var lesbar for rutinen som beregner krysningspunkter mellom trackene.

Output filene fra krysningsberegningen inneholder IPP koordinater for krysningsen, informasjon om de to trackene som krysser hverandre, tidspunktet for når hver av trackene ble observert i krysningspunktet og til slutt differansen mellom de to tidspunktene. Et utklipp fra en krysningsberegning er vist i figur 8.10.

På grunn av tidspress mot slutten av oppgaven ble det ikke utviklet noen rutine som søkte etter nettverk i resultatfilen fra krysningsberegningen. Denne jobben ble derfor gjort manuelt.



Figur 8.7: Flytdiagram som viser den fullstendige prosesseringsrutinen.

5.9333	12	1	65.82	1.889	0.013	46875.0	27.464240	69.019064	22.378
5.9333	6	1	34.49	2.147	0.022	47160.0	43.949116	67.653074	50.178
5.9333	32	1	32.89	1.911	0.024	37500.0	14.307481	71.005530	51.549
5.9333	2	1	14.75	4.842	0.019	48540.0	42.563444	60.459841	64.312
5.9375	24	1	34.09	2.587	0.014	44040.0	31.210635	64.869388	50.446
5.9375	25	1	32.01	2.247	0.013	45180.0	15.174028	68.698920	52.227
5.9375	3	1	21.62	2.865	0.038	39615.0	48.044611	77.119413	60.155
5.9375	17	1	29.58	3.094	0.017	48480.0	49.570997	72.145605	54.215
5.9375	19	1	48.08	2.373	0.018	48720.0	41.110318	70.489690	38.549
5.9375	22	1	20.35	3.813	0.041	38550.0	34.176075	78.925863	61.024
5.9375	14	1	31.43	2.606	0.029	37200.0	16.067397	73.913696	52.775
5.9375	12	1	65.91	1.886	0.013	46875.0	27.489771	69.020067	22.296
5.9375	6	1	34.57	2.142	0.022	47160.0	43.932982	67.668392	50.113
5.9375	32	1	32.86	1.913	0.024	37500.0	14.286338	70.993699	51.579
5.9375	2	1	14.85	4.831	0.019	48540.0	42.542106	60.504370	64.256
5.9417	24	1	33.98	2.591	0.014	44040.0	31.218621	64.849899	50.536
5.9417	25	1	32.12	2.241	0.013	45180.0	15.229075	68.707387	52.136
5.9417	3	1	21.65	2.867	0.038	39615.0	47.964223	77.122287	60.132
5.9417	17	1	29.48	3.098	0.017	48480.0	49.639330	72.152183	54.294
5.9417	19	1	47.99	2.375	0.018	48720.0	41.139174	70.496307	38.624
5.9417	22	1	20.34	3.829	0.041	38550.0	34.098534	78.931572	61.032
5.9417	14	1	31.46	2.603	0.029	37200.0	16.063329	73.900637	52.751

Figur 8.8: Utklipp av output filen fra veileder Ola Øvstedals program for Estimering av IPP koordinater og ionosfærisk forsinkelse. Filen inneholder tid for observasjon, SV# tracknummer, elevasjonsvinkel ved mottaker, slant ionosfæreforsinkelse i meter, standardavvik på ionosfæreforsinkelsen, IPP koordinater og zenithvinkel i IPP. Filen tilhører stasjon VARA.

3.3375	1	1	10.0300	2.3660	0.0590	37995	33.5643	68.5664	66.7640	1
3.3417	1	1	10.0700	2.3710	0.0590	37995	33.4753	68.5717	66.7470	1
3.3458	1	1	10.1100	2.3580	0.0590	37995	33.3866	68.5769	66.7300	1
3.3500	1	1	10.1500	2.3530	0.0590	37995	33.2984	68.5821	66.7130	1
3.3542	1	1	10.1900	2.3670	0.0590	37995	33.2106	68.5873	66.6960	1
3.3583	1	1	10.2400	2.3620	0.0590	37995	33.1232	68.5925	66.6790	1
3.3625	1	1	10.2800	2.3560	0.0590	37995	33.0362	68.5977	66.6620	1
3.3667	1	1	10.3200	2.3520	0.0590	37995	32.9496	68.6029	66.6450	1

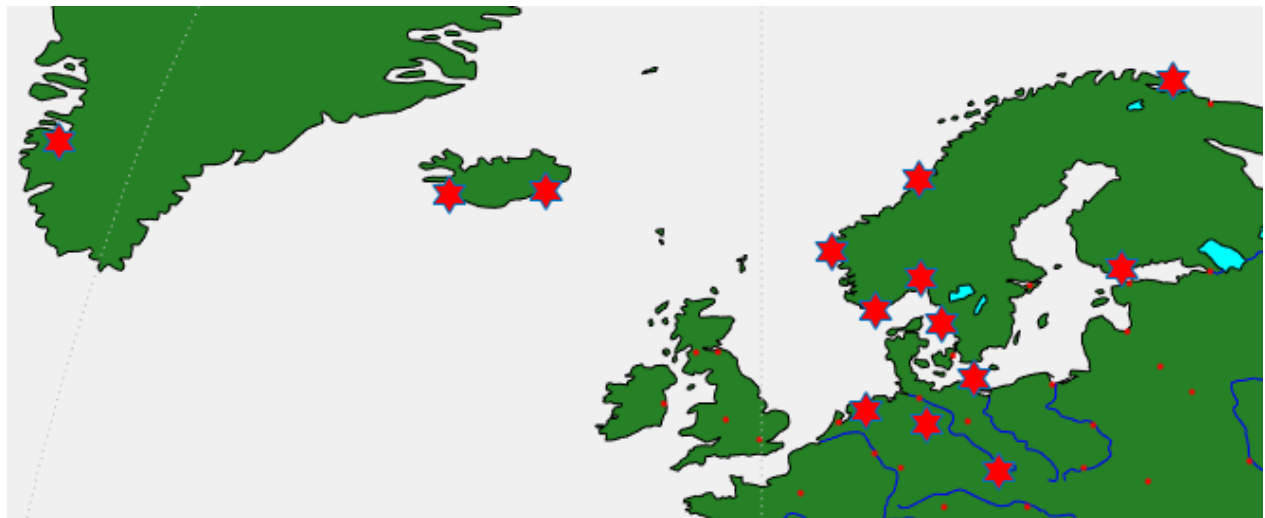
Figur 8.9: Her er informasjonen vist i figur 8.8 organisert etter mottaker (kolonne helt til høyre), SV# (kolonne to) og tracknummer (kolonne tre).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	52.4729	3.4671	7	1	1	16.4250	7	2	2	21.7000	5.2750
2	52.2698	9.7440	7	1	1	16.6750	7	3	1	18.1417	1.4667
3	42.1358	16.8812	7	1	1	19.5667	7	5	2	8.9250	10.6417
4	52.7406	6.3750	7	1	1	15.6917	7	5	3	23.3167	7.6250
5	41.7496	17.0349	7	1	1	19.6000	7	6	1	5.3333	14.2667
6	52.7322	5.9778	7	1	1	15.8417	7	6	2	20.0833	4.2416
7	51.1261	11.8255	7	1	1	14.4083	7	7	3	22.4333	8.0250
8	48.2170	14.0854	7	1	1	18.6583	7	7	3	21.3083	2.6500
9	43.7748	16.2061	7	1	1	19.4083	7	8	1	1.5250	17.8833
10	52.6967	7.5832	7	1	1	15.4583	7	8	2	13.9583	1.5000

Figur 8.10: Utklipp fra en resultatfil etter en krysningsberegning. De to første kolonnene inneholder koordinatene for krysningspunktet. Kolonne 3-10 er informasjon vedrørende trackene som sanner krysningspunktet. Kolonne 3 og 7 er stasjonsnummer, kolonne 4 og 8 er SV#, kolonne 5 og 9 er track nummer og kolonne 6 og 10 er tidspunktet for når de to trackene ble observert i krysningspunktet. Kolonne 11 er tidsdifferansen mellom de to aktuelle trackene i krysningspunktet.

8.4. Krav til distribusjon av stasjoner og geometri

Kravene til mottakernetverket for at metoden skal være anvendbar var apriori oppgaven ukjent, men som nevnt i Smith et al. (2002) vil et stort nettverk av mottakere spredt for å dekke en større del av ionosfæren være ideelt for at metoden skal fungere optimalt. Det ble totalt gjort tre forsøk hvor vi på hvert forsøk utvidet mottakernetverket. I figur 8.11 er plasseringen til alle mottakerne benyttet i denne oppgaven vist.

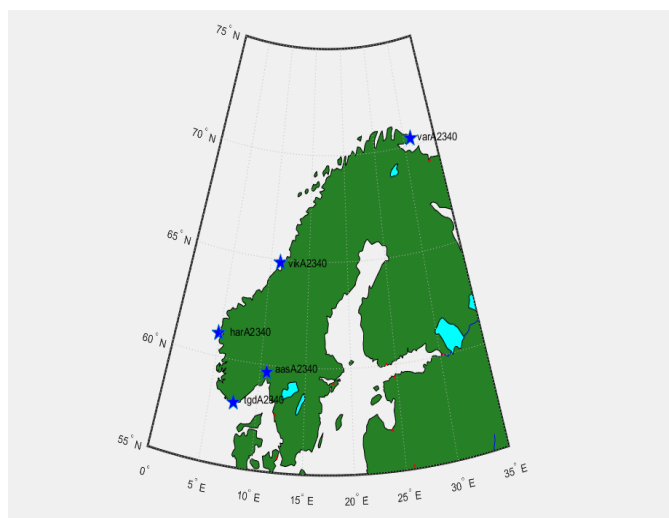


Figur 8.11: Distribusjon av de totalt 14 stasjonene som ble benyttet for å teste ICON

Tabell 8.2: Oversikt over stasjoner og tilhørende breddegrad, lengdegrad og høyde

Stasjon	Breddegrad	Lengdegrad	Høyde i meter
AASA	59.660	10.781	133.462
HARA	61.075	4.839	77.904
TGDA	58.006	7.554	45.812
VIKA	64.863	11.242	59.075
VARA	70.336	31.031	174.860
PTBB	52.296	10.460	130.227
SASS	54.513	13.643	68.219
WSRT	52.914	6.604	85.774
GOPE	49.913	14.785	592.601
HOFN	64.267	-15.197	82.283
METS	60.217	24.395	94.567
KELY	66.987	-50.944	229.806
REYK	64.138	-21.955	93.084
ONSA	57.395	11.925	45.531

Til å starte med ble det valgt ut fem stasjoner fra det norske CPOS-nettet distribuert for å optimalisere geometrien i nettet (se figur 8.12). Etter å ha funnet IPP trackene for alle stasjonene og prosessert resultatet for å finne tracker som krysset hverandre ble det raskt oppdaget hvor snevert utvalg av disse krysningene som oppfylte selv et krav på over fem minutters tidsdifferanse. Figur 8.13 illustrerer alle krysningene konstruert av alle trackene formet av



Figur 8.12: Viser plasseringen av stasjonene AASA, HARA, TGDA, VARA og VIKA



Figur 8.13: Alle krysningene dannet av IPP trackene til stasjonene AAS, VIK, VAR, TGD og HAR.

stasjonene AAS, VIK, VAR, HAR og TGD. Kravet til tidsdifferansen er her satt til 60 sekunder og resulterte i ca. 30 krysninger. Med så få krysninger ble det ikke observert nettverk med flere enn to tracker (ikke løsbare nettverk).

For å øke antall krysninger trengs flere tracker. Det ble derfor tatt inn tre nye stasjoner fra IGS-nettverket. Disse var PTBB, SASS og WSRT. Figur 8.14 og tabell 8.2 viser beliggenheten til de nye stasjonene. Bakgrunnen for å velge disse stasjonene var å bygge på de tette opphopningene av krysninger over Sverige og sørlandskysten av Norge som vist på figur 8.13.

Ved å ta inn de tre IGS-stasjonene økte antall krysninger til 73 med en tidsdifferanse på 60 sekunder. Ved å øke tidsdifferansen til 350 sekunder ble det observert ca. 200 krysninger (se figur 8.15). Det ble oppdaget flere små nettverk, men heller ikke her ble det tilbudt nok informasjon til å løse for trackenes biaser.

Fraværet av løsbare nettverk kan være at geometrien i mottakernettet er for svakt. Alle stasjonene som er benyttet så langt dekker et stort område i breddegrad, men ikke i lengdegrad. Det vil derfor videre bli satt fokus på enda større spredning i lengdegrad.

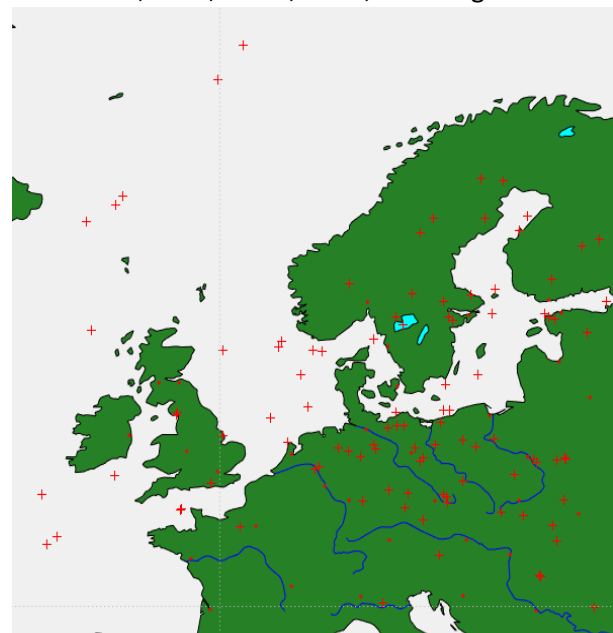
I tredje og siste forsøket ble det tatt inn enda 6 nye IGS stasjoner: REYK, ONSA, KELY, HOFN, METS og GOPE (se figure 8.11). Det ble på samme måte som for de andre forsøkene først iverksatt søk etter krysninger med en tidsdifferanse på maksimalt 60 sekunder. Søket resulterte i 120 krysninger, men ingen løsbare nett. Ved å øke tidsdifferansen til fem minutter også her resulterte det i 401 krysninger og ett nett med tracker som ga overbestemmelse.

Det eneste løsbare nettet med overbestemmelse besto av 12 tracker med 14 krysninger. Tidsdifferansene mellom krysningene varierte fra 30 sekunder til nesten fem minutter (284 sekunder). Informasjonen angående hver krysning er å finne i tabell 8.3.

