

## Oppgave 1C.4: Analyse av stjerner

Kandidatnummer: 15851

Universitetet i Oslo\*

(Dated: 30. september 2019)

I denne rapporten har vi brukt data fra [3], som inneholder bølgelengde, fluks, når målingene ble gjort, og massen til fem stjerner. Vi har regnet ut hastigheten til stjernene om massesenteret, og brukt denne informasjonen samt informasjonen om fluks, til å konkludere om stjernene har en planet i bane rundt seg, og planeten sine egenskaper. På grunn av støyete data brukte vi minste kvadraters metode, til å finne analytiske uttrykk for hastighetsplottene. Vi kunne observere at noen av stjernene hadde en planet i bane rundt seg, og fikk regnet ut en nedre grense av massene til planetene. Vi prøvde også å regne ut radius og massetetthet, men på grunn av unøyaktig flux data, klarte vi ikke det.

### I. INTRODUKSJON

Når Solen brenner opp, eller store nok naturlige katastrofer skjer, vil jorda bli ubeboelig for oss. På grunn av dette, vet vi at vi har en begrenset tid igjen på Jorda. Dette gir oss insentiv til å finne andre potensielle planeter, som vi kan kalle vårt hjem i fremtiden. For å gjøre dette må vi finne disse planetene, og vite dets egenskaper. Siden vi ikke har presise nok teleskoper, kan vi sjeldent faktisk observere en planet. Vi er i stedet avhengig av å beskrive planeten, utifra det vi observerer skjer med stjernen den har bane rundt.

I denne rapporten bruker vi data fra [3] til å undersøke om stjerner har en planet i bane rundt seg, og noen av egenskapene til den planeten. Datasettet inneholder observert bølgelengde, relativ fluks, tidspunktet dataene ble observert, og massen til fem stjerner. Faktorer som jordas rotasjon er allerede tatt høyde for.

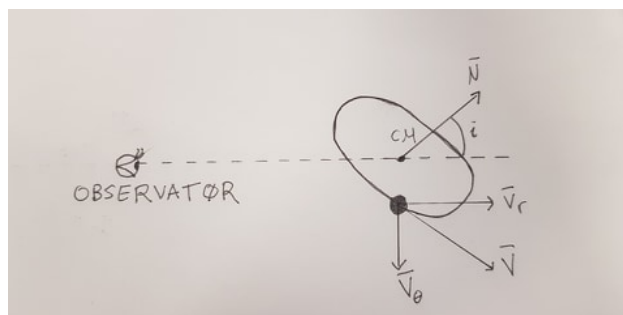
Dataen er støyete, og det er derfor vanskelig å lese av data. Vi bruker ofte øyemål for å finne informasjonen vi trenger, siden dette ikke er presist, velger vi å bruke minste kvadraters metode, til å finne analytiske uttrykk der det er mulig.

Vi bruker doppler effekten til å finne hastigheten til stjernen om massesenteret, og deretter hastigheten til å undersøke om stjernen har en planet i bane rundt seg. Hvis stjernen har en planet i bane rundt seg, prøver vi også å finne en nedre grense for massen til planeten. Ved å se på fluksen burde vi kunne registrere om planeten til stjernen beveger seg foran stjernen. Deretter kan vi bruke all den overnevnte informasjonen til å finne radiusen og massetettheten til planeten.

Vi har også en teoridel som går igjennom viktige begreper og noe teori som er verdt å merke seg, før man leser rapporten.

### II. TEORI

I teoridelen går vi hovedsakelig igjennom betydningen av begreper, men også litt teori.



Figur 1. Ellipsebanen til et legeme om massesenteret: Der den stiplede linjen er synslinjen,  $\vec{v}$  er hastighetskomponenten til legeme,  $\vec{v}_r$  er radiell hastighetskomponent,  $\vec{v}_\theta$  er hastighetskomponenten normalt på synslinjen,  $\vec{N}$  er normalvektoren til planet ellipsen omslutter,  $i$  er inklinasjonsvinkel, og massesenteret er markert med CM.

Gjennom Newtons andre lov og Newtons gravitasjonslov, kan vi utlede at legemer har en ellipsebane om hverandre, og ellipsebane om et felles massesenter (se [2]). Dette betyr i tillegg til at massesenteret kan ha en konstant hastighet, kan legemet ha en hastighet om massesenteret. Den radielle hastighetskomponenten  $\vec{v}_r$  til legemet vil derfor være summen av massesenteret sin radielle hastighet, og radiellhastigheten til legemet om massesenteret. Radiellhastigheten til massesenteret er det vi kaller egenhastighet.

