Simulasjon av en rakettoppskyting fra planeten Bragus

Brage A. Trefjord
(Dated: September 6, 2021)

I dette eksperimentet har vi simulert en svært forenklet rakettoppskyting fra min hjemplanet Bragus. Vi har simulert bevegelsen til partiklene i motoren over tid. Vi brukte dette til å finne trykket i motoren, samt den gjennomsnittlige kinetiske energien og absoluttfarten til partiklene. Vi simulerte en av mange små bokser i motoren, og summerte disse for å få den totale kraften og akselerasjonen til raketten. Dermed fant vi ut hvor mange slike bokser vi trengte for å få raketten til å nå unnslippingshastighet etter en bestemt tid på 20 minutter. Vi har gjort ganske store antagelser til dette eksperimentet. Vi har sett bort fra gravitasjonskraft fra planeten, og drivstofftap under oppskytingen. Vi har også antatt at gassen i motoren er en ideell gass. Resultatene fra dette eksperimentet er derfor lite realistiske.

I. INTRODUKSJON

I dette eksperimentet skal vi se på en rakettoppskytning. (Visualisert i figur 1). Vi ønsker å finne andre planeter hvor vi kan bosette oss, og ønsker derfor å sende en rakett med en satellitt opp fra planeten vår Bragus, og inn i verdensrommet. For å klare dette må raketten vår unnslippe Bragus' gravitasjonspotensial. Vi skal derfor simulere en rakettmotor, for å se hva som skal til for å klare oppdraget, før vi bygger den virkelige raketten.

Vi kommer til å bruke både uniform og gaussisk distribusjon for å simulere henholdsvis posisjon og hastighet til partiklene i rakettmotoren, (i figur 2 kan du se en skissering av en slik Gaussisk kurve). Vi kommer til å anta at vi har en ideell gass, altså at partiklene i gassen (i vårt tilfelle H_2-gass) ikke kolliderer med hverandre, men kun kolliderer elastisk med veggene i motoren. For å simulere bevegelsen til partiklene kommer vi til å bruke Eulers metode.

For at raketten vår skal bevege seg kommer vi til å ha et hull i bunnen av rakettmotoren, der gasspartiklene kommer til å slippe ut. Siden vi har bevaring av bevegelsesmengde kan vi finne bevegelsesmengden til disse partiklene som slippes ut. På grunn av Newtons tredje lov vil kraften fra disse partiklene virke på raketten, og sende den oppover med en viss akselerasjon som vi kan regne ut. Vi gjør her en ganske grov antagelse om at den eneste kraften som virker på raketten vår er kraften fra partiklene som skytes ut. Vi ser altså bort fra gravitasjonskraften.

Vi kommer også til å bruke bevaring av energi til å finne unnslippingshastigheten vi trenger for at raketten skal klare å unnslippe Bragus. Når vi vet unnslippingshastigheten, og har akselerasjonen som raketten får, kan vi bruke dette for å se om raketten vår klarer å unnslippe planeten eller ikke.

I tabell I kan du se verdier vi bruker i simuleringen.

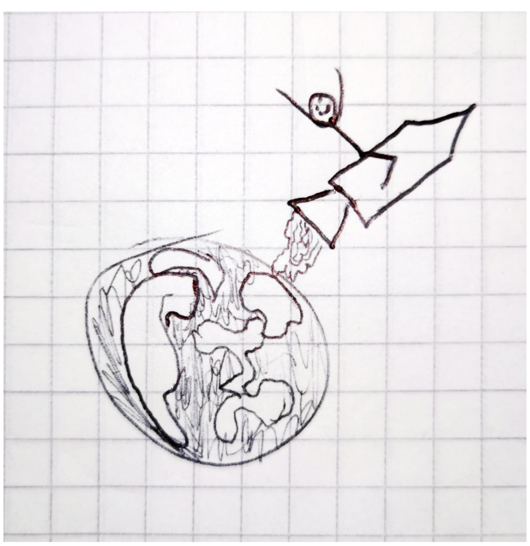

Figure 1. En skissering av oppdraget vårt, å sende en rakett fra Bragus' overflate til verdensrommet. (Tegningen er ikke riktig skalert.)

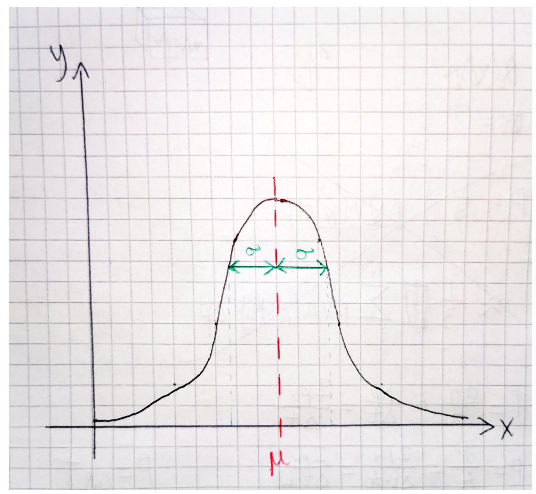

Figure 2. Gaussisk kurve. Her er μ gjennomsnittsverdien, og σ er standardavvik.