I Tabell 8.3 inneholder hver rad informasjon om hver krysning. I kolonne 1 og 7 er stasjonsnavn, kolonne 2 og 6 er SV# på satellittene som dannet krysningen. Etersom tiden går mister stasjoner sikt til satellittene når de går under horisonten og oppretter på nytt kontakt når de dukker opp igjen. Når dette skjer vil det skape et hopp i observasjonene som følge av en umonitort forflytning av satellitten. Dette er årsaken til indekseringen i kolonne 3 og 9, hvor 1 betyr at det er første gang (i målekampanjen) at stasjonen observerer satellitten, 2 er andre gangen og 3 er tredje gangen. Kolonne 4 og 10 er tiden for hver av trackene når de passerte krysningspunktet. Tilslutt i kolonne 9 er tidsdifferansen mellom de to

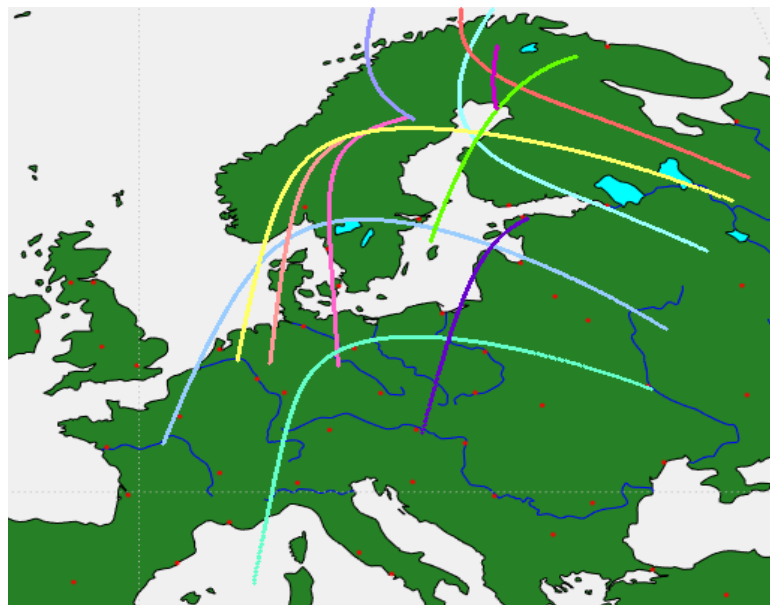


Figur 8.14: Oversikt over stasjonene HARA, TGDA, AASA, VIKA, VARA, PTBB, WSRT og SASS



Figur 8.15: Alle krysningene dannet av IPP trackene til stasjonene AAS, VIK, VAR, TGD, HAR, WSRT, PTBB og SASS

tidspunktene. Tiden i tabellen er gitt i timer ut i dagen fra 00:00:00 21. august 2016. Det er i tillegg lagt til fire kolonner $\Delta STEC_1$, $\Delta STEC_2$ som er forskjellen mellom to påfølgende *STEC* observasjoner, z'_1 og z'_2 som er zenith vinkelen i IPP for *STEC* observasjonene. Det er også disse fire parameterne vi er avhengig av får å kunne bygge observasjonsvektoren og designmatrisen i en minste kvadraters utjevning. *STEC*-verdiene er estimert med metoden «Levelling carrier to code» beskrevet i kapittel 7.2. Dette er også en forskjell fra metodens opphav hvor det bare er benyttet faseobservasjoner for å estimere relative *STEC*-verdiene. Ved å anvende «Levelling carrier to code» observasjoner av *STEC* skapes en indirekte kvalitetssjekk på metoden. Om metoden fungerer på dette nettet vil vi få estimater på biasene som er null eller svært nær null siden en kan tenke på *STEC*-verdiene som frie for biaser (fasens tvetydighet er kjent).



Figur 8.16: Nettverk med 12 tracker som sammen danner 14 krysninger. Bare krysninger som har en tidsdifferanse på maksimalt fem minutter er tatt med i utjevningen.

Tabell 8.3: i tillegg tid kolonnene vi kjenner fra tabell 8.3 er det her også tatt med *STEC* og zenith vinkel for observasjonene. Tabell 2

sta_1	sv_1	tr_1	tid_1	$\Delta STEC_1$	z'_1	sta_2	sv_2	tr_2	tid_2	$\Delta STEC_2$	z'_2	Δt
ONSA	26	3	21,8583	3,123	63,590	PTBB	23	1	21,9000	1,551	51,829	0,04170
ONSA	26	3	22,1500	3,500	65,500	VIKA	16	2	22,0750	1,544	53,984	0,07500
ONSA	26	3	22,1583	3,516	65,557	VIKA	16	2	22,1000	1,539	53,923	0,0583
ONSA	26	3	21,8583	3,123	63,590	VIKA	23	2	21,9208	1,257	50,804	0,0625
METS	30	3	21,8500	0,910	42,736	PTBB	23	1	21,8167	1,505	50,157	0,0333
METS	30	3	23,0750	1,061	65,946	AASA	9	2	23,1500	1,059	54,456	0,0750
VARA	29	3	21,4750	3,202	66,488	PTBB	23	1	21,4500	1,350	42,342	0,0250
VARA	29	3	21,4750	3	58,896	VIKA	23	2	21,5292	1,208	42,038	0,0542

VARA	30	3	22,2667	2,729	58,946	VIKA	23	2	22,3167	1,446	58,77	0,0500
VARA	30	3	22,3333	2,614	57,657	AASA	16	2	22,2542	0,806	56,866	0,0791
VARA	30	3	22,4667	2,346	54,948	AASA	16	2	22,4750	0,928	57,664	0,0083
AASA	9	2	21,3958	0,584	13,295	VIKA	7	3	21,4583	2,138	51,544	0,0625
AASA	9	2	22,2625	0,461	34,399	VIKA	30	3	22,3042	1,733	51,578	0,0417
PTBB	23	1	22,0917	1,145	31,046	HARA	16	2	22,0333	1,482	54,110	0,0584

Dt kolonnen inneholder viktig informasjon med tanke på hvor godt biasene kan bli bestemt. Elektrontettheten kan bli svært variabel over tid og i grove trekk øker og synker den ettersom jorda roterer og blottlegger atmosfæren for sola. Om tidsdifferansen mellom trackene er store vil de to trackene kunne oppleve svært forskjellige forhold i ionosfæren.

9. Utjevning og resultat

Observasjonene (\mathbf{z}) er formet etter ligning 8.19 hvor hvert element er forskjellen $\Delta STEC_1 \cos(z'_1) - \Delta STEC_2 \cos(z'_2)$ sammen med A-matrisen (design matrisen) som vist under. Dette er identisk med framgangsmåten i Smith et al. (2002).

$$\Delta STEC_1 \cos(z'_1) - \Delta STEC_2 \cos(z'_2) = \begin{bmatrix} 2.2563 \\ -1.8209 \\ -1.8768 \\ 1.1885 \\ -1.2060 \\ -0.5326 \\ -2.6936 \\ -1.6616 \\ -1.1317 \\ 0.4004 \\ -0.4782 \\ -0.1803 \\ -0.8978 \\ 2.1982 \end{bmatrix}$$

Elementene i designmatrisen er $\cos(z')$ til STEC observasjonene.

-0,726	0	0	0	0	0,0072	0	0	0	0	0	0	0
0,890	0	0	0	0	0	-0,838	0	0	0	0	0	0
0,914	0	0	0	0	0	-0,869	0	0	0	0	0	0
-0,726	0	0	0	0	0	0	0,858	0	0	0	0	0
0	-0,318	0	0	0	0,994	0	0	0	0	0	0	0
0	0,999	0	0	-0,498	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,870	0	0	-0,069	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,700	0	0	0	0	-0,364	0	0	0	0	0
0	0	0	0,735	0	0	0	-0,605	0	0	0	0	0
0	0	0	-0,446	0	0	0	0	0,950	0	0	0	0
0	0	0	0,029	0	0	0	0	0,439	0	0	0	0
0	0	0	0	-0,746	0	0	0	0	0,288	0	0	0
0	0	0	0	0,987	0	0	0	0	0	0,255	0	0
0	0	0	0	0	-0,932	0	0	0	0	0	0	-0,762

Vi har nå observasjoner $\Delta STEC_1 \cos(z'_1) - \Delta STEC_2 \cos(z'_2)$ og en designmatrise på formen vist i ligning 8.19 og skriver den her på nytt (ligning 8.20) får å gi en bedre oversikt.

$$\mathbf{z} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{v} \quad (8.20)$$

Hvor \mathbf{z} og \mathbf{A} som nevnt er observasjonene og designmatrisen, \mathbf{x} er biasene som forhindrer ett estimat på den absolutte *STEC* verdien i hver krysning.

Ved å multiplisere begge sider av ligning 8.28 med \mathbf{A}^T får vi følgende

$$A^T z = A^T A x + A^T v \quad (8.21)$$

Restfeilene i vektoren v er antatt å være ortogonale på planet dannet av elementene i designmatrisen ($v \perp A$) dermed vil $A^T v = 0$.

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T z \quad (8.22)$$

Som påført på vårt system gir estimatene i enhet meter

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} -3.112 & tr14263 \\ 6.290 & tr09303 \\ -3.028 & tr05293 \\ -2.594 & tr05303 \\ 13.681 & tr01092 \\ 0.804 & tr07231 \\ -1.123 & tr04162 \\ -1.260 & tr04232 \\ -0.816 & tr01162 \\ 34.801 & tr04073 \\ -56.410 & tr04303 \\ -3.864 & tr02162 \end{bmatrix} [m]$$

I høyre kolonne er de korresponderende trackene til biasene for ordens skyld tatt med.

Med en gang er det tre av estimatene som skiller seg ut med ganske høye estimater. Husk at estimatene skal ideelt være null. De høye estimatene tilhører trackene tr01092, tr04073 og tr04303. Under er et utklipp fra tabell 8.4 som bare viser bakgrunnen til de tre mistenkelige estimatene. Track tr01092 er markert i gul, tr04073 markert i grønn og tr04303 i blå. Den siste observasjonen som er vist i utsnittet er track tr09303 som er det fjerde dårligste estimatet og som også de andre er bestemt etter. Dette kan også være årsaken til at de trackene som har tilknytning til denne observasjonen blir dårligere og dårligere bestemt.

Tabell 8.5: Utklipp fra tabell 8.4 som viser de fire dårligste estimatene fra utjevningen og sammenhengen mellom dem

sta_1	sv_1	tr_1	tid_1	$\Delta STEC_1$	z'_1	sta_2	sv_2	tr_2	tid_2	$\Delta STEC_2$	z'_2	Δt
METS	30	3	23,0750	1,061	65,946	AASA	9	2	23,1500	1,059	54,456	0,0750
AASA	9	2	21,3958	0,584	13,295	VIKA	7	3	21,4583	2,138	51,544	0,0625
AASA	9	2	22,2625	0,461	34,399	VIKA	30	3	22,3042	1,733	51,578	0,0417

Om det er en sammenheng mellom de dårlig bestemte biasene vil det også kunne synes i korrelasjonsfaktorene mellom parameterne som er estimert.

$$\rho_{kor} = \frac{Q(i, j)}{\sqrt{Q(i, i)Q(j, j)}} \quad (8.23)$$

Hvor ρ_{kor} er korrelasjonen mellom variablene, Q er kofaktormatrisen til de estimerte parameterne.

1	0,443	0,473	0,514	0,443	0,443	0,879	0,734	0,299	0,443	-0,443	-0,443
0,443	1	0,839	0,357	0,999	0,999	0,389	0,510	0,208	0,999	-0,999	-0,998
0,473	0,839	1	0,402	0,839	0,840	0,416	0,575	0,234	0,839	-0,839	-0,839
0,514	0,357	0,402	1	0,357	0,357	0,451	0,699	0,582	0,357	-0,357	-0,357
0,443	0,999	0,839	0,357	1	0,999	0,389	0,510	0,208	0,999	-0,999	-0,998
0,443	0,999	0,840	0,357	0,999	1	0,390	0,511	0,208	0,999	-0,999	-0,999
0,879	0,389	0,416	0,451	0,389	0,390	1	0,646	0,263	0,389	-0,389	-0,389
0,734	0,510	0,575	0,699	0,510	0,511	0,646	1	0,407	0,510	-0,510	-0,510
0,299	0,208	0,234	0,582	0,208	0,208	0,263	0,407	1	0,208	-0,208	-0,208
0,443	0,999	0,839	0,357	0,999	0,999	0,389	0,510	0,208	1	-0,999	-0,998
-0,443	-0,999	-0,839	-0,357	-0,999	-0,999	-0,389	-0,510	-0,208	-0,999	1	0,998
-0,443	-0,998	-0,839	-0,357	-0,998	-0,999	-0,389	-0,510	-0,208	-0,998	0,998	1

Her ser vi en sterk korrelasjon mellom estimatet av biasen til tr09303 som er i kolonne nummer to i korrelasjonsmatrisen over og de andre veldig høye estimatene på biasene til tr01092 (kolonne5), tr04073 (kolonne 10) og tr04303 (kolonne 11). Her kan vi også se at estimatene til tr09303, tr01092, tr04073 og tr04303 er sterkt korrelert med tr07231 (kolonne 6) og tr02162 (kolonne 12). Det kan bety at også estimatene på biasen til disse trackene er dårlig bestemt.

Estimatet til biasene \hat{X} er benyttet til å estimere residualene (restfeilen)

$$v = A\hat{x} \quad (8.24)$$

innsatt designmatrise og estimatet i ligning 8.24 gir

$$v = \begin{bmatrix} -0.0098 \\ 0.0077 \\ -0.0074 \\ 0.0099 \\ -3.5083 * 10^{-14} \\ -8.8773 * 10^{-13} \\ -0.0010 \\ 0.0012 \\ 0.0133 \\ 0.0192 \\ -0.0414 \\ -4.1516 * 10^{-12} \\ -4.6893 * 10^{-12} \\ 7.0610 * 10^{-14} \end{bmatrix} [m]$$

som videre er benyttet til å estimere aposteriorisk standardavvik.

$$\sigma = \sqrt{\frac{v^T v}{n - e}} \quad (8.25)$$

Hvor σ er estimert aposteriorisk standardavvik \mathbf{v} er restfeilen til de estimerte biasene, \mathbf{n} er antall observasjoner og \mathbf{e} er antall ukjente som skal estimeres. Antall observasjoner er her 14 og antall ukjente er 12.

$$\sigma = 0.0359$$

Standardavviket til de estimerte parameterne finner vi ved å multiplisere σ med kvadratroten av kofaktormatrisens diagonal elementer $Q(i, i)$.

$$\sigma_{bias} = \sigma \sqrt{Q(i, i)} \quad (8.26)$$

Som gir

$$\sigma_{bias} = 0.0359 * \begin{bmatrix} 1.4460 \\ 82.7938 \\ 1.7382 \\ 1.8258 \\ 166.0343 \\ 26.5345 \\ 1.7375 \\ 1.6829 \\ 1.1749 \\ 429.9379 \\ 641.9142 \\ 32.4524 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0519 \\ 2.9742 \\ 0.0624 \\ 0.0655 \\ 5.9645 \\ 0.9532 \\ 0.0624 \\ 0.0604 \\ 0.0422 \\ 15.4448 \\ 23.0597 \\ 1.1658 \end{bmatrix} [m]$$

Her er det allerede tatt kvadratroten av diagonalleddet til $Q(i, i)$ så det er ingen kvadrattot i ligningen over. Det viser seg som forventet at tr09303, tr01092, tr04073 og tr04303 har høye standardavvik. De to trackene tr07231 og tr02162 har også uønsket høye standardavvik.