I tillegg er det verdt å merke seg betydningen av inklinasjonsvinkelen. Inklinasjonsvinkelen er vinkelen mellom normalvektoren  $\vec{N}$ , og synslinjen. Inklinasjonsvinkelen vil bestemme hvor stor tangensialhastigheten er. Det burde falle naturlig at jo mindre inklinasjonsvinkelen er, jo mindre blir tangensialhastigheten. Dette viser seg faktisk å være tilfellet, og formelen som illustrerer det er på formen;  $|\vec{v}_r| = v \sin(i)$ , der  $|\vec{v}_r|$  er absoluttverdien av tangensialhastigheten,  $v$  er farten til stjernen, og  $i$  er inklinasjonsvinkelen. Se side 3 i [1] for utledelse og mer informasjon.

\* astrologi@gmail.com

### III. METODE

Når noe beveger seg fra eller mot oss vil det oppstå doppler effekt. Doppler effekten går ut på at hvis noe beveger seg mot deg, blir bølgelengden til lyset fra det objektet mindre, og hvis noe beveger seg fra deg blir bølgelengden større. Formelen for doppler effekten, hentet fra side 3 i [1] er som følger:

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c} \quad (1)$$

Der  $\lambda$  er observert bølgelengde,  $\lambda_0$  er bølgelengden,  $c$  er lysfarten, og  $v_r$  er hastigheten rettet mot eller fra observatøren. I datasettene fra [3] finner vi observert bølgelengde og at  $\lambda_0 = 656.28\text{nm}$ . Bruker vi dette og formel 1, kommer vi fram til et uttrykk for den radiale hastigheten til stjernen. Doppler effekten til stjernen vil være en kombinasjon av egenhastigheten, og hastigheten til stjernen om massesenteret. Vi er ikke interessert i egenhastigheten, og velger derfor å fjerne den. Siden egenhastigheten er gjennomsnittet av hastigheten, og hastigheten til stjernen er summen av, egenhastigheten og hastigheten til stjernen om massesenteret, finner vi egenhastigheten gjennom å trekke fra gjennomsnittshastigheten fra alle hastighetsverdiene i datasettet.

Etter vi har funnet hastighetene til alle stjernene, kan vi plote de som en funksjon av tid. Stjernene med en varierende hastighetskurve burde ha en planet i bane rundt seg. Som vi beskrev i teoridelen, vil stjerner med et annet legeme i bane rundt seg, få en hastighet om massesenteret. Her er det viktig å merke seg at vi ikke kan avkrefte om stjernen har en planet i bane rundt seg. Vi beskrev i teoridelen at hvis inklinasjonsvinkelen blir mindre, vil egenhastigheten bli lavere. Så det kan hende at stjernen har en planet i bane rundt seg, men at inklinasjonsvinkelen er for liten for at vi kan observere det.

Vi kan bruke hastighetplottene og øyemål til å finne en nedre grense for massene til planetene. En kombinasjon av Keplers tredje lov, som sier noe om forholdet mellom perioden og store halvaksen, og posisjonsvektorene til planeten og stjernen i forhold til massesenteret, kan vi utlede følgende formel:

$$m_p \sin(i) = \frac{m_*^{2/3} v_{*r} P^{1/3}}{(2\pi G)^{1/3}} \quad (2)$$

Der  $m_p$  er massen til planeten,  $i$  er inklinasjonsvinkelen,  $m_*$  massen til stjernen,  $v_{*r}$  er maksimal egenhastighet til stjernen,  $P$  er perioden til stjernen, og  $G$  er gravitasjonskonstanten (se side 5 og 6 for i [1] for utledning). Vi kan utfra dette finne en nedre grense for massene til planetene. Vi beskrev i teoridelen at jo nærmere inklinasjonsvinkelen blir 90 grader, jo større blir egenhastigheten. Det følger naturligvis at hvis vi regner ut likning 2 med inklinasjonsvinkel lik 90 grader, finner vi en nedre grense for massen til planeten. Vi kan bruke øyemål til å finne en omtrentlig periode og maks radiell hastighet. Perioden

burde være endringen i tid mellom to topppunkt i hastighetsplottet, så hvis vi tar en øvre og nedre begrensning på hva den kan være, deler på to, burde vi finne en omtrentlig periode. Grunnen til at vi gjør det på denne måten, er fordi det er lettere å beslutte hva verdiene burde være innafor, enn hva de egentlig er. Siden det burde være like mye positiv og negativ støy, burde maks egenhastighet være rundt midt på toppunktet til grafen. Igjen finner vi en øvre og en nedre begrensning på hva den bør være, og deler på to. Her kan det også hjelpe å få en kollega til å se på det også, slik at du har flere øyemål å ta utgangspunkt i.