Størrelse	Verdi
M (Massen til Bragus)	$1.22 \cdot 10^{25}$ kg
R (Radiusen til Bragus)	8349 km
m (Massen til raketten)	1000 kg

Table I. Verdiene vi skal bruke i eksperimentet.

II. METODE

Vi begynner med å simulere N antall partikler, som er partiklene i motoren til raketten vår. N bør helst være et ganske stort tall, siden vi skal simulere veldig mange partikler. I dette eksperimentet har jeg brukt $N = 10^5$. Vi antar at alle partiklene i motoren vår er hydrogenmolekyler H_2. For å få raketten til å bevege seg oppover er det helt essensielt å vite oppførselen til partiklene inne i motoren, siden det er disse som vil skytes ut av bunnen og få raketten til å fly. At dette vil skje vet vi fra Newtons tredje lov. Vi tenker oss at vi har en boks (vår rakettmotor) med like lange sider L, og at alle N partikler skal befinne seg inne i denne boksen. For å simulere en ordentlig rakettmotor, med all dens kraft kreves det mye mer maskinkraft enn det jeg har tilgjengelig. Jeg velger derfor å gjøre L veldig liten, også tenker vi oss at vi har kjempemange slike små bokser. Vi kommer til å se at dette vil gi det samme resultatet som om vi brukte en boks med størrelse tilsvarende den ferdige rakettmotoren. Jeg har valgt å bruke $L = 10^{-6}$m.

Når vi skal simulere partiklene trenger vi å vite både posisjonen og farten deres i starten av simulasjonen. La oss begynne med posisjonen. Det er like sannsynlig at partiklene vil befinne seg et vilkårlig sted i boksen, som et annet. Uansett hvilken posisjon i boksen vi velger å se på er det altså like sannsynlig at det vil være en partikkel der. Vi kan derfor bruke en uniform sannsynlighetsfordeling for partiklenes posisjon, slik at de sprer seg jevnt utover i boksen. I figur 3 kan du se en visualisering av hvordan partiklene er spredd i boksen. De er jevnt spredt utover, siden vi har brukt uniform sannsynlighetsfordeling. Legg merke til at vi her har 1000 partikler, ikke 10^5 som vi skal bruke i resten av simulasjonen. Dette er kun for å få et finere plot.

Når det gjelder hastigheten er saken en litt annen. Sannsynligheten for at en partikkel har en viss hastighet er gitt ved Maxwell-Boltzmann sannsynlighetsfordeling:

$$P(\vec{v}) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} e^{-\frac{1}{2}\frac{mv^2}{kT}}$$

Hvor $P(\vec{v})$ er sannsynligheten for at en partikkel har en viss hastighet, k er Boltzmanns konstant, og T er temperaturen i boksen. Denne sannsynlighetsfordelingen er Gaussisk (se figur 2). Dette blir tydelig dersom vi ser på formelen komponentvis, og setter $\sigma = \sqrt{kT/m}$. Hvor σ er standardavviket til en gaussisk kurve:

$$P(v_x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{v_x^2}{2\sigma^2}} \tag{1}$$

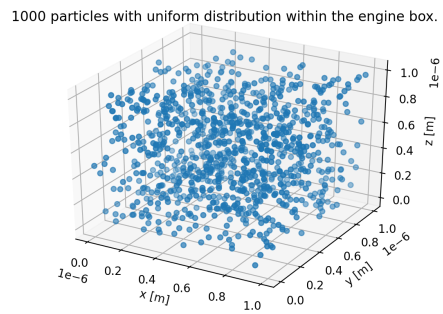

Figure 3. Plot av partiklenes posisjon i rakettmotorboksen.

Denne er lik for v_y og v_z. Dette tilsvarer formelen for Gaussisk fordeling:

$$P(h) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Siden hver komponent av hastigheten til en partikkel har like stor sannsynlighet for å være positiv som negativ (det er ingen grunn til at det skal være mer sannsynlig for at partikkelen beveger seg mot høyre enn venstre), må gjennomsnittsfarten μ være 0. Siden vi har både σ og μ kan vi simulere hastigheten til partiklene med gaussisk sannsynlighetsfordeling.

Den gjennomsnittlige kinetiske energien til partiklene i en gass er gitt ved:

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2}kT \tag{2}$$

hvor E er den kinetiske energien. Vi vet også at den gjennomsnittlige farten til partiklene er gitt ved:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_{par}}} \tag{3}$$

hvor m_{par} er massen til en partikkel. På dette punktet er det nyttig å finne disse to verdiene fra partiklene i motoren vår, og sjekke at de faktisk stemmer overens med de analytiske løsningene i likning 2 og 3. Dette gjøres veldig enkelt ved å finne den kinetiske energien til hver partikkel, summere de, og dele på antallet partikler. Det samme gjør vi for absoluttverdien av farten deres. Formelen for kinetisk energi til en partikkel er gitt ved:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \tag{4}$$

Nå har vi simulert de N partiklene med en startposisjon, og en starthastighet. Nå må vi simulere bevegelsen til disse over tid. Jeg har valgt å simulere partiklene over en total tid på 10^{-9}s. For å simulere bevegelsen bruker vi Eulers metode, og kjører over hver partikkel.