Før sammenligningen med andre modeller blir alle tracker som har urimelig høye verdier (og som er sterkt korrelert med hverandre) utelatt. IGTEC har en har en nøyaktighet på 2-8 TECU (0.32-1.28 m på GPS L1) (Smith et al. 2002). Det blir dermed valgt å utelate alle estimerte biaser som har standardavvik $\sigma_{bias} < 0.5 m$. Dette gjelder tr09303, tr01092, tr04073, tr04303, tr07231 og tr02162.

Estimatene blir sammenlignet med IGTEC, Klobuchar modellen og ionosfæreforsinkelse estimert med Leveling Carrier to Code (LCC) metoden som beskrevet i kapittel 7. Både IGTEC og Klobuchar estimatene ble estimert som forsinkelse i vertikal retning og ikke i slant retning slik som estimatene fra utjevningen. Estimatene konverteres derfor ved å multiplisere estimatene med tilhørende $\cos(z')$.

Sammenligningen blir utført ved å estimere Root Mean Square avviket (RMSE) mellom de estimerte forsinkelsene med ICON metoden og de observerte forsinkelsene fra IGTEC, Klobuchar modellen og LCC.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \hat{X}_i)^2}{n}} \quad (8.27)$$

Hvor X_{obs} er observerte vertikale ionosfæreforsinkelse, \hat{X} er de ICON estimerte vertikale ionosfæreforsinkelsene. Observerte

Tabell 8.7: Tabellen viser RMSE mellom de estimerte VTEC (konvertert til meter) verdiene med de observerte fra IGTEC, Klobuchar modellen og leveling carrier to code (LCC) metoden.

RMS	IGTEC	KM	LCC
Estimert	0.9122 m	1.4538 m	1.1252 m

10. Diskusjon

Etter å ha tatt i bruk 14 mottakere distribuert som vist i figur 8.11 ble det observert nettverk som ga grunnlag for å kunne utføre en utjevning av systemet og finne biasene til hver track. En interessant observasjon er at krysningene alle ligger under en tidsdifferanse på fem minutter. Som vist på figur 10.1 kan TEC variere med 0.33-1.8 TECU per minutt.

16	8	21	10	58	30.0000000	0	10G05G20G07G21G16G26G27G31G18G29				
10.9750	5	19.13	35.28				3.323		3.735		3.760
10.9750	20	36.96	92.07				2.320		2.695		2.223
10.9750	21	69.03	139.77				1.574		1.899		2.010
16	8	21	10	59	30.0000000	0	11G05G20G07G21G16G26G27G31G18G09G29				
10.9917	5	18.89	34.95				3.341		3.752		4.541
10.9917	20	37.09	91.53				2.314		2.683		2.175
10.9917	21	69.16	138.59				1.573		1.894		2.299

Figur 10.1: Utklippet viser tre satellitter observert fra stasjon AASA. Fra tabellen kan en se variasjonen i TEC over ett minutt. TEC er å finne i kolonne fire.

ICON er utviklet for å beregne biaser til tracker med relative STEC verdier (målt bare med faseobservasjoner) som forhindrer en absolutt bestemmelse av trackens absolute STEC. I denne oppgaven er de relative STEC-verdiene erstattet med absolute STEC verdier. Det vil si at estimerer på biasene til trackene ideelt skulle være null eller nær null. Det ble imidlertid oppdaget mistenkelig store estimerer for seks av biasene til trackene som var med i utjevningen. Alle hadde tilknytning til hverandre. Dette kan være fordi en av trackene i subnettlet var dårlig bestemt.

I utjevningen var det gjennomgående store zenithvinkler. Om z' er stor kan det føre til at mappingen av $STEC_1$ over til $STEC_2$ blir tvilsom noe som vil gi utslag i de estimerte biasene (nasa.gov). En løsning vill være å la stasjonene stå nærmere hverandre, men på grunn av lang prosesseringstid ville det i denne oppgaven sterkt redusert geometrien til systemet.

Den matematiske modellen i en minste kvadraters utjevning vil ikke kunne redegjøre for biaser og uteliggere som er kommet med i utjevningen (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Disse vil svekke modellen og kunne forfalske estimatene på parameterne og de statistiske verdiene (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Altså vil ikke en liten residualvektor nødvendigvis bety at systemet ikke inneholder uteliggere, noe som mistenkes for track tr09303. Alle urimelige estimerer ble ekskludert ved å sette en grense på standardavviket til de estimerte biasene til 0.5 m før resultatet ble sammenlignet med IGTEC, Klobuchar modellen og ionosfæreforsinkelse estimert med kombinert fase og kodeobservasjoner.

I Smith et al. (2002) dokumenteres det at ICON kan estimere dobbeldifferanse forsinkelse med en nøyaktighet på 0.1 ± 0.01 TECU sammenlignet med programvare for estimering av faseflertydigheten. Sammenligninger med IGTEC gjort i samme studie viser til en forskjell på ± 3 TECU med ICON. På L1 vil dette korrespondere til en forskjell på $\pm 0,48$ m mellom de to estimatene.

Sammenligningen mellom estimatene fra denne oppgaven og IGTEC viste til en RMSE på 0.9122 m (5-6 TECU på GPS L1). Satt opp mot samme sammenligning gjort i Smith et.al (2002) som viste til RMSE på 4-5 TECU er estimatene presentert i denne oppgaven bare noe dårligere bestemt.

I Smith et al. (2002) blir det gjort en sensitivitetsanalyse på fem forskjellige måter å definere en kryssning på.

TABELL 11.1: TABELLEN VISER KRAVENE TIL DE FEM KRYSSNINGSTYPENE TESTET I SMITH ET AL. (2002)

Kryssningstype	Maksimal $\Delta\Phi$	Maksimal $\Delta\lambda$	Maksimal Δt
1	0.1°	0.1°	60 s
2	0.2°	0.2°	300 s
3	0.05°	0.05°	30 s
4	0.15°	0.15°	150 s
5	0.01°	0.01°	10 s

I tester gjort i Smith et al. (2002) var det selv ikke med 400 CORS stasjoner med sikt til nesten 30 stasjoner ikke nok kryssninger til å kunne utjevne nettverk av kryssningstype 5 alle med en høyde på 300 km. Resultatene fra sensitivitetsanalysen på de fire resterende kryssningstypene er gitt i TECU i tabell 11.2.

TABELL 11.2: TABELLEN VISER RESULTATENE FRA EN SENSITIVITETSANALYSE PÅ STEC ESTIMATENE FOR DE FIRE FØRSTE KRYSSNINGSTYPENE I TABELL 11.1 OVER (Smith et al. 2002).

Antall STEC observasjoner	Ave	STD	RMS	Min	Maks
8,233,223	1.26	1.87	2.25	0.00	26.73

Dette viser at ICON er sensitiv på 1-2 TECU for hvordan en kryssning er definert. I Smith et al. (2002) ble kryssningstype 1 benyttet som standard.

For å bestemme kryssningene i denne oppgaven mellom trackene ble en allerede eksisterende funksjon i Matlab (polyxpoly) modifisert til å håndtere datasettet. Denne funksjonen tar inn to sett med koordinater som hver for seg danner en form for kontinuerlig linje og ser om de to linjene krysser hverandre. Ulempen ved å benytte denne funksjonen på det aktuelle datasettet er at datasettet inneholder observasjoner med 15 sekunders mellomrom. Funksjonen vil dermed interpolere mellom hver observasjon for å få en kontinuerlig linje. En vil dermed sjeldent eller aldri finne kryssninger med koordinater som faktisk finnes i datasettet. Løsningen på dette problemet var å lete etter de koordinatene i datasettet som best passet til koordinatene i det estimerte kryssningspunktet. I virkeligheten er det altså benyttet tilnærmede koordinater (bredde og lengdegrader med et avvik $\Delta\Phi$ og $\Delta\lambda$ fra det virkelige kryssningspunktet). Det er ikke blitt utført tester på dette avviket, men en utdannet gjetning vil være at avviket i $\Delta\Phi$ og $\Delta\lambda$ fra det virkelige kryssningspunktet kan komme opp i en halv grad i begge komponentene.

Dette kan være årsaken til at VTEC estimert i denne oppgaven sammenlignet med IGTEC er 1-2 TECU dårligere enn det vises til i Smith et al. (2002).

Det største problemet med rutinen som ble laget for å finne kryssninger var tiden rutinen brukte på å lete gjennom hele datasettet. Under er et utklipp som viser hvordan informasjon vedrørende hver tracker er organisert. Den inneholder kolonnevektorer med lengde og breddegrad, tiden ved observasjon, ionosfæreforsinkelsen i meter og tilhørende standardavvik, stasjonsnummer, satellittnummer og tracknummer. Rutinen sammenligner først track 1 som vil se ut som i utklippet under med track 2, så med track 3 og så videre inntil den har sammenlignet med alle n trackene. Rutinen starter så på nytt, men nå sammenligner track 2 med alle de andre trackene. Dette gjør den frem til track n har blitt sammenlignet med alle foregående tracker.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3.3375	1	1	10.0300	2.3660	0.0590	37995	33.5643	68.5664	66.7640	1
2	3.3417	1	1	10.0700	2.3710	0.0590	37995	33.4753	68.5717	66.7470	1
3	3.3458	1	1	10.1100	2.3580	0.0590	37995	33.3866	68.5769	66.7300	1
4	3.3500	1	1	10.1500	2.3530	0.0590	37995	33.2984	68.5821	66.7130	1
5	3.3542	1	1	10.1900	2.3670	0.0590	37995	33.2106	68.5873	66.6960	1
6	3.3583	1	1	10.2400	2.3620	0.0590	37995	33.1232	68.5925	66.6790	1
7	3.3625	1	1	10.2800	2.3560	0.0590	37995	33.0362	68.5977	66.6620	1
8	3.3667	1	1	10.3200	2.3520	0.0590	37995	32.9496	68.6029	66.6450	1
9	3.3708	1	1	10.3600	2.3640	0.0590	37995	32.8633	68.6081	66.6280	1
10	3.3750	1	1	10.4000	2.3630	0.0590	37995	32.7775	68.6132	66.6120	1
11	3.3792	1	1	10.4400	2.3540	0.0590	37995	32.6920	68.6184	66.5950	1
12	3.3833	1	1	10.4800	2.3670	0.0590	37995	32.6069	68.6236	66.5780	1
13	3.3875	1	1	10.5200	2.3580	0.0590	37995	32.5222	68.6287	66.5610	1
14	3.3917	1	1	10.5600	2.3740	0.0590	37995	32.4379	68.6339	66.5450	1
15	3.3958	1	1	10.6000	2.3650	0.0590	37995	32.3539	68.6391	66.5280	1
16	3.4000	1	1	10.6400	2.3530	0.0590	37995	32.2703	68.6442	66.5120	1
17	3.4042	1	1	10.6800	2.3620	0.0590	37995	32.1871	68.6494	66.4950	1
18	3.4083	1	1	10.7100	2.3470	0.0590	37995	32.1043	68.6546	66.4790	1
19	3.4125	1	1	10.7500	2.3610	0.0590	37995	32.0218	68.6597	66.4620	1
20	3.4167	1	1	10.7900	2.3540	0.0590	37995	31.9397	68.6649	66.4460	1

Figur 9.2: Utklippet fra en fil med IPP track informasjon. Fra venstre kolonne, timer ut i dagen, satellittnummer, tracknummer, kolonne fire er ikke benyttet. Videre er kolonne 5 ionosfærisk forsinkelse i enhet meter, neste er standardavvik på ionosfæreforsinkelsen. Koordinatene til tracken er gitt i kolonne 8 og 9. Kolonne 10 er zenith vinkel i IPP. Tilslutt er stasjonsnummer i kolonne 11.

For hver mottaker som legges til i systemet vil det øke matrisen med inntil 31 satellitter. For hver gang mottakeren mister kontakt med en gitt satellitt vil det opprettes en ny kolonne i matrisen for neste gang mottakeren ser satellitten. Gitt at det ikke har oppstått noen fasebrudd vil en mottaker miste og opprette kontakt med en satellitt maksimalt tre ganger i løpet av ett døgn. For hver mottaker som legges til i systemet vil den øke matrisen som skal undersøkes av polyxpoly med opp til 93 kolonner med tracker. Matrisen med tracker vokser dermed svært raskt. Tidsbegrensningen har vært den største hindringen for å teste metoden. Programmet brukte opp mot 16 timer bare for å sammenligne trackene fra en mottaker med de resterende mottakerne i matrisen. Når matrisen inneholder alle mottakerne tok denne prosessen ca. én uke. Feil under prosessering og forandring av inputfilenes struktur for senere bearbeiding har ført til at bare det å opprette resultater har vært en tidkrevende prosess.

Det ville vært ønskelig å teste metoden på et enda større nettverk av mottakere. Det ble imidlertid alt for tidkrevende og ettersom oppgaven har en fastsatt tidsfrist var en ferdigstilt prosessering av et større nettverk uoppnåelig. Samme argument trekkes også for valget av å fortsette å bruke Matlab rutinen selv etter oppdagelsen av hvor tidkrevende rutinen var. Det ville også ta tid å finne en ny

metode eller programvare for å erstatte Matlab rutinen og filstrukturene som var opparbeidet for datasettet var spesifisert for å passe akkurat denne rutinen.