På grunn av de støyete grafene, er det vanskelig å finne nøyaktig periode og maks egenhastighet. Vi velger derfor å bruke minste kvadraters metode, til å finne et analytisk uttrykk for hastighetskurven, og deretter finne perioden og hastigheten, med det nye plottet. Vi velger å bruke minste kvadraters metode, siden den er rask og enkel å bruke. Ved bruk av geometri kan vi utlede det analytiske uttrykket til hastigheten:

$$v_r^{model}(t) = v_r \cos\left(\frac{2\pi}{P}(t - t_0)\right) \quad (3)$$

Der  $v_r^{model}(t)$  er den analytiske modellen,  $v_r$  er maks radiell hastighet,  $P$  er perioden,  $t$  er tidssteg og  $t_0$  er tidspunktet vi har  $v_r$ . Formelen og utledning finner man i [1]. Perioden, maks radiell hastighet, og  $t_0$  er ukjent, for å finne disse verdiene bruker vi minste kvadraters metode. Minste kvadrater metode brukes til å finne den mest sannsynlige hastighetskurven. Det gjør vi ved å teste for forskjellige uttrykk av  $t_0$ ,  $P$  og  $v_r$  for formelen under, og velge den kombinasjonen som gir minst mulig sum. Formelen under stammer fra sannsynlighetsuttrykket brukt til å finne sannsynligheten til at en gitt hastighetskurve stemmer.

$$\sum_t (v_r^{data}(t) - v_r^{model}(t, t_0, P, v_r))^2 \quad (4)$$

Her er  $t$  er alle tidsstegene, og  $v_r^{data}(t)$  er observert egenhastighet (se [1] for mer informasjon og utledning). For å finne verdiene vi skal teste for, finner vi først hva verdiene maksimalt kan være, deretter hva de minimalt kan være, deler det opp, og tester for verdiene vi har delt opp i. Vi bruker de samme maksimum og minimum verdiene vi fant over, og det gjenstår derfor bare å finne maksimum og minimum for  $t_0$ . Vi må også bestemme hvor mange verdier vi skal dele opp i, jo flere deler du ser på, jo mer presist blir svaret, men på bekostning av at koden går saktere. Vi fant at det å dele opp i 20 ga rimelig rask kode, med et tilsynelatende presist resultat. Det er viktig å merke seg at det finnes andre metoder enn minste kvadraters metode. Det resultatet vi har fått nå er den mest sannsynlige kurven til det datasettet vi har, og med oppdelingen vi valgte. En person som for eksempel deler opp i 30, og ikke i 20 som vi gjorde, vil antageligvis få et mer presist resultat. Så med dette resultatet har vi et uttrykk for mest sannsynlig maksimal egenhastighet og

periode. Vi kan igjen bruke formel 2, og få et uttrykk for mest sannsynlig minste grense, til planetmassene.

Hvis inklinasjonsvinkelen til planeten er 90 grader, burde planetene av og til gå i bane foran stjernen. Hvis vi plotter flux som en funksjon av tid, burde vi kunne observere en endring i flux når planeten beveger seg foran stjernen. Avhengig av hvordan dette plottet ser ut, burde vi kunne regne ut radiusen til planeten, og deretter massetettheten. Siden plottene er støyete kan det være vanskelig å skille mellom mye støy, og en faktisk planet som gir redusert flux. Vi ser kun på de stedene der det er en endring i fluks, på mer enn to ganger hva støyet ordinært produserer, og kan derfor si med stor sikkerhet at det var en planet som forårsaket endringen i fluks. Vi utelukker ikke at det også kan være andre punkter som er verdt å ser på. Det følger fra teoridelen at inklinasjonen er tilnærmet 90 grader, hvis vi observerer at en planet beveger seg foran stjernen, derfor vet vi at formel 2 burde gi et ganske nøyaktig svar for massen til planeten. Her henter vi uttrykket for  $v_{*r}$  og  $P$  fra det analytiske uttrykket, siden det burde være mer nøyaktig enn øyemål. Ved å bruke posisjonsvektorene til stjernen, og planeten, kan vi komme fram til følgende uttrykk for maks radiell hastighet til planeten:

$$v_{pr} = v_{*r} \frac{m_*}{m_p} \quad (5)$$

Her er  $v_{pr}$  maks radiell hastighet til planeten,  $v_{*r}$  maks radiell hastighet til stjernen,  $m_*$  massen til stjernen, og  $m_p$  massen til planeten (se [1]). Siden alle verdiene er kjent, kan vi anvende strekningsformelen for å regne ut radiusen til planeten.