Eulers metode er nyttig for simulering av bevegelse, siden vi kan benytte oss av definisjonen på hastighet:

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt} \tag{5}$$

Siden vi vet hastigheten til partiklene, kan vi bruke likning 5 til å finne posisjonen til en partikkel etter et kort tidssteg. Til denne simuleringen bruker vi et tidssteg $\Delta t = 10^{-12}$. Vi vet også at hastigheten til partiklene er konstant (frem til de kolliderer med en vegg), så vi trenger kun å bruke Euler for å finne posisjonen ved hvert tidssteg:

$$\Delta\vec{r} = \vec{v} \cdot \Delta t \tag{6}$$

Vi antar at vi har en ideell gass, altså at partiklene ikke kolliderer med hverandre, men de kommer likevel til å kollidere med veggene i boksen. For hvert tidssteg når vi simulerer partiklene må vi altså sjekke om de har kollidert med en vegg. Dette gjøres veldig enkelt ved å sjekke posisjonen til partiklene, og se om posisjonen er utenfor rammene til boksen. Dersom en partikkel befinner seg utenfor boksen har jeg valgt å flytte den tilbake til kanten av boksen, også endrer jeg retningen på hastigheten slik at den beveger seg videre inne i boksen. Vi antar at vi har fullstendig elastiske støt, og vil dermed få at den eneste komponenten til hastighetsvektoren som endrer retning, er den komponenten som står vinkelrett på veggen partikkelen kolliderte med. Denne hastighetskomponenten vil da kun skifte fortegn, siden bevegelsesmengden er bevart.

$$\vec{p}_{x,1} = -\vec{p}_{x,0}$$

Hvor $\vec{p}$ er bevegelsesmengde. Dette kan vi se illustrert i figur 4. Vi ønsker å beregne trykket i motoren vår. Dette kan gjøres ved å se på partiklene som treffer en bestemt vegg. Vi teller alle partiklene som treffer denne veggen, og legger sammen bevegelsesmengden de etterlater seg. Siden vi har en elastisk kollisjon vil de etterlate seg følgende bevegelsesmengde:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_1 - \vec{p}_0 = -\vec{p}_0 - \vec{p}_0 = -2\vec{p}_0 \tag{7}$$

Vi summerer alle $\Delta\vec{p}$ fra partiklene som kolliderer med veggen i løpet av det totale tidsrommet for simulasjonen. Dermed bruker vi definisjonen av kraft fra bevegelsesmengde:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \tag{8}$$

hvor F er kraften fra forskjellen i bevegelsesmengde, og får følgende likning for trykk:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\Delta p}{A \cdot \Delta t} \tag{9}$$

hvor P er det totale trykket over tidsperioden, og A er arealet til veggen, gitt ved $A = L^2$. Fra den idelle

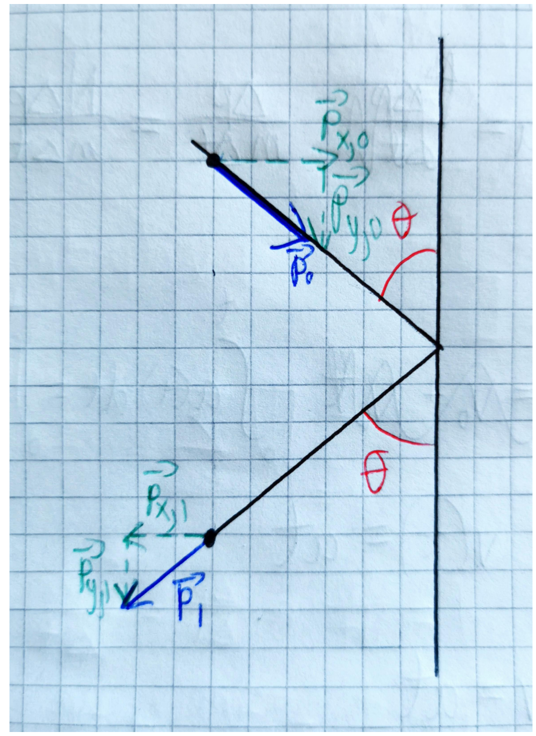

Figure 4. Visualisering av en partikkels kollisjon med en vegg. θ er vinkelen med veggen, og $\vec{p_0}$ og $\vec{p_1}$ er henholdsvis bevegelsesmengden til partikkelen før og etter kollisjonen.

gassloven har vi følgende analytiske formel for trykket i motoren:

$$P = nkT \tag{10}$$

hvor n er antall