11. Oppsummering og konklusjon

Gjennom oppgaven har ionosfærens innvirkning på posisjonsbestemmelse blitt gjennomgått. Hva som forårsaker forsinkelsen og formelverk for å modellere eller redusere den er utledet. Som formulert innledningsvis har målet ved oppgaven vært å teste en utradisjonell metode for å estimere *STEC*. Metoden baserer seg opprinnelig bare på faseobservasjoner og muligheten til å danne nettverk av tracker som er observasjoner av $\Delta STEC$ -verdier mellom mottakere og satellitter. I denne oppgaven er det gjort noen forandringer for å teste metoden. Det ble ikke benyttet $\Delta STEC$ -verdiene estimert med faseobservasjoner alene, men også ved anvendelse av kodeobservasjoner. Fase-kode kombinasjonen er i oppgaven omtalt som «Levelling carrier to code». Dermed er det i denne oppgaven benyttet «absolutte» (heltallsflertydigheten til fasen er ikke ukjent) $\Delta STEC$ -verdier og ikke relative som det blir i Smith et al. (2002) hvor inspirasjon og modellen er hentet fra. Ved å anvende kjente $\Delta STEC$ -verdier blir modellen indirekte testet mot godt bestemte $\Delta STEC$ -verdier.

Kravet til nettverkets distribusjon og størrelse var til å begynne med ukjent. Det blir nevnt i Smith et al. (2002) at mottakernetttverket måtte ha en betydelig størrelse for å gi et rikelig antall med krysninger, noe som er fundamentalt for at ICON metoden skal fungere optimalt. I første forsøk ble det bare anvendt fem mottakere fra det norske CPOS nettverket. Med så få stasjoner ble det som antatt veldig få krysninger og ikke nok til å forme løsbare nett med tracker.

I det andre forsøket ble det tatt inn tre stasjoner fra IGS-nettverket (samtlige fra Tyskland). Med en tidsdifferanse i krysningspunktet på fem minutter ble det observert ca. 200 krysninger og flere små sammenhengende nettverk, men ingen med nok informasjon til å utføre den påfølgende utjevningen.

I siste forsøket ble det tatt inn ytterligere seks stasjoner. Med 14 mottakere økte antall krysninger med en maks tidsdifferanse på fem minutter til 401 krysninger. Det ble observert ett nettverk med tracker som ga overbestemmelse. Nettet besto av 12 tracker som sammen dannet 14 observasjoner (krysninger).

Med det antall mottakere som er benyttet sammen med rutinen for å finne krysninger i forsøkene presentert i denne oppgaven kan ICON fungere med et mindre nettverk. Det viktigste i forarbeidet før anvendelsen av metoden på et mindre nettverk er valget av spredningen til mottakerne. Som vist i forsøk nummer to (se figur 8.14) vil ikke et lite og «tett» nettverk av mottakere resultere i nok krysninger til å estimere trackenes biaser. En må derfor strekke seg etter å få mottakerne så spredd som mulig.

Ved nærmere ettertanke var Matlab et dårlig valg av program for denne oppgaven ettersom det var lite kunnskap om hvor store disse matrisene ville ende opp med å bli og da også tiden det ville ta å analysere dem. En burde se nærmere på andre allerede etablerte rutiner eller programvare for denne oppgaven.

Biografi

- Askne, J. & Nordius, H., 1987. Estimation of tropospheric delay for microwaves from surface weather data. , 22(3), pp.379–386.
- Choy, S. et al., 2015. Precipitable water vapor estimates in the Australian region from ground-based GPS observations. *Advances in Meteorology*, 2015.
- Christol, C.Q., 2000. *An Introduction to Space Law*,
- Dutka, J., 1993. Eratosthenes' measurement of the earth reconsidered. *Archive for History of Exact Sciences*, 46(1), pp.55–66.
- Fritsche, M. et al., 2005. Impact of higher-order ionospheric terms on GPS estimates. *Geophysical Research Letters*, 32(23), pp.1–5.
- Hernandez-Pajares, M., 2003. Performance of IGS Ionosphere TEC Maps. *IGS Ionosphere Working Group*, 2(April), pp.1–16.
- Hernández-Pajares, M. et al., 2007. Second-order ionospheric term in GPS: Implementation and impact on geodetic estimates. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(8), pp.1–16.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Wasle, E., 2008. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems*,
- Kjorsvik, N., Ovstedal, O. & Svendsen, J.G., 2002. Estimating Local Ionosphere Parameters in Norway. *Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute Of Navigation (ION GPS 2002)*, (September), pp.2304–2310.
- Kouba, J., 2009. A Guide to using international GNSS Service (IGS) Products. *Geodetic Survey Division Natural Resources Canada Ottawa*, 6, p.34. Available at: <http://graypantherssf.igs.org/igscb/resource/pubs/UsingIGSProductsVer21.pdf>.
- Meindl, M., 2011. *Combined Analysis of Observations from Different Global Navigation Satellite Systems*,
- Niell, a. E., 1996. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research*, 101, p.3227.
- Petit, G. & Luzum, B., 2010. IERS Conventions (2010). , p.179. Available at: <http://www.iers.org/TN36/>.
- Seeber, G., 2003. *Satellite geodesy*,
- Smith, D.A., Survey, N.G. & NOAA, N.O.S., 2002. Absolute Ionosphere Slant Delays From Ambiguous Carrier Phase Data. , pp.703–715.
- Tegedor, J., 2015. *Multi-Constellation Satellite Navigation : Precise Orbit Determination and Point Positioning*,
- Torge, W. & Müller, J., 2012. *Geodesy*,
- Øvstedal, O., Kjorsvik, N.S. & Gjevestad, J.G.O., 2006. Surveying using GPS precise point

positioning. *XXIII FIG Congress Proceedings*, p.10.

Internettkilder

(noaa.gov) http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/geodesy/geo02_histr.html

(nasa.gov) <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/>

(GPS.gov) <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>

(gsa.europa.eu) <http://www.gsa.europa.eu/galileo/programme>

(insidegnss) <http://www.insidegnss.com/node/5223>

(igs.org) <http://www.igs.org/wg>

Vedlegg: Resultatfil fra estimering av kryssninger

TABELL A: TABELLEN VISER RESULTATFILEN FRA ESTIMERINGEN AV ALLE KRYSSNINGSPUNKTENE BENYTTET FOR Å FORME NETTVERK I DENNE OPPGAVEN.

Φ	λ	Sta_1	$SV_1\#$	Tr_1	Tid_1	Sta_2	$SV_2\#$	Tr_2	Tid_2	Δt
49,139	13,529	7	1	1	18,4	2	9	2	18,346	0,0542
47,451	14,5	7	1	1	18,842	2	31	2	18,804	0,0375
52,645	8,0717	7	1	1	16,133	3	8	3	16,104	0,0291
59,058	24,203	7	2	1	9,1167	1	5	2	9,0542	0,0625
48,813	1,3401	7	2	2	22,825	4	13	3	22,75	0,075
52,036	13,668	7	3	1	17,783	2	23	2	17,729	0,0541
49,546	18,805	7	3	1	16,433	5	8	3	16,458	0,025
44,945	24,262	7	3	1	21,35	5	23	3	21,363	0,0125
52,194	23,536	7	6	1	5,6833	6	17	2	5,7083	0,025
52,151	23,598	7	6	1	5,675	6	17	3	5,7167	0,0417
51,631	6,4473	7	6	2	20,583	6	3	1	20,533	0,05
42,273	14,593	7	11	1	18,692	6	1	2	18,758	0,0666
42,233	14,606	7	11	1	18,692	6	1	3	18,767	0,075
48,899	22,18	7	12	1	8,6167	6	5	2	8,5417	0,075
52,963	4,6913	7	13	1	0,475	6	20	2	0,5333	0,0583
49,732	12,408	7	13	1	2,9583	3	19	2	2,9667	0,0084
52,217	9,6032	7	13	1	1,5667	3	24	2	1,6292	0,0625
48,169	22,328	7	14	2	15,35	8	22	1	15,3	0,05
39,467	9,9285	7	15	1	5,3583	3	19	3	5,3333	0,025
57,498	0,2531	7	17	2	16,675	3	1	1	16,642	0,0333
53,244	0,2009	7	20	3	23,992	8	13	2	23,975	0,0167
52,169	13,877	7	22	1	17,65	5	25	2	17,654	0,0042
52,683	13,356	7	23	1	22,092	2	16	2	22,033	0,0584
53,029	16,632	7	23	1	21,45	5	29	3	21,475	0,025
50,934	- 0,6097	7	24	1	5,3667	3	32	2	5,4083	0,0416
50,259	15,211	7	25	1	5,375	3	17	2	5,3333	0,0417
52,516	8,7915	7	27	1	11,15	8	21	2	11,125	0,025
52,116	21,358	7	29	1	8,6667	1	5	2	8,65	0,0167
47,969	- 11,443	8	1	1	13,775	2	30	2	13,696	0,0792
48,369	- 10,784	8	1	1	18,75	4	12	2	18,696	0,0542
46,484	20,961	8	2	1	5,7417	6	17	2	5,7083	0,0334
46,43	21,009	8	2	1	5,7333	6	17	3	5,7167	0,0166
52,605	10,678	8	3	1	17,842	3	11	2	17,792	0,05

59,349	19,681	8	5	2	10,458	1	29	1	10,467	0,0084
52,098	22,942	8	6	1	5,4583	3	17	3	5,4583	0
50,112	23,084	8	9	1	23,675	6	27	3	23,708	0,0333
52,848	14,733	8	9	1	21,108	1	7	3	21,042	0,0666
51,37	19,969	8	9	1	23,408	1	27	3	23,404	0,0041
54,432	12,25	8	10	3	14,942	6	1	1	14,908	0,0334
45,156	10,559	8	10	3	11,9	1	13	2	11,871	0,0292
56,317	18,164	8	10	3	15,783	1	14	2	15,8	0,0167
55,76	15,849	8	10	3	15,55	2	22	2	15,508	0,0417
50,063	9,5813	8	10	3	12,933	4	26	1	12,992	0,0584
50,406	- 11,923	8	11	1	17,158	1	28	2	17,121	0,0375
50,406	- 11,923	8	11	1	17,158	1	28	2	17,121	0,0375
51,736	6,765	8	11	1	16,475	2	8	2	16,558	0,0833
41,076	12,552	8	11	1	18,808	2	31	2	18,804	0,0041
49,377	20,235	8	12	1	8,6417	1	5	2	8,65	0,0083
53,244	0,2009	8	13	2	23,975	7	20	3	23,992	0,0167
53,938	15,272	8	20	2	11,225	6	21	3	11,167	0,0583
52,516	8,7915	8	21	2	11,125	7	27	1	11,15	0,025
48,169	22,328	8	22	1	15,3	7	14	2	15,35	0,05
52,834	10,552	8	22	1	17,825	3	11	2	17,746	0,0792
53,669	11,598	8	23	1	21,108	1	7	3	21,183	0,075
53,735	12,211	8	23	1	21,233	2	26	2	21,263	0,0292
53,774	12,726	8	23	1	21,333	5	6	3	21,367	0,0334
49,628	- 2,6529	8	25	1	5,1	6	14	2	5,125	0,025
49,707	- 2,5435	8	25	1	5,1167	6	14	3	5,1333	0,0166
50,449	12,691	8	25	1	5,3083	3	19	3	5,3333	0,025
59,216	23,771	8	26	2	20,917	5	7	3	20,996	0,0791
60,401	14,065	8	28	1	14,575	4	27	2	14,588	0,0125
59,358	23,553	8	28	1	14,75	4	32	2	14,75	0
54,432	12,25	6	1	1	14,908	8	10	3	14,942	0,0334
54,7	6,1581	6	1	1	16,192	2	8	2	16,167	0,025
51,034	16,386	6	1	1	18,4	4	11	2	18,413	0,0125
42,273	14,593	6	1	2	18,758	7	11	1	18,692	0,0666
42,233	14,606	6	1	3	18,767	7	11	1	18,692	0,075
60,002	28,152	6	2	3	9,25	1	5	2	9,2708	0,0208
51,631	6,4473	6	3	1	20,533	7	6	2	20,583	0,05
53,132	18,853	6	3	1	19,967	4	26	2	20,013	0,0458
48,899	22,18	6	5	2	8,5417	7	12	1	8,6167	0,075

62,877	27,174	6	5	2	11,05	4	29	1	10,996	0,0542
54,312	- 3,0295	6	14	1	5,1167	3	25	3	5,175	0,0583
49,628	- 2,6529	6	14	2	5,125	8	25	1	5,1	0,025
54,39	- 2,9074	6	14	2	5,125	3	25	3	5,1917	0,0667
49,707	- 2,5435	6	14	3	5,1333	8	25	1	5,1167	0,0166
52,194	23,536	6	17	2	5,7083	7	6	1	5,6833	0,025
46,484	20,961	6	17	2	5,7083	8	2	1	5,7417	0,0334
58,437	26,351	6	17	2	5,7083	1	6	1	5,6375	0,0708
52,151	23,598	6	17	3	5,7167	7	6	1	5,675	0,0417
46,43	21,009	6	17	3	5,7167	8	2	1	5,7333	0,0166
52,963	4,6913	6	20	2	0,5333	7	13	1	0,475	0,0583
53,938	15,272	6	21	3	11,167	8	20	2	11,225	0,0583
51,98	21,547	6	21	3	10,092	1	25	1	10,017	0,075
50,594	11,379	6	23	1	18,367	2	11	2	18,354	0,0125
54,543	15,977	6	23	1	20,558	3	26	2	20,496	0,0625
52,699	17,493	6	25	1	8,8917	3	5	3	8,85	0,0417
50,112	23,084	6	27	3	23,708	8	9	1	23,675	0,0333
59,058	24,203	1	5	2	9,0542	7	2	1	9,1167	0,0625
52,116	21,358	1	5	2	8,65	7	29	1	8,6667	0,0167
49,377	20,235	1	5	2	8,65	8	12	1	8,6417	0,0083
60,002	28,152	1	5	2	9,2708	6	2	3	9,25	0,0208
58,437	26,351	1	6	1	5,6375	6	17	2	5,7083	0,0708
52,848	14,733	1	7	3	21,042	8	9	1	21,108	0,0666
53,669	11,598	1	7	3	21,183	8	23	1	21,108	0,075
59,17	16,557	1	9	2	21,396	4	7	3	21,458	0,0625
59,188	12,72	1	9	2	22,263	4	30	3	22,304	0,0417
45,156	10,559	1	13	2	11,871	8	10	3	11,9	0,0292
56,317	18,164	1	14	2	15,8	8	10	3	15,783	0,0167
63,66	22,64	1	16	2	22,254	5	30	3	22,333	0,0791
64,44	23,418	1	16	2	22,475	5	30	3	22,467	0,0083
56,293	5,7262	1	22	1	15,929	2	8	2	15,85	0,0792
54,132	3,5023	1	22	1	15,404	2	24	2	15,425	0,0208
58,825	13,215	1	24	3	16,033	2	14	2	16,117	0,0834
51,98	21,547	1	25	1	10,017	6	21	3	10,092	0,075
51,37	19,969	1	27	3	23,404	8	9	1	23,408	0,0041
54,494	15,544	1	28	1	0,3917	3	8	2	0,4417	0,05
50,406	- 11,923	1	28	2	17,121	8	11	1	17,158	0,0375
59,349	19,681	1	29	1	10,467	8	5	2	10,458	0,0084