$$2R_p = (v_{*r} + v_{pr})(t_1 - t_0) \quad (6)$$

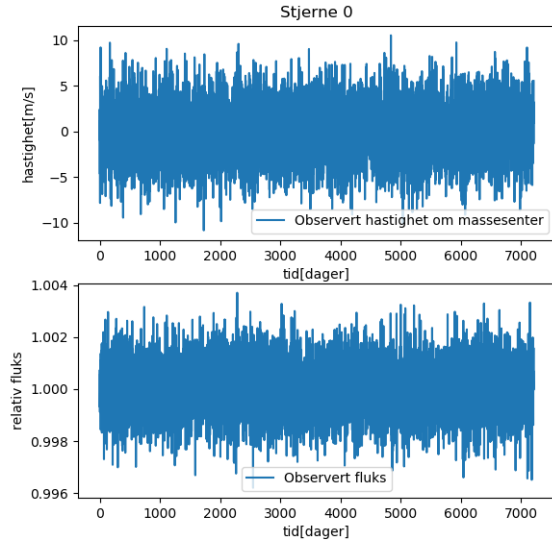
Der  $t_1$  er tidspunktet planeten begynner å bevege seg foran stjernen, og  $t_0$  er tidspunktet hele planeten er foran stjernen (se side 8 i [1]). Grunnen til at vi summerer hastighetene til stjernen og planeten, er siden vi trenger hastigheten til planeten relativ til stjernen, ikke hastigheten til planeten relativ til massesenteret. For å finne  $t_0$  og  $t_1$  bruker vi øyemål på fluks plottet. Øyemål vil ikke være den mest nøyaktige måten å gjøre dette på, men gir et raskt og presist nok svar for våre formål. Når vi har radiusen og massen til planeten, kan vi anvende det at massetetthet er masse delt på volum, til å finne massetettheten til planeten. Formelen i vårt tilfelle blir på formen:

$$\rho_p = \frac{m_p}{4/3\pi R_p^3} \quad (7)$$

Der  $\rho_p$  er massetettheten til planeten (se side 8 i [1]). Når vi har massetettheten kan vi også beslutte om planeten er en gassplanet eller en steinplanet. Steinplanetene burde ha en massetetthet på rundt 4-5 ganger større enn massetettheten til vann, og massetettheten til en gassplanet burde ha en massetetthet på rundt 0.7-1.7 ganger massetettheten til vann (hentet fra [1]).

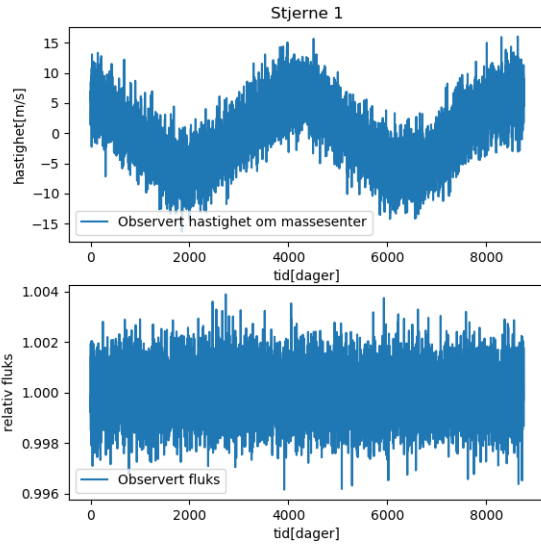
## IV. RESULTAT

Resultatdelen følger ikke samme rekkefølge som hoveddelen, vi går igjennom hver stjerne hver for seg.



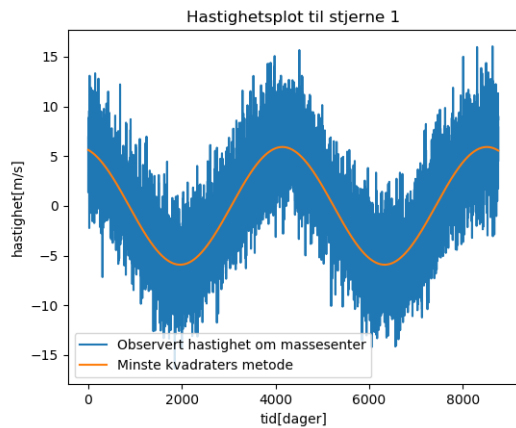
Figur 2. Hastighet og flux som funksjon av tid: Figuren over viser hastigheten til stjernen om massesenteret, og relativ flux fra stjernen, som funksjon av tid. Det øverste plottet er hastighetsplottet, der x-aksen er tid i dager og y-aksen er hastighet i m/s. Det nederste plottet viser relativ flux, der y-aksen er relativ fluks, og x-aksen er tid i dager.

Figuren over viser hastigheten og fluksen til stjerne 0. Vi klarer ikke å observere varierende hastighet i dette plottet, heller ingen endring i fluks større enn grensen vi satte.