50,406	- 11,923	1	28	2	17,121	8	11	1	17,158	0,0375
71,947	- 0,1805	1	30	2	12,138	5	8	3	12,2	0,0625
50,003	15,243	2	2	2	6,8875	3	24	3	6,8458	0,0417
50,385	15,006	2	6	1	6,7458	3	24	3	6,8	0,0542
51,736	6,765	2	8	2	16,558	8	11	1	16,475	0,0833
54,7	6,1581	2	8	2	16,167	6	1	1	16,192	0,025
56,293	5,7262	2	8	2	15,85	1	22	1	15,929	0,0792
49,139	13,529	2	9	2	18,346	7	1	1	18,4	0,0542
59,983	16,305	2	10	2	13,975	3	18	3	14,058	0,0833
50,594	11,379	2	11	2	18,354	6	23	1	18,367	0,0125
57,439	7,2895	2	11	2	13,375	4	16	1	13,354	0,0208
58,825	13,215	2	14	2	16,117	1	24	3	16,033	0,0834
57,695	4,218	2	15	1	3,5292	3	24	2	3,575	0,0458
52,683	13,356	2	16	2	22,033	7	23	1	22,092	0,0584
60,909	9,5571	2	21	2	11,783	4	26	1	11,729	0,0541
55,76	15,849	2	22	2	15,508	8	10	3	15,55	0,0417
52,036	13,668	2	23	2	17,729	7	3	1	17,783	0,0541
54,132	3,5023	2	24	2	15,425	1	22	1	15,404	0,0208
57,968	4,389	2	26	1	11,617	3	27	2	11,663	0,0458
53,735	12,211	2	26	2	21,263	8	23	1	21,233	0,0292
47,969	- 11,443	2	30	2	13,696	8	1	1	13,775	0,0792
47,451	14,5	2	31	2	18,804	7	1	1	18,842	0,0375
41,076	12,552	2	31	2	18,804	8	11	1	18,808	0,0041
64,293	16,214	2	31	2	19,25	5	9	3	19,313	0,0625
66,475	20,314	2	31	2	19,804	5	9	3	19,75	0,0542
60,314	18,347	2	32	2	15,729	3	10	3	15,663	0,0667
53,774	12,726	5	6	3	21,367	8	23	1	21,333	0,0334
58,498	- 9,2199	5	7	2	13,329	3	8	3	13,354	0,025
64,15	- 10,111	5	7	2	13,329	3	30	3	13,413	0,0833
59,216	23,771	5	7	3	20,996	8	26	2	20,917	0,0791
49,546	18,805	5	8	3	16,458	7	3	1	16,433	0,025
71,947	- 0,1805	5	8	3	12,2	1	30	2	12,138	0,0625
64,293	16,214	5	9	3	19,313	2	31	2	19,25	0,0625
66,475	20,314	5	9	3	19,75	2	31	2	19,804	0,0542
63,558	15,093	5	9	3	19,208	4	3	2	19,242	0,0334
63,558	15,093	5	9	3	19,208	4	3	2	19,242	0,0334

51,307	- 7,0786	5	10	1	4,7042	3	25	2	4,7167	0,0125
73,962	1,9886	5	16	2	9,5917	4	9	1	9,5708	0,0209
44,945	24,262	5	23	3	21,363	7	3	1	21,35	0,0125
52,169	13,877	5	25	2	17,654	7	22	1	17,65	0,0042
66,358	22,026	5	29	1	11,042	3	5	3	11,067	0,025
53,029	16,632	5	29	3	21,475	7	23	1	21,45	0,025
64,316	20,172	5	29	3	21,475	4	23	2	21,529	0,0542
63,66	22,64	5	30	3	22,333	1	16	2	22,254	0,0791
64,44	23,418	5	30	3	22,467	1	16	2	22,475	0,0083
63,214	28,539	5	30	3	22,267	4	23	2	22,317	0,05
57,51	6,6568	4	1	1	3,0125	3	24	2	3,0958	0,0833
63,558	15,093	4	3	2	19,242	5	9	3	19,208	0,0334
63,558	15,093	4	3	2	19,242	5	9	3	19,208	0,0334
59,17	16,557	4	7	3	21,458	1	9	2	21,396	0,0625
64,992	- 7,9682	4	8	2	13,217	3	30	3	13,142	0,075
73,962	1,9886	4	9	1	9,5708	5	16	2	9,5917	0,0209
51,034	16,386	4	11	2	18,413	6	1	1	18,4	0,0125
48,369	- 10,784	4	12	2	18,696	8	1	1	18,75	0,0542
48,813	1,3401	4	13	3	22,75	7	2	2	22,825	0,075
60,629	20,168	4	14	2	15,783	3	10	3	15,829	0,0459
57,439	7,2895	4	16	1	13,354	2	11	2	13,375	0,0208
58,083	11,014	4	21	2	9,4167	3	29	1	9,4583	0,0416
61,126	24,416	4	22	2	16,042	3	10	3	16,117	0,075
64,316	20,172	4	23	2	21,529	5	29	3	21,475	0,0542
63,214	28,539	4	23	2	22,317	5	30	3	22,267	0,05
50,063	9,5813	4	26	1	12,992	8	10	3	12,933	0,0584
60,909	9,5571	4	26	1	11,729	2	21	2	11,783	0,0541
65,498	- 7,4445	4	26	1	9,0542	3	23	2	9,1125	0,0583
53,132	18,853	4	26	2	20,013	6	3	1	19,967	0,0458
60,401	14,065	4	27	2	14,588	8	28	1	14,575	0,0125
59,051	16,844	4	28	1	0,4708	3	8	2	0,4417	0,0291
62,877	27,174	4	29	1	10,996	6	5	2	11,05	0,0542
59,188	12,72	4	30	3	22,304	1	9	2	22,263	0,0417
59,358	23,553	4	32	2	14,75	8	28	1	14,75	0
57,498	0,2531	3	1	1	16,642	7	17	2	16,675	0,0333
52,699	17,493	3	5	3	8,85	6	25	1	8,8917	0,0417
66,358	22,026	3	5	3	11,067	5	29	1	11,042	0,025
54,494	15,544	3	8	2	0,4417	1	28	1	0,3917	0,05

59,051	16,844	3	8	2	0,4417	4	28	1	0,4708	0,0291
52,645	8,0717	3	8	3	16,104	7	1	1	16,133	0,0291
58,498	- 9,2199	3	8	3	13,354	5	7	2	13,329	0,025
60,314	18,347	3	10	3	15,663	2	32	2	15,729	0,0667
60,629	20,168	3	10	3	15,829	4	14	2	15,783	0,0459
61,126	24,416	3	10	3	16,117	4	22	2	16,042	0,075
52,605	10,678	3	11	2	17,792	8	3	1	17,842	0,05
52,834	10,552	3	11	2	17,746	8	22	1	17,825	0,0792
50,259	15,211	3	17	2	5,3333	7	25	1	5,375	0,0417
52,098	22,942	3	17	3	5,4583	8	6	1	5,4583	0
59,983	16,305	3	18	3	14,058	2	10	2	13,975	0,0833
49,732	12,408	3	19	2	2,9667	7	13	1	2,9583	0,0084
39,467	9,9285	3	19	3	5,3333	7	15	1	5,3583	0,025
50,449	12,691	3	19	3	5,3333	8	25	1	5,3083	0,025
65,498	- 7,4445	3	23	2	9,1125	4	26	1	9,0542	0,0583
52,217	9,6032	3	24	2	1,6292	7	13	1	1,5667	0,0625
57,695	4,218	3	24	2	3,575	2	15	1	3,5292	0,0458
57,51	6,6568	3	24	2	3,0958	4	1	1	3,0125	0,0833
50,003	15,243	3	24	3	6,8458	2	2	2	6,8875	0,0417
50,385	15,006	3	24	3	6,8	2	6	1	6,7458	0,0542
51,307	- 7,0786	3	25	2	4,7167	5	10	1	4,7042	0,0125
54,312	- 3,0295	3	25	3	5,175	6	14	1	5,1167	0,0583
54,39	- 2,9074	3	25	3	5,1917	6	14	2	5,125	0,0667
54,543	15,977	3	26	2	20,496	6	23	1	20,558	0,0625
57,968	4,389	3	27	2	11,663	2	26	1	11,617	0,0458
58,083	11,014	3	29	1	9,4583	4	21	2	9,4167	0,0416
64,15	- 10,111	3	30	3	13,413	5	7	2	13,329	0,0833
64,992	- 7,9682	3	30	3	13,142	4	8	2	13,217	0,075
50,934	- 0,6097	3	32	2	5,4083	7	24	1	5,3667	0,0416
62,759	34,812	9	2	1	8,9083	4	5	2	8,9333	0,025
56,005	7,3396	9	2	2	22,783	6	5	3	22,767	0,0166
58,748	11,183	9	2	2	22,233	2	7	3	22,271	0,0375
63,042	14,361	9	6	2	19,15	5	9	3	19,146	0,0042
54,38	26,153	9	7	3	21,233	7	16	2	21,3	0,0667
52,427	21,517	9	7	3	20,925	3	3	1	20,967	0,0417

58,979	21,565	9	9	3	22,542	7	16	2	22,508	0,0334
59,554	24,427	9	9	3	21,283	7	26	2	21,325	0,0417
59,416	23,32	9	9	3	20,983	8	26	2	20,975	0,0083
52,671	12,846	9	9	3	18,767	3	1	1	18,717	0,05
58,49	22,119	9	11	2	16,45	5	8	3	16,396	0,0542
54,948	11,097	9	12	2	18,133	3	1	1	18,133	0
60,758	17,331	9	13	1	0,5167	3	8	2	0,4417	0,075
63,576	49,344	9	13	2	11,55	5	29	1	11,508	0,0417
53,519	17,474	9	16	1	13,433	7	21	2	13,392	0,0416
52,074	37,802	9	22	1	20,55	5	26	3	20,483	0,0667
59,775	19,822	9	26	1	10,583	8	5	2	10,542	0,0416
60,508	41,593	9	26	2	20,342	5	16	3	20,421	0,0791
48,242	25,449	9	27	2	15,792	6	3	1	15,8	0,0083
60,966	14,977	9	27	2	11,758	5	29	1	11,763	0,0042
59,724	28,022	9	29	1	9,2083	6	2	3	9,25	0,0417
54,645	16,696	9	29	1	11,692	6	21	3	11,75	0,0583
52,938	18,912	9	30	3	21,85	7	23	1	21,817	0,0333
57,869	22,46	9	30	3	23,075	1	9	2	23,15	0,075
67,352	1,1752	9	31	1	6,6167	1	3	2	6,6875	0,0708
67,352	1,1752	9	31	1	6,6167	1	3	2	6,6875	0,0708
49,139	13,529	7	1	1	18,4	2	9	2	18,346	0,0542
47,451	14,5	7	1	1	18,842	2	31	2	18,804	0,0375
52,645	8,0717	7	1	1	16,133	3	8	3	16,104	0,0291
59,058	24,203	7	2	1	9,1167	1	5	2	9,0542	0,0625
48,813	1,3401	7	2	2	22,825	4	13	3	22,75	0,075
53,904	1,4799	14	2	2	22,667	4	13	3	22,75	0,0833
52,633	0,3226	14	2	2	22,908	3	13	3	22,929	0,0209
56,917	13,987	14	3	1	18,1	13	23	2	18,075	0,025
54,45	20,358	14	3	1	20,458	7	26	2	20,425	0,0333
54,296	20,608	14	3	1	16,517	5	8	3	16,458	0,0584
57,819	32,67	14	4	2	19,9	9	9	3	19,85	0,05
51,947	22,023	14	5	2	8,6167	7	29	1	8,5333	0,0834
54,173	22,967	14	5	2	8,6167	6	29	1	8,7	0,0833
63,521	24,333	14	5	2	10,783	4	29	1	10,754	0,0291
51,034	7,4102	14	5	3	23,992	12	13	2	23,967	0,025
56,773	25,6	14	6	1	5,7417	6	17	2	5,7083	0,0334
56,729	25,67	14	6	1	5,725	6	17	3	5,7167	0,0083
54,642	16,436	14	7	3	21,958	6	23	1	21,9	0,0583
52,711	12,493	14	7	3	21,367	5	6	2	21,363	0,0042
54,335	12,835	14	11	2	17,158	5	17	3	17,204	0,0459
55,914	17,832	14	14	2	16,325	3	22	1	16,388	0,0625