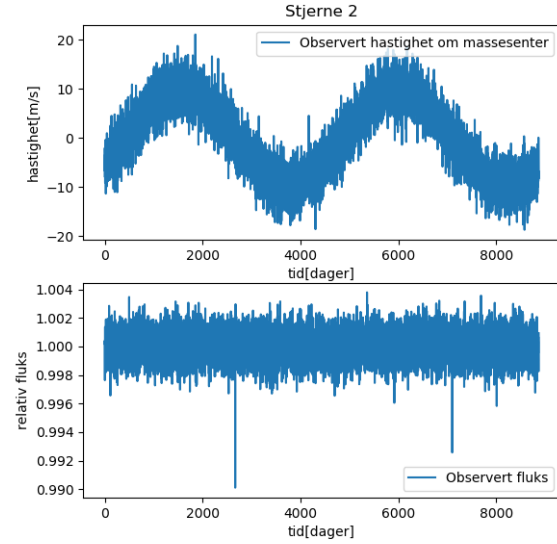
Figur 3. Hastighet og flux som funksjon av tid til stjerne 1. Samme beskrivelse som figurtekst 2.

Plottene viser hastigheten og fluksen fra stjerne 1, og vi ser en tydelig variasjon i hastigheten, men fortsatt ikke noe variasjon i fluks med vår toleranse. Med øyemål fikk vi at perioden burde ligge mellom 4000 og 5000 dager, maks hastighet mellom 2.5 og 7.5 m/s, og tidspunktet til maks hastighet lå mellom 3800 og 4400 dager. Ved å anvende minste kvadrater metode fikk vi at de mest sannsynlige verdiene var en periode på 4368.42 dager, maks hastighet på 5.92 m/s, og  $t_0$  lik 4147 dager. Vi plottet det analytiske uttrykket over den observerte hastigheten og fikk:



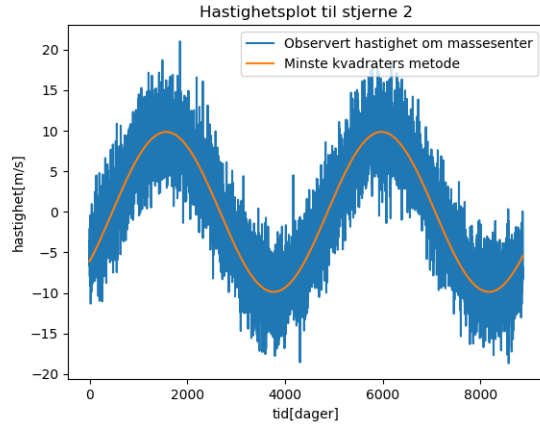
Figur 4. Analytisk og observert hastighetsplot: Figuren viser det analytiske hastigheten, og den observerte hastigheten, til stjerne 1 som funksjon av tid. Den oransje linjen er det analytiske plottet.

Som sagt fant vi maks hastighet og periode ved å ta halvparten av summen av øvre og nedre begrensningen til begge to. Da fikk vi at  $v_{*r} = (2.5\text{m/s} + 7.5\text{m/s})/2 = 5\text{m/s}$ , og at  $P = (4000\text{dager} + 5000\text{dager})/2 = 4500\text{dager} = 4500 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\text{s}$ . Dette gir en nedre begrensning på  $m_p = 1.14 \cdot 10^{27}$  som er sirka 191 ganger massen til jordka.



Figur 5. Hastighet og flux som funksjon av tid til stjerne 2. Samme beskrivelse som figurtekst 2.

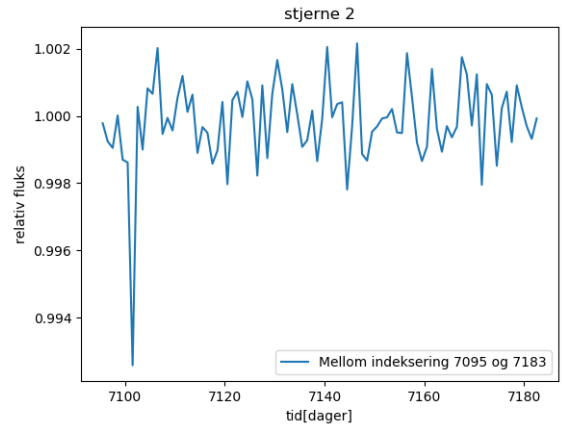
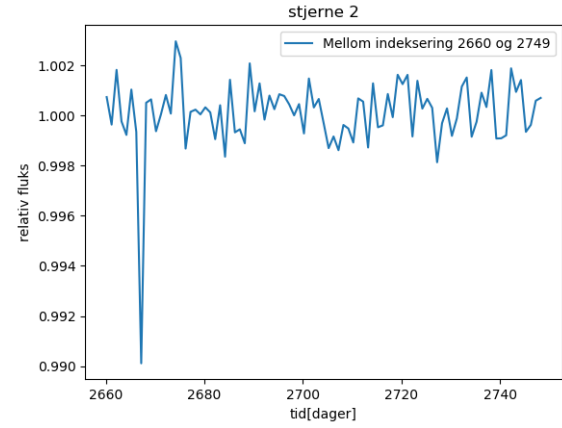
Her kan vi også se en tydelig variasjon i hastigheten, i tillegg til noen store avvik i fluksen. Med øyemål fikk vi at perioden burde ligge mellom 3900 og 5500 dager, maks hastighet mellom 7.5 og 12.5 m/s, og tidspunktet til maks hastighet lå mellom 1000 og 1900 dager. Ved å anvende minste kvadrater metode fikk vi at de mest sannsynlige verdiene var en periode på 4405.26 dager, maks hastighet på 9.87 m/s, og  $t_0$  lik 1568.42 dager. Vi plottet det analytiske uttrykket over den observerte hastigheten og fikk:



Figur 6. Analytisk og observert hastighetsplot: Figuren viser det analytiske hastigheten, og den observerte hastigheten, til stjerne 2 som funksjon av tid. Den oransje linjen er det analytiske plottet.

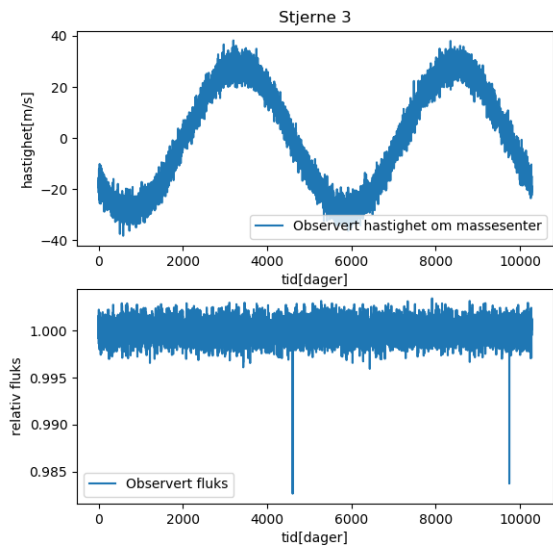
Igjen bruker vi samme metode for å finne minste begrensning for hva massen til planeten kan være. Da fikk vi at  $v_{sr} = (7.5\text{m/s} + 12.5\text{m/s})/2 = 10\text{m/s}$ , og at  $P = (3900\text{dager} + 5500\text{dager})/2 = 4700\text{dager} = 4700 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\text{s}$ . Dette gir en nedre begrensning på  $m_p = 1.59 \cdot 10^{27}$  som er cirka 266 ganger massen til Jorda. Ved å bruke det analytiske uttrykket får vi  $m_p = 1.59 \cdot 10^{27}$ , altså 265 ganger mer massiv en Jorda. Ved å bruke det analytiske uttrykket får vi  $m_p = 1.34 \cdot 10^{27}$ , altså 224 ganger mer massiv en Jorda.

Det er vanskelig å få et detaljert bilde av de to punktene vi har endring i fluks, så vi har to nærmere bilder av fluksen:



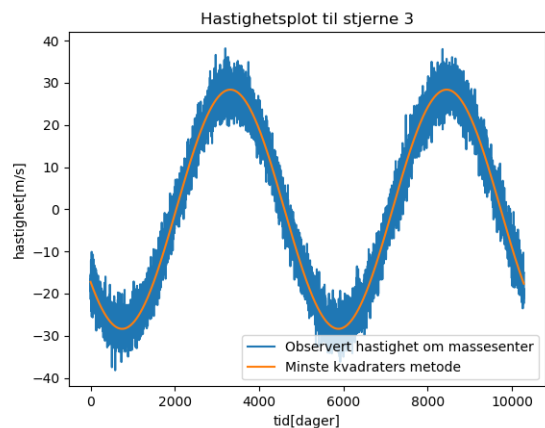
Figur 7. Nært bilde av flux avvikene i figur 5: Her er det øveste plottet et nært bilde av flux avviket lengst til venstre, og det nederste lengst til høyre. Du kan også se i hjørnet hvilken indeksering av tidsstegene vi er mellom.

Her ser vi to nære bilder av endringen i fluks som vi observerte i figur 5. Vi kan se at i begge grafene, er det kun nedgang i et punkt, så går det tilbake til vanlig fluks. Dette gjør at det ikke er gunstig å regne ut radiusen til planeten. Vi går mer inn på det i diskusjonsdelen.



Figur 8. Hastighet og flux som funksjon av tid til stjerne 3. Samme beskrivelse som figurtekst 2.