47,868	22,269	14	14	2	14,767	3	22	1	14,758	0,0084
49,474	18,911	14	16	2	20,692	7	3	1	20,617	0,075
50,974	24,757	14	17	2	5,975	12	6	1	6,0583	0,0833
49,726	24,151	14	17	2	5,975	6	2	1	6,0167	0,0417
64,87	31,21	14	17	2	5,9917	5	24	1	5,9375	0,0542
64,534	31,342	14	17	2	5,975	5	24	1	6,0083	0,0333
57,456	27,905	14	17	2	5,975	4	2	1	5,9958	0,0208
46,433	23,206	14	17	3	6,05	12	2	1	6,125	0,075
40,568	23,808	14	18	2	10,583	12	25	1	10,542	0,0416
57,711	31,306	14	19	2	6,875	9	2	1	6,825	0,05
61,842	33,547	14	19	2	6,875	9	6	1	6,9083	0,0333
51,019	27,676	14	19	2	6,875	9	24	1	6,9167	0,0417
57,371	2,3503	14	19	3	18,967	15	9	2	19,008	0,0416
52,759	5,3497	14	22	1	15,492	15	3	2	15,558	0,0666
52,759	5,3497	14	22	1	15,492	15	3	2	15,558	0,0666
56,905	13,984	14	22	1	18			13	23	2
56,835	15,118	14	22	1	17,683	5	25	2	17,654	0,0291
66,615	- 5,1823	14	23	1	9,2917	13	5	2	9,3	0,0083
52,897	9,6963	14	23	2	18,333	8	22	1	18,333	0
55,421	13,942	14	24	1	5,4167	3	19	3	5,3333	0,0834
51,872	- 3,0205	14	25	1	9,8	15	27	2	9,85	0,05
62,22	21,348	14	25	1	7,1	3	6	3	7,1125	0,0125
58,523	- 12,978	14	26	1	9,4417	15	5	2	9,475	0,0333
56,626	9,385	14	26	1	10,742	3	21	2	10,813	0,0708
51,599	19,316	14	26	2	20,108	8	9	1	20,15	0,0417
52,675	19,719	14	26	2	20,108	6	3	1	20,175	0,0667
52,881	19,542	14	26	3	21,858	7	23	1	21,9	0,0417
67,458	24,929	14	26	3	22,15	4	16	2	22,075	0,075
67,524	24,823	14	26	3	22,158	4	16	2	22,1	0,0583
64,016	23,658	14	26	3	21,858	4	23	2	21,921	0,0625
57,405	9,0423	14	27	2	11,325	1	29	1	11,263	0,0625
58,754	0,3524	14	30	2	12,317	3	8	3	12,263	0,0542
52,645	0,2952	14	30	3	12,325	12	8	2	12,283	0,0417
62,743	0,3519	14	30	3	12,325	9	8	2	12,325	0
60,6	0,3399	14	30	3	12,325	1	8	2	12,375	0,05
52,458	5,3527	14	31	1	10,142	13	20	2	10,108	0,0334
61,457	31,884	14	32	3	17,967	9	14	2	17,942	0,025
50,752	9,7109	12	1	1	15,533	13	3	2	15,45	0,0833
50,752	9,7109	12	1	1	15,533	13	3	2	15,45	0,0833

48,518	- 0,7606	12	1	1	17,767	13	31	2	17,85	0,0833
48,394	- 1,0907	12	1	1	17,833	5	12	2	17,771	0,0625
46,433	23,206	12	2	1	6,125	14	17	3	6,05	0,075
56,124	3,2467	12	2	2	20,192	3	3	1	20,121	0,0709
48,496	20,051	12	3	1	16,783	9	8	2	16,8	0,0167
54,914	-0,161	12	5	3	21,767	2	6	2	21,833	0,0666
50,974	24,757	12	6	1	6,0583	14	17	2	5,975	0,0833
52,645	0,2952	12	8	2	12,283	14	30	3	12,325	0,0417
52,331	5,5517	12	8	2	12,75	2	26	1	12,75	0
45,723	29,255	12	9	1	0,0083	6	8	2	0,0583	0,05
49,624	13,835	12	9	2	20,625	1	7	3	20,646	0,0208
49,919	20,264	12	9	2	20,917	5	7	3	20,863	0,0542
49,651	13,893	12	9	2	20,65	4	7	3	20,596	0,0542
50,372	0,3091	12	11	1	15,433	15	14	2	15,417	0,0166
39,897	17,716	12	11	1	18,8	5	9	3	18,854	0,0542
49,726	12,509	12	12	1	5,3667	3	19	3	5,3333	0,0334
51,034	7,4102	12	13	2	23,967	14	5	3	23,992	0,025
51,028	7,2673	12	13	2	23,942	7	5	3	23,992	0,05
47,81	19,565	12	14	2	15,842	8	3	1	15,917	0,075
51,395	9,452	12	15	1	1,625	3	24	2	1,6292	0,0042
53,532	5,4623	12	16	1	10,15	13	20	2	10,108	0,0417
47,509	21,481	12	16	3	21,058	7	3	1	21,025	0,0333
51,172	23,137	12	16	3	21,15	3	3	2	21,117	0,0333
51,172	23,137	12	16	3	21,15	3	3	2	21,117	0,0333
54,024	26,534	12	18	2	14,692	8	10	3	14,733	0,0416
47,544	22,774	12	20	2	10,175	4	25	1	10,154	0,0208
41,302	4,9646	12	22	1	14,642	13	32	2	14,65	0,0083
49,824	17,952	12	22	1	18,65	9	25	2	18,625	0,025
40,568	23,808	12	25	1	10,542	14	18	2	10,583	0,0416
46,718	19,805	12	25	1	9,5583	7	20	2	9,6083	0,05
46,419	20,044	12	25	1	9,6417	3	20	2	9,6917	0,05
49,113	12,9	12	26	1	11,133	6	4	2	11,217	0,0834
49,096	12,909	12	26	1	11,142	6	4	3	11,225	0,0833
49,749	- 1,0971	12	27	1	13,383	15	1	2	13,45	0,0667
50,967	5,5527	12	27	1	12,183	15	10	2	12,175	0,0083
50,86	4,5759	12	27	1	12,35	2	13	2	12,342	0,0083
50,98	10,382	12	27	1	12,158	3	10	2	12,204	0,0459
50,537	20,044	12	29	1	10,2	8	20	2	10,2	0
49,627	24,316	12	29	1	8,4167	4	6	2	8,4458	0,0291

49,481	15,324	12	30	2	23,625	1	28	3	23,663	0,0375
49,322	20,359	12	32	2	15,55	8	22	1	15,592	0,0417
51,862	21,033	12	32	2	16,542	6	3	1	16,525	0,0167
46,485	21,625	12	32	2	14,65	3	22	1	14,713	0,0625
49,749	- 1,0971	15	1	2	13,45	12	27	1	13,383	0,0667
50,752	9,7109	13	3	2	15,45	12	1	1	15,533	0,0833
50,752	9,7109	13	3	2	15,45	12	1	1	15,533	0,0833
59,849	- 14,068	13	5	1	0,7917	10	30	3	0,85	0,0583
66,615	- 5,1823	13	5	2	9,3	14	23	1	9,2917	0,0083
70,011	- 5,4465	13	5	2	10,092	1	9	1	10,054	0,0375
57,764	- 4,4938	13	5	2	9,3	2	25	1	9,2208	0,0792
68,682	1,1984	13	6	1	6,675	1	3	2	6,6875	0,0125
68,682	1,1984	13	6	1	6,675	1	3	2	6,6875	0,0125
45,769	10,661	13	9	2	18,35	8	11	1	18,308	0,0417
53,302	12,416	13	9	2	18,533	3	1	1	18,588	0,0542
58,874	-4,02	13	10	2	12,683	3	8	3	12,729	0,0459
42,056	0,0624	13	11	2	18,2	8	9	1	18,117	0,0833
61,967	- 22,615	13	11	2	14,15	2	30	3	14,183	0,0333
63,341	- 14,889	13	13	1	0,8917	10	30	3	0,85	0,0417
52,651	8,0189	13	14	2	15,275	7	1	1	15,35	0,075
51,813	- 6,4721	13	15	1	4,7917	3	25	2	4,7792	0,0125
53,422	- 26,194	13	15	3	23,392	15	2	2	23,408	0,0166
68,698	14,824	13	16	2	21,358	5	2	3	21,333	0,025
67,094	- 11,015	13	16	2	21,292	4	5	3	21,275	0,0167
67,638	- 30,635	13	18	1	1,2583	10	28	3	1,2917	0,0334
68,803	-36,13	13	18	1	0,9167	10	30	2	0,8417	0,075
52,458	5,3527	13	20	2	10,108	14	31	1	10,142	0,0334
53,532	5,4623	13	20	2	10,108	12	16	1	10,15	0,0417
61,818	10,159	13	20	2	10,267	5	31	1	10,183	0,0834
56,917	13,987	13	23	2	18,075	14	3	1	18,1	0,025
56,905	13,984	13	23	2	18,075	14	22	1	18	0,075
48,886	12,013	13	23	2	17,517	7	11	1	17,517	0
48,007	2,3387	13	26	3	21,142	6	3	1	21,2	0,0583

56,584	- 16,037	13	31	1	10,317	2	27	2	10,363	0,0458
48,518	- 0,7606	13	31	2	17,85	12	1	1	17,767	0,0833
41,302	4,9646	13	32	2	14,65	12	22	1	14,642	0,0083
49,749	- 1,0971	15	1	2	13,45	12	27	1	13,383	0,0667
53,422	- 26,194	15	2	2	23,408	13	15	3	23,392	0,0166
52,759	5,3497	15	3	2	15,558	14	22	1	15,492	0,0666
48,065	4,8738	15	3	2	15,425	7	22	1	15,392	0,0333
52,759	5,3497	15	3	2	15,558	14	22	1	15,492	0,0666
48,065	4,8738	15	3	2	15,425	7	22	1	15,392	0,0333
58,523	- 12,978	15	5	2	9,475	14	26	1	9,4417	0,0333
54,228	- 12,025	15	5	2	9,475	8	26	1	9,4083	0,0667
62,411	-13,84	15	5	2	9,475	1	16	1	9,5083	0,0333
62,779	- 13,922	15	5	2	9,475	2	16	1	9,425	0,05
67,227	- 27,981	15	8	1	1,175	10	28	2	1,1833	0,0083
67,227	- 27,981	15	8	1	1,175	10	28	2	1,1833	0,0083
51,464	- 8,7521	15	8	2	16,583	8	11	1	16,642	0,0584
57,371	2,3503	15	9	2	19,008	14	19	3	18,967	0,0416
50,967	5,5527	15	10	2	12,175	12	27	1	12,183	0,0083
60,833	- 13,626	15	11	2	13,817	3	30	3	13,767	0,05
50,372	0,3091	15	14	2	15,417	12	11	1	15,433	0,0166
55,193	- 1,3062	15	20	2	10,275	8	16	1	10,2	0,075
54,121	- 1,2808	15	20	2	10,275	2	31	1	10,338	0,0625
71,897	- 1,7015	15	20	2	12,558	5	8	3	12,554	0,0041
58,661	-13,26	15	21	2	9,5833	3	26	1	9,6083	0,025
56,606	- 1,0853	15	24	1	6,5417	3	32	3	6,5667	0,025
60,143	- 16,443	15	26	1	11,825	2	8	2	11,817	0,0083
74,134	- 16,748	15	26	3	21,992	10	23	2	21,908	0,0834
74,092	- 16,537	15	26	3	21,975	10	23	2	21,892	0,0833

51,872	- 3,0205	15	27	2	9,85	14	25	1	9,8	0,05
45,549	- 0,2479	15	32	2	14,8	8	22	1	14,858	0,0583
49,179	- 0,2676	15	32	2	14,8	1	22	1	14,804	0,0042
49,139	13,529	7	1	1	18,4	2	9	2	18,346	0,0542
47,451	14,5	7	1	1	18,842	2	31	2	18,804	0,0375
52,645	8,0717	7	1	1	16,133	3	8	3	16,104	0,0291
59,058	24,203	7	2	1	9,1167	1	5	2	9,0542	0,0625
48,813	1,3401	7	2	2	22,825	4	13	3	22,75	0,075
52,036	13,668	7	3	1	17,783	2	23	2	17,729	0,0541
49,546	18,805	7	3	1	16,433	5	8	3	16,458	0,025
44,945	24,262	7	3	1	21,35	5	23	3	21,363	0,0125
52,194	23,536	7	6	1	5,6833	6	17	2	5,7083	0,025
52,151	23,598	7	6	1	5,675	6	17	3	5,7167	0,0417
51,631	6,4473	7	6	2	20,583	6	3	1	20,533	0,05
42,273	14,593	7	11	1	18,692	6	1	2	18,758	0,0666
42,233	14,606	7	11	1	18,692	6	1	3	18,767	0,075
48,899	22,18	7	12	1	8,6167	6	5	2	8,5417	0,075
52,963	4,6913	7	13	1	0,475	6	20	2	0,5333	0,0583
49,732	12,408	7	13	1	2,9583	3	19	2	2,9667	0,0084
52,217	9,6032	7	13	1	1,5667	3	24	2	1,6292	0,0625
48,169	22,328	7	14	2	15,35	8	22	1	15,3	0,05
39,467	9,9285	7	15	1	5,3583	3	19	3	5,3333	0,025
57,498	0,2531	7	17	2	16,675	3	1	1	16,642	0,0333
53,244	0,2009	7	20	3	23,992	8	13	2	23,975	0,0167
52,169	13,877	7	22	1	17,65	5	25	2	17,654	0,0042
52,683	13,356	7	23	1	22,092	2	16	2	22,033	0,0584
53,029	16,632	7	23	1	21,45	5	29	3	21,475	0,025
50,934	- 0,6097	7	24	1	5,3667	3	32	2	5,4083	0,0416
50,259	15,211	7	25	1	5,375	3	17	2	5,3333	0,0417
52,516	8,7915	7	27	1	11,15	8	21	2	11,125	0,025
52,116	21,358	7	29	1	8,6667	1	5	2	8,65	0,0167
47,969	- 11,443	8	1	1	13,775	2	30	2	13,696	0,0792
48,369	- 10,784	8	1	1	18,75	4	12	2	18,696	0,0542
46,484	20,961	8	2	1	5,7417	6	17	2	5,7083	0,0334
46,43	21,009	8	2	1	5,7333	6	17	3	5,7167	0,0166
52,605	10,678	8	3	1	17,842	3	11	2	17,792	0,05