Når vi observerer hastighetsplottet til stjerne 3 kan vi også se en tydelig variasjon i hastigheten og stor endring i fluks. Med øyemål fikk vi at perioden burde ligge mellom 4500 og 6000 dager, maks hastighet mellom 25 og 33 m/s, og tidspunktet til maks hastighet lå mellom 3000 og 3750 dager. Ved å anvende minste kvadrater metode fikk vi at de mest sansynlige verdiene var en periode på 5131.57 dager, maks hastighet på 28.37 m/s, og  $t_0$  lik 3315 dager. Vi plottet det analytiske uttrykket over den observerte hastigheten og fikk:

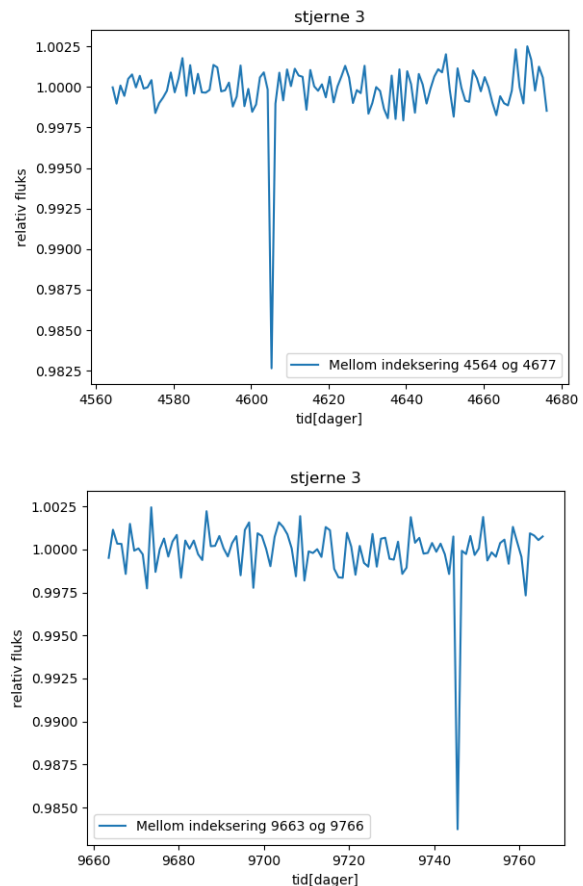


Figur 9. Analytisk og observert hastighetsplot: Figuren viser det analytiske hastigheten, og den observerte hastigheten, til stjerne 3 som funksjon av tid. Den oransje linjen er det analytiske plottet.

Igjen bruker vi samme metode for å finne minste begrensning for hva massen til planeten kan være. Da fikk vi at  $v_{*r} = (25\text{m/s} + 33\text{m/s})/2 = 29\text{m/s}$ , og at  $P =$

$(4500\text{dager} + 6000\text{dager})/2 = 5250\text{dager} = 5250 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60\text{s}$ . Dette gir en nedre begrensning på  $m_p = 6.97 \cdot 10^{27}$ , som er cirka 1167 ganger massen til jordka. Ved å bruke det analytiske uttrykket får vi  $m_p = 6.76 \cdot 10^{27}$ , altså 1133 ganger mer massiv en jorda.

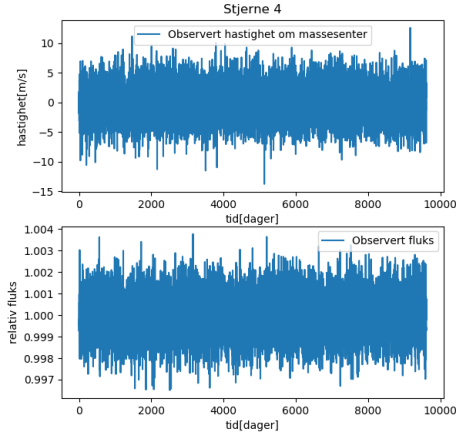
Her er det også vanskelig å få et detaljert bilde av de to punktene vi har endring i fluks, så vi har to nærmere bilder av fluksen:



Figur 10. Nært bilde av flux avvikene i figur 8: Her er det øveste plottet et nært bilde av flux avviket lengst til venstre, og det nederste lengst til høyre. Du kan også se i hjørnet hvilken indeksering av tidsstegene vi er mellom.

Her ser vi to nære bilde av endringen i fluks som vi observerte i figur 8. Her også kan vi se at i begge grafene, er det kun en nedgang i et punkt, så går det tilbake til vanlig fluks. Igjen gjør dette at det ikke er gunstig å regne ut radiusen til planeten.





Figur 11. Hastighet og flux som funksjon av tid til stjerne 4. Samme beskrivelse som figurtekst 2.

Figuren over viser hastigheten og fluksen til stjerne 4. Vi klarer ikke å observere varierende hastighet i dette plottet, heller ingen endring i fluks.

## V. DISKUSJON

Siden hastighetsplottet til stjerne 1, 2 og 3 var såpass varierende, kan vi si med stor sikkerhet at de har en planet i bane rundt seg. Det kan hende at stjerne 0 og 4 også har en planet i bane rundt seg, men at inklinasjonsvinkelen gjør at hastigheten blir så lav, at vi ikke klarer å registrere det med de metodene vi har.

For å få et analytisk hastighetsplot brukte vi minste kvadraters metode. For å bruke metoden måtte vi finne øvre og nedre grense for hastighet, periode og  $t_0$ , disse grensene burde være ganske nøyaktige, siden selv om vi har støy, kan man se hva maks og minimum verdien er til de forskjellige verdiene. I tillegg er man nødt til å velge hvor nøyaktig man skal dele opp intervallene. Vi valgte å dele opp intervallene i 20, det kan hende at en høyere verdi hadde gitt et bedre resultat, men hvis vi ser på figurene der vi har plottet det analytiske og det observerte plottet oppå hverandre, ser resultatet ganske rimelig ut. Den analytiske grafen ser ut til å være midt i alt støyet gjennom hele funksjonen, noe vi forventer å se. Det som er så gunstig med minste kvadraters metode er at den finner den mest sannsynlige løsningen. Ofte er det nyttig å kunne si noe om hvor sannsynlig resultatet ditt er, fordi det blir lettere å tolke. Det kan hende at andre metoder hadde passet mitt datasett bedre, men at det ikke hadde vært den mest sannsynlige modellen, det vi er ute etter er den mest sannsynlige modellen.

Da vi regnet ut de nedre begrensningene til massene til planetene, brukte vi samme metode som i minste kvadraters metode. Vi fant en øverste begrensning og en nedre

begrensning og delte på to for å finne den verdien vi var ute etter. Dette er ikke en veldig nøyaktig måte å finne massen på, men det gir et estimat. Som vi nevnte i rapporten hadde det nok hjulpet å få flere til å ta en beslutning på hva det burde være, så ta et gjennomsnitt. Det er også ganske vanskelig med det verktøyet vi brukte. Graftegneren vi brukte hadde ganske unøyaktige akser for å gjøre slike estimater, så større oppløsning på aksene hadde sannsynligvis også hjulpet. Vi ser varierende avvik fra resultatet der vi brukte det analytiske uttrykket, og der vi brukte øyemål. Det analytiske uttrykket burde gi et mer nøyaktig svar, siden det gir det mest sannsynlige svaret gitt den dataen vi har, og siden vi ser såpass stort avvik, kan vi konkludere med at det verken er konsekvent eller nøyaktig å bruke øyemål, men gir heller et raskt estimat. Mer nøyaktige øyemål metoder vil deretter bare gi mer nøyaktige estimater.

Da vi observerte fluks grafene hadde kun stjerne 2 og 3 store nok avvik til at vi valgte å se nærmere på det. I metodedelen beskrev vi at for noen plot kunne vi beregne radius og massetetthet til planetene. Grunnen til at vi ikke kan det med de fluks plottene vi fikk, er fordi dataen er for unøyaktig. Vi observerer kun et punkt med redusert fluks, før der returnerer til ordinær fluks. Med dette kan vi komme med et slags estimat for en øvre grense av radiusen, hvis vi ser på endringen i tid mellom vanlig fluks og formørkelse, men dette vil være uheldigmessig siden det er alt for upresist. Det vi er ute etter er en funksjon der vi kan observere at planeten gradvis bevrer seg forran stjernen, men for å få til det, trenger vi flere datapunkter. Uten radiusen kan vi heller ikke si noe om massetettheten til planetene.

## VI. KONKLUSJON

Vi observerer at stjerne 1, 2 og 3 har en planet som går i bane rundt stjernen. Av de tre har kun stjerne 2 og 3 en inklinasjonsvinkel tilnærmet 90 grader, slik at vi kan observere at planetene beveger seg forran stjernene. På grunn av dårlig oppløsning i fluks plottene, kan vi ikke gi et godt estimat på verken radius eller massetetthet. Vi må gjøre flere observasjoner med større oppløsning før vi kan beskrive radius og massetetthet med tilstrekkelig nøyaktighet. Siden inklinasjonsvinkelen til stjerne 2 og 3 burde være tilnærmet 90 grader, vet vi massen til planetene med ganske stor presisjon. Når det gjelder planeten til stjerne 1 kan vi kun si noe om den nedre grensen, siden inklinasjonsvinkelen er ukjent.

Minste kvadraters metode virker som en god metode for å få mer informasjon om planetene. Det å beregne massen til planetene med øyemål, ga kun grove estimater, men ved bruk av minste kvadraters metode fikk vi tilsynelatende presise resultater for hastighet, og deretter presise resultater for massen.

- 
- [1] Hansen, F. K., 2017, Forelesningsnotat 1C i kurset AST2000  
AST2000
- [2] Hansen, F. K., 2017, Forelesningsnotat 1B i kurset
- [3] <http://folk.uio.no/frodekh/AST1100/part1C/seed13/>