59,349	19,681	8	5	2	10,458	1	29	1	10,467	0,0084
52,098	22,942	8	6	1	5,4583	3	17	3	5,4583	0
50,112	23,084	8	9	1	23,675	6	27	3	23,708	0,0333
52,848	14,733	8	9	1	21,108	1	7	3	21,042	0,0666
51,37	19,969	8	9	1	23,408	1	27	3	23,404	0,0041
54,432	12,25	8	10	3	14,942	6	1	1	14,908	0,0334
45,156	10,559	8	10	3	11,9	1	13	2	11,871	0,0292
56,317	18,164	8	10	3	15,783	1	14	2	15,8	0,0167
55,76	15,849	8	10	3	15,55	2	22	2	15,508	0,0417
50,063	9,5813	8	10	3	12,933	4	26	1	12,992	0,0584
50,406	- 11,923	8	11	1	17,158	1	28	2	17,121	0,0375
50,406	- 11,923	8	11	1	17,158	1	28	2	17,121	0,0375
51,736	6,765	8	11	1	16,475	2	8	2	16,558	0,0833
41,076	12,552	8	11	1	18,808	2	31	2	18,804	0,0041
49,377	20,235	8	12	1	8,6417	1	5	2	8,65	0,0083
53,244	0,2009	8	13	2	23,975	7	20	3	23,992	0,0167
53,938	15,272	8	20	2	11,225	6	21	3	11,167	0,0583
52,516	8,7915	8	21	2	11,125	7	27	1	11,15	0,025
48,169	22,328	8	22	1	15,3	7	14	2	15,35	0,05
52,834	10,552	8	22	1	17,825	3	11	2	17,746	0,0792
53,669	11,598	8	23	1	21,108	1	7	3	21,183	0,075
53,735	12,211	8	23	1	21,233	2	26	2	21,263	0,0292
53,774	12,726	8	23	1	21,333	5	6	3	21,367	0,0334
49,628	- 2,6529	8	25	1	5,1	6	14	2	5,125	0,025
49,707	- 2,5435	8	25	1	5,1167	6	14	3	5,1333	0,0166
50,449	12,691	8	25	1	5,3083	3	19	3	5,3333	0,025
59,216	23,771	8	26	2	20,917	5	7	3	20,996	0,0791
60,401	14,065	8	28	1	14,575	4	27	2	14,588	0,0125
59,358	23,553	8	28	1	14,75	4	32	2	14,75	0
54,432	12,25	6	1	1	14,908	8	10	3	14,942	0,0334
54,7	6,1581	6	1	1	16,192	2	8	2	16,167	0,025
51,034	16,386	6	1	1	18,4	4	11	2	18,413	0,0125
42,273	14,593	6	1	2	18,758	7	11	1	18,692	0,0666
42,233	14,606	6	1	3	18,767	7	11	1	18,692	0,075
60,002	28,152	6	2	3	9,25	1	5	2	9,2708	0,0208
51,631	6,4473	6	3	1	20,533	7	6	2	20,583	0,05
53,132	18,853	6	3	1	19,967	4	26	2	20,013	0,0458
48,899	22,18	6	5	2	8,5417	7	12	1	8,6167	0,075

62,877	27,174	6	5	2	11,05	4	29	1	10,996	0,0542
54,312	- 3,0295	6	14	1	5,1167	3	25	3	5,175	0,0583
49,628	- 2,6529	6	14	2	5,125	8	25	1	5,1	0,025
54,39	- 2,9074	6	14	2	5,125	3	25	3	5,1917	0,0667
49,707	- 2,5435	6	14	3	5,1333	8	25	1	5,1167	0,0166
52,194	23,536	6	17	2	5,7083	7	6	1	5,6833	0,025
46,484	20,961	6	17	2	5,7083	8	2	1	5,7417	0,0334
58,437	26,351	6	17	2	5,7083	1	6	1	5,6375	0,0708
52,151	23,598	6	17	3	5,7167	7	6	1	5,675	0,0417
46,43	21,009	6	17	3	5,7167	8	2	1	5,7333	0,0166
52,963	4,6913	6	20	2	0,5333	7	13	1	0,475	0,0583
53,938	15,272	6	21	3	11,167	8	20	2	11,225	0,0583
51,98	21,547	6	21	3	10,092	1	25	1	10,017	0,075
50,594	11,379	6	23	1	18,367	2	11	2	18,354	0,0125
54,543	15,977	6	23	1	20,558	3	26	2	20,496	0,0625
52,699	17,493	6	25	1	8,8917	3	5	3	8,85	0,0417
50,112	23,084	6	27	3	23,708	8	9	1	23,675	0,0333
59,058	24,203	1	5	2	9,0542	7	2	1	9,1167	0,0625
52,116	21,358	1	5	2	8,65	7	29	1	8,6667	0,0167
49,377	20,235	1	5	2	8,65	8	12	1	8,6417	0,0083
60,002	28,152	1	5	2	9,2708	6	2	3	9,25	0,0208
58,437	26,351	1	6	1	5,6375	6	17	2	5,7083	0,0708
52,848	14,733	1	7	3	21,042	8	9	1	21,108	0,0666
53,669	11,598	1	7	3	21,183	8	23	1	21,108	0,075
59,17	16,557	1	9	2	21,396	4	7	3	21,458	0,0625
59,188	12,72	1	9	2	22,263	4	30	3	22,304	0,0417
45,156	10,559	1	13	2	11,871	8	10	3	11,9	0,0292
56,317	18,164	1	14	2	15,8	8	10	3	15,783	0,0167
63,66	22,64	1	16	2	22,254	5	30	3	22,333	0,0791
64,44	23,418	1	16	2	22,475	5	30	3	22,467	0,0083
56,293	5,7262	1	22	1	15,929	2	8	2	15,85	0,0792
54,132	3,5023	1	22	1	15,404	2	24	2	15,425	0,0208
58,825	13,215	1	24	3	16,033	2	14	2	16,117	0,0834
51,98	21,547	1	25	1	10,017	6	21	3	10,092	0,075
51,37	19,969	1	27	3	23,404	8	9	1	23,408	0,0041
54,494	15,544	1	28	1	0,3917	3	8	2	0,4417	0,05
50,406	- 11,923	1	28	2	17,121	8	11	1	17,158	0,0375
59,349	19,681	1	29	1	10,467	8	5	2	10,458	0,0084

50,406	- 11,923	1	28	2	17,121	8	11	1	17,158	0,0375
71,947	- 0,1805	1	30	2	12,138	5	8	3	12,2	0,0625
50,003	15,243	2	2	2	6,8875	3	24	3	6,8458	0,0417
50,385	15,006	2	6	1	6,7458	3	24	3	6,8	0,0542
51,736	6,765	2	8	2	16,558	8	11	1	16,475	0,0833
54,7	6,1581	2	8	2	16,167	6	1	1	16,192	0,025
56,293	5,7262	2	8	2	15,85	1	22	1	15,929	0,0792
49,139	13,529	2	9	2	18,346	7	1	1	18,4	0,0542
59,983	16,305	2	10	2	13,975	3	18	3	14,058	0,0833
50,594	11,379	2	11	2	18,354	6	23	1	18,367	0,0125
57,439	7,2895	2	11	2	13,375	4	16	1	13,354	0,0208
58,825	13,215	2	14	2	16,117	1	24	3	16,033	0,0834
57,695	4,218	2	15	1	3,5292	3	24	2	3,575	0,0458
52,683	13,356	2	16	2	22,033	7	23	1	22,092	0,0584
60,909	9,5571	2	21	2	11,783	4	26	1	11,729	0,0541
55,76	15,849	2	22	2	15,508	8	10	3	15,55	0,0417
52,036	13,668	2	23	2	17,729	7	3	1	17,783	0,0541
54,132	3,5023	2	24	2	15,425	1	22	1	15,404	0,0208
57,968	4,389	2	26	1	11,617	3	27	2	11,663	0,0458
53,735	12,211	2	26	2	21,263	8	23	1	21,233	0,0292
47,969	- 11,443	2	30	2	13,696	8	1	1	13,775	0,0792
47,451	14,5	2	31	2	18,804	7	1	1	18,842	0,0375
41,076	12,552	2	31	2	18,804	8	11	1	18,808	0,0041
64,293	16,214	2	31	2	19,25	5	9	3	19,313	0,0625
66,475	20,314	2	31	2	19,804	5	9	3	19,75	0,0542
60,314	18,347	2	32	2	15,729	3	10	3	15,663	0,0667
53,774	12,726	5	6	3	21,367	8	23	1	21,333	0,0334
58,498	- 9,2199	5	7	2	13,329	3	8	3	13,354	0,025
64,15	- 10,111	5	7	2	13,329	3	30	3	13,413	0,0833
59,216	23,771	5	7	3	20,996	8	26	2	20,917	0,0791
49,546	18,805	5	8	3	16,458	7	3	1	16,433	0,025
71,947	- 0,1805	5	8	3	12,2	1	30	2	12,138	0,0625
64,293	16,214	5	9	3	19,313	2	31	2	19,25	0,0625
66,475	20,314	5	9	3	19,75	2	31	2	19,804	0,0542
63,558	15,093	5	9	3	19,208	4	3	2	19,242	0,0334
63,558	15,093	5	9	3	19,208	4	3	2	19,242	0,0334

51,307	- 7,0786	5	10	1	4,7042	3	25	2	4,7167	0,0125
73,962	1,9886	5	16	2	9,5917	4	9	1	9,5708	0,0209
44,945	24,262	5	23	3	21,363	7	3	1	21,35	0,0125
52,169	13,877	5	25	2	17,654	7	22	1	17,65	0,0042
66,358	22,026	5	29	1	11,042	3	5	3	11,067	0,025
53,029	16,632	5	29	3	21,475	7	23	1	21,45	0,025
64,316	20,172	5	29	3	21,475	4	23	2	21,529	0,0542
63,66	22,64	5	30	3	22,333	1	16	2	22,254	0,0791
64,44	23,418	5	30	3	22,467	1	16	2	22,475	0,0083
63,214	28,539	5	30	3	22,267	4	23	2	22,317	0,05
57,51	6,6568	4	1	1	3,0125	3	24	2	3,0958	0,0833
63,558	15,093	4	3	2	19,242	5	9	3	19,208	0,0334
63,558	15,093	4	3	2	19,242	5	9	3	19,208	0,0334
59,17	16,557	4	7	3	21,458	1	9	2	21,396	0,0625
64,992	- 7,9682	4	8	2	13,217	3	30	3	13,142	0,075
73,962	1,9886	4	9	1	9,5708	5	16	2	9,5917	0,0209
51,034	16,386	4	11	2	18,413	6	1	1	18,4	0,0125
48,369	- 10,784	4	12	2	18,696	8	1	1	18,75	0,0542
48,813	1,3401	4	13	3	22,75	7	2	2	22,825	0,075
60,629	20,168	4	14	2	15,783	3	10	3	15,829	0,0459
57,439	7,2895	4	16	1	13,354	2	11	2	13,375	0,0208
58,083	11,014	4	21	2	9,4167	3	29	1	9,4583	0,0416
61,126	24,416	4	22	2	16,042	3	10	3	16,117	0,075
64,316	20,172	4	23	2	21,529	5	29	3	21,475	0,0542
63,214	28,539	4	23	2	22,317	5	30	3	22,267	0,05
50,063	9,5813	4	26	1	12,992	8	10	3	12,933	0,0584
60,909	9,5571	4	26	1	11,729	2	21	2	11,783	0,0541
65,498	- 7,4445	4	26	1	9,0542	3	23	2	9,1125	0,0583
53,132	18,853	4	26	2	20,013	6	3	1	19,967	0,0458
60,401	14,065	4	27	2	14,588	8	28	1	14,575	0,0125
59,051	16,844	4	28	1	0,4708	3	8	2	0,4417	0,0291
62,877	27,174	4	29	1	10,996	6	5	2	11,05	0,0542
59,188	12,72	4	30	3	22,304	1	9	2	22,263	0,0417
59,358	23,553	4	32	2	14,75	8	28	1	14,75	0
57,498	0,2531	3	1	1	16,642	7	17	2	16,675	0,0333
52,699	17,493	3	5	3	8,85	6	25	1	8,8917	0,0417
66,358	22,026	3	5	3	11,067	5	29	1	11,042	0,025
54,494	15,544	3	8	2	0,4417	1	28	1	0,3917	0,05

59,051	16,844	3	8	2	0,4417	4	28	1	0,4708	0,0291
52,645	8,0717	3	8	3	16,104	7	1	1	16,133	0,0291
58,498	- 9,2199	3	8	3	13,354	5	7	2	13,329	0,025
60,314	18,347	3	10	3	15,663	2	32	2	15,729	0,0667
60,629	20,168	3	10	3	15,829	4	14	2	15,783	0,0459
61,126	24,416	3	10	3	16,117	4	22	2	16,042	0,075
52,605	10,678	3	11	2	17,792	8	3	1	17,842	0,05
52,834	10,552	3	11	2	17,746	8	22	1	17,825	0,0792
50,259	15,211	3	17	2	5,3333	7	25	1	5,375	0,0417
52,098	22,942	3	17	3	5,4583	8	6	1	5,4583	0
59,983	16,305	3	18	3	14,058	2	10	2	13,975	0,0833
49,732	12,408	3	19	2	2,9667	7	13	1	2,9583	0,0084
39,467	9,9285	3	19	3	5,3333	7	15	1	5,3583	0,025
50,449	12,691	3	19	3	5,3333	8	25	1	5,3083	0,025
65,498	- 7,4445	3	23	2	9,1125	4	26	1	9,0542	0,0583
52,217	9,6032	3	24	2	1,6292	7	13	1	1,5667	0,0625
57,695	4,218	3	24	2	3,575	2	15	1	3,5292	0,0458
57,51	6,6568	3	24	2	3,0958	4	1	1	3,0125	0,0833
50,003	15,243	3	24	3	6,8458	2	2	2	6,8875	0,0417
50,385	15,006	3	24	3	6,8	2	6	1	6,7458	0,0542
51,307	- 7,0786	3	25	2	4,7167	5	10	1	4,7042	0,0125
54,312	- 3,0295	3	25	3	5,175	6	14	1	5,1167	0,0583
54,39	- 2,9074	3	25	3	5,1917	6	14	2	5,125	0,0667
54,543	15,977	3	26	2	20,496	6	23	1	20,558	0,0625
57,968	4,389	3	27	2	11,663	2	26	1	11,617	0,0458
58,083	11,014	3	29	1	9,4583	4	21	2	9,4167	0,0416
64,15	- 10,111	3	30	3	13,413	5	7	2	13,329	0,0833
64,992	- 7,9682	3	30	3	13,142	4	8	2	13,217	0,075
50,934	- 0,6097	3	32	2	5,4083	7	24	1	5,3667	0,0416
62,759	34,812	9	2	1	8,9083	4	5	2	8,9333	0,025
56,005	7,3396	9	2	2	22,783	6	5	3	22,767	0,0166
58,748	11,183	9	2	2	22,233	2	7	3	22,271	0,0375
63,042	14,361	9	6	2	19,15	5	9	3	19,146	0,0042
54,38	26,153	9	7	3	21,233	7	16	2	21,3	0,0667
52,427	21,517	9	7	3	20,925	3	3	1	20,967	0,0417

58,979	21,565	9	9	3	22,542	7	16	2	22,508	0,0334
59,554	24,427	9	9	3	21,283	7	26	2	21,325	0,0417
59,416	23,32	9	9	3	20,983	8	26	2	20,975	0,0083
52,671	12,846	9	9	3	18,767	3	1	1	18,717	0,05
58,49	22,119	9	11	2	16,45	5	8	3	16,396	0,0542
54,948	11,097	9	12	2	18,133	3	1	1	18,133	0
60,758	17,331	9	13	1	0,5167	3	8	2	0,4417	0,075
63,576	49,344	9	13	2	11,55	5	29	1	11,508	0,0417
53,519	17,474	9	16	1	13,433	7	21	2	13,392	0,0416
52,074	37,802	9	22	1	20,55	5	26	3	20,483	0,0667
59,775	19,822	9	26	1	10,583	8	5	2	10,542	0,0416
60,508	41,593	9	26	2	20,342	5	16	3	20,421	0,0791
48,242	25,449	9	27	2	15,792	6	3	1	15,8	0,0083
60,966	14,977	9	27	2	11,758	5	29	1	11,763	0,0042
59,724	28,022	9	29	1	9,2083	6	2	3	9,25	0,0417
54,645	16,696	9	29	1	11,692	6	21	3	11,75	0,0583
52,938	18,912	9	30	3	21,85	7	23	1	21,817	0,0333
57,869	22,46	9	30	3	23,075	1	9	2	23,15	0,075
67,352	1,1752	9	31	1	6,6167	1	3	2	6,6875	0,0708
67,352	1,1752	9	31	1	6,6167	1	3	2	6,6875	0,0708
49,139	13,529	7	1	1	18,4	2	9	2	18,346	0,0542
47,451	14,5	7	1	1	18,842	2	31	2	18,804	0,0375
52,645	8,0717	7	1	1	16,133	3	8	3	16,104	0,0291
59,058	24,203	7	2	1	9,1167	1	5	2	9,0542	0,0625
48,813	1,3401	7	2	2	22,825	4	13	3	22,75	0,075
53,904	1,4799	14	2	2	22,667	4	13	3	22,75	0,0833
52,633	0,3226	14	2	2	22,908	3	13	3	22,929	0,0209
56,917	13,987	14	3	1	18,1	13	23	2	18,075	0,025
54,45	20,358	14	3	1	20,458	7	26	2	20,425	0,0333
54,296	20,608	14	3	1	16,517	5	8	3	16,458	0,0584
57,819	32,67	14	4	2	19,9	9	9	3	19,85	0,05
51,947	22,023	14	5	2	8,6167	7	29	1	8,5333	0,0834
54,173	22,967	14	5	2	8,6167	6	29	1	8,7	0,0833
63,521	24,333	14	5	2	10,783	4	29	1	10,754	0,0291
51,034	7,4102	14	5	3	23,992	12	13	2	23,967	0,025
56,773	25,6	14	6	1	5,7417	6	17	2	5,7083	0,0334
56,729	25,67	14	6	1	5,725	6	17	3	5,7167	0,0083
54,642	16,436	14	7	3	21,958	6	23	1	21,9	0,0583
52,711	12,493	14	7	3	21,367	5	6	2	21,363	0,0042
54,335	12,835	14	11	2	17,158	5	17	3	17,204	0,0459
55,914	17,832	14	14	2	16,325	3	22	1	16,388	0,0625

47,868	22,269	14	14	2	14,767	3	22	1	14,758	0,0084
49,474	18,911	14	16	2	20,692	7	3	1	20,617	0,075
50,974	24,757	14	17	2	5,975	12	6	1	6,0583	0,0833
49,726	24,151	14	17	2	5,975	6	2	1	6,0167	0,0417
64,87	31,21	14	17	2	5,9917	5	24	1	5,9375	0,0542
64,534	31,342	14	17	2	5,975	5	24	1	6,0083	0,0333
57,456	27,905	14	17	2	5,975	4	2	1	5,9958	0,0208
46,433	23,206	14	17	3	6,05	12	2	1	6,125	0,075
40,568	23,808	14	18	2	10,583	12	25	1	10,542	0,0416
57,711	31,306	14	19	2	6,875	9	2	1	6,825	0,05
61,842	33,547	14	19	2	6,875	9	6	1	6,9083	0,0333
51,019	27,676	14	19	2	6,875	9	24	1	6,9167	0,0417
57,371	2,3503	14	19	3	18,967	15	9	2	19,008	0,0416
52,759	5,3497	14	22	1	15,492	15	3	2	15,558	0,0666
52,759	5,3497	14	22	1	15,492	15	3	2	15,558	0,0666
56,905	13,984	14	22	1	18			13	23	2
56,835	15,118	14	22	1	17,683	5	25	2	17,654	0,0291
66,615	- 5,1823	14	23	1	9,2917	13	5	2	9,3	0,0083
52,897	9,6963	14	23	2	18,333	8	22	1	18,333	0
55,421	13,942	14	24	1	5,4167	3	19	3	5,3333	0,0834
51,872	- 3,0205	14	25	1	9,8	15	27	2	9,85	0,05
62,22	21,348	14	25	1	7,1	3	6	3	7,1125	0,0125
58,523	- 12,978	14	26	1	9,4417	15	5	2	9,475	0,0333
56,626	9,385	14	26	1	10,742	3	21	2	10,813	0,0708
51,599	19,316	14	26	2	20,108	8	9	1	20,15	0,0417
52,675	19,719	14	26	2	20,108	6	3	1	20,175	0,0667
52,881	19,542	14	26	3	21,858	7	23	1	21,9	0,0417
67,458	24,929	14	26	3	22,15	4	16	2	22,075	0,075
67,524	24,823	14	26	3	22,158	4	16	2	22,1	0,0583
64,016	23,658	14	26	3	21,858	4	23	2	21,921	0,0625
57,405	9,0423	14	27	2	11,325	1	29	1	11,263	0,0625
58,754	0,3524	14	30	2	12,317	3	8	3	12,263	0,0542
52,645	0,2952	14	30	3	12,325	12	8	2	12,283	0,0417
62,743	0,3519	14	30	3	12,325	9	8	2	12,325	0
60,6	0,3399	14	30	3	12,325	1	8	2	12,375	0,05
52,458	5,3527	14	31	1	10,142	13	20	2	10,108	0,0334
61,457	31,884	14	32	3	17,967	9	14	2	17,942	0,025
50,752	9,7109	12	1	1	15,533	13	3	2	15,45	0,0833
50,752	9,7109	12	1	1	15,533	13	3	2	15,45	0,0833

48,518	- 0,7606	12	1	1	17,767	13	31	2	17,85	0,0833
48,394	- 1,0907	12	1	1	17,833	5	12	2	17,771	0,0625
46,433	23,206	12	2	1	6,125	14	17	3	6,05	0,075
56,124	3,2467	12	2	2	20,192	3	3	1	20,121	0,0709
48,496	20,051	12	3	1	16,783	9	8	2	16,8	0,0167
54,914	-0,161	12	5	3	21,767	2	6	2	21,833	0,0666
50,974	24,757	12	6	1	6,0583	14	17	2	5,975	0,0833
52,645	0,2952	12	8	2	12,283	14	30	3	12,325	0,0417
52,331	5,5517	12	8	2	12,75	2	26	1	12,75	0
45,723	29,255	12	9	1	0,0083	6	8	2	0,0583	0,05
49,624	13,835	12	9	2	20,625	1	7	3	20,646	0,0208
49,919	20,264	12	9	2	20,917	5	7	3	20,863	0,0542
49,651	13,893	12	9	2	20,65	4	7	3	20,596	0,0542
50,372	0,3091	12	11	1	15,433	15	14	2	15,417	0,0166
39,897	17,716	12	11	1	18,8	5	9	3	18,854	0,0542
49,726	12,509	12	12	1	5,3667	3	19	3	5,3333	0,0334
51,034	7,4102	12	13	2	23,967	14	5	3	23,992	0,025
51,028	7,2673	12	13	2	23,942	7	5	3	23,992	0,05
47,81	19,565	12	14	2	15,842	8	3	1	15,917	0,075
51,395	9,452	12	15	1	1,625	3	24	2	1,6292	0,0042
53,532	5,4623	12	16	1	10,15	13	20	2	10,108	0,0417
47,509	21,481	12	16	3	21,058	7	3	1	21,025	0,0333
51,172	23,137	12	16	3	21,15	3	3	2	21,117	0,0333
51,172	23,137	12	16	3	21,15	3	3	2	21,117	0,0333
54,024	26,534	12	18	2	14,692	8	10	3	14,733	0,0416
47,544	22,774	12	20	2	10,175	4	25	1	10,154	0,0208
41,302	4,9646	12	22	1	14,642	13	32	2	14,65	0,0083
49,824	17,952	12	22	1	18,65	9	25	2	18,625	0,025
40,568	23,808	12	25	1	10,542	14	18	2	10,583	0,0416
46,718	19,805	12	25	1	9,5583	7	20	2	9,6083	0,05
46,419	20,044	12	25	1	9,6417	3	20	2	9,6917	0,05
49,113	12,9	12	26	1	11,133	6	4	2	11,217	0,0834
49,096	12,909	12	26	1	11,142	6	4	3	11,225	0,0833
49,749	- 1,0971	12	27	1	13,383	15	1	2	13,45	0,0667
50,967	5,5527	12	27	1	12,183	15	10	2	12,175	0,0083
50,86	4,5759	12	27	1	12,35	2	13	2	12,342	0,0083
50,98	10,382	12	27	1	12,158	3	10	2	12,204	0,0459
50,537	20,044	12	29	1	10,2	8	20	2	10,2	0
49,627	24,316	12	29	1	8,4167	4	6	2	8,4458	0,0291

49,481	15,324	12	30	2	23,625	1	28	3	23,663	0,0375
49,322	20,359	12	32	2	15,55	8	22	1	15,592	0,0417
51,862	21,033	12	32	2	16,542	6	3	1	16,525	0,0167
46,485	21,625	12	32	2	14,65	3	22	1	14,713	0,0625
49,749	- 1,0971	15	1	2	13,45	12	27	1	13,383	0,0667
50,752	9,7109	13	3	2	15,45	12	1	1	15,533	0,0833
50,752	9,7109	13	3	2	15,45	12	1	1	15,533	0,0833
59,849	- 14,068	13	5	1	0,7917	10	30	3	0,85	0,0583
66,615	- 5,1823	13	5	2	9,3	14	23	1	9,2917	0,0083
70,011	- 5,4465	13	5	2	10,092	1	9	1	10,054	0,0375
57,764	- 4,4938	13	5	2	9,3	2	25	1	9,2208	0,0792
68,682	1,1984	13	6	1	6,675	1	3	2	6,6875	0,0125
68,682	1,1984	13	6	1	6,675	1	3	2	6,6875	0,0125
45,769	10,661	13	9	2	18,35	8	11	1	18,308	0,0417
53,302	12,416	13	9	2	18,533	3	1	1	18,588	0,0542
58,874	-4,02	13	10	2	12,683	3	8	3	12,729	0,0459
42,056	0,0624	13	11	2	18,2	8	9	1	18,117	0,0833
61,967	- 22,615	13	11	2	14,15	2	30	3	14,183	0,0333
63,341	- 14,889	13	13	1	0,8917	10	30	3	0,85	0,0417
52,651	8,0189	13	14	2	15,275	7	1	1	15,35	0,075
51,813	- 6,4721	13	15	1	4,7917	3	25	2	4,7792	0,0125
53,422	- 26,194	13	15	3	23,392	15	2	2	23,408	0,0166
68,698	14,824	13	16	2	21,358	5	2	3	21,333	0,025
67,094	- 11,015	13	16	2	21,292	4	5	3	21,275	0,0167
67,638	- 30,635	13	18	1	1,2583	10	28	3	1,2917	0,0334
68,803	-36,13	13	18	1	0,9167	10	30	2	0,8417	0,075
52,458	5,3527	13	20	2	10,108	14	31	1	10,142	0,0334
53,532	5,4623	13	20	2	10,108	12	16	1	10,15	0,0417
61,818	10,159	13	20	2	10,267	5	31	1	10,183	0,0834
56,917	13,987	13	23	2	18,075	14	3	1	18,1	0,025
56,905	13,984	13	23	2	18,075	14	22	1	18	0,075
48,886	12,013	13	23	2	17,517	7	11	1	17,517	0
48,007	2,3387	13	26	3	21,142	6	3	1	21,2	0,0583

56,584	- 16,037	13	31	1	10,317	2	27	2	10,363	0,0458
48,518	- 0,7606	13	31	2	17,85	12	1	1	17,767	0,0833
41,302	4,9646	13	32	2	14,65	12	22	1	14,642	0,0083
49,749	- 1,0971	15	1	2	13,45	12	27	1	13,383	0,0667
53,422	- 26,194	15	2	2	23,408	13	15	3	23,392	0,0166
52,759	5,3497	15	3	2	15,558	14	22	1	15,492	0,0666
48,065	4,8738	15	3	2	15,425	7	22	1	15,392	0,0333
52,759	5,3497	15	3	2	15,558	14	22	1	15,492	0,0666
48,065	4,8738	15	3	2	15,425	7	22	1	15,392	0,0333
58,523	- 12,978	15	5	2	9,475	14	26	1	9,4417	0,0333
54,228	- 12,025	15	5	2	9,475	8	26	1	9,4083	0,0667
62,411	-13,84	15	5	2	9,475	1	16	1	9,5083	0,0333
62,779	- 13,922	15	5	2	9,475	2	16	1	9,425	0,05
67,227	- 27,981	15	8	1	1,175	10	28	2	1,1833	0,0083
67,227	- 27,981	15	8	1	1,175	10	28	2	1,1833	0,0083
51,464	- 8,7521	15	8	2	16,583	8	11	1	16,642	0,0584
57,371	2,3503	15	9	2	19,008	14	19	3	18,967	0,0416
50,967	5,5527	15	10	2	12,175	12	27	1	12,183	0,0083
60,833	- 13,626	15	11	2	13,817	3	30	3	13,767	0,05
50,372	0,3091	15	14	2	15,417	12	11	1	15,433	0,0166
55,193	- 1,3062	15	20	2	10,275	8	16	1	10,2	0,075
54,121	- 1,2808	15	20	2	10,275	2	31	1	10,338	0,0625
71,897	- 1,7015	15	20	2	12,558	5	8	3	12,554	0,0041
58,661	-13,26	15	21	2	9,5833	3	26	1	9,6083	0,025
56,606	- 1,0853	15	24	1	6,5417	3	32	3	6,5667	0,025
60,143	- 16,443	15	26	1	11,825	2	8	2	11,817	0,0083
74,134	- 16,748	15	26	3	21,992	10	23	2	21,908	0,0834
74,092	- 16,537	15	26	3	21,975	10	23	2	21,892	0,0833

51,872	- 3,0205	15	27	2	9,85	14	25	1	9,8	0,05
45,549	- 0,2479	15	32	2	14,8	8	22	1	14,858	0,0583
49,179	- 0,2676	15	32	2	14,8	1	22	1	14,804	0,0042



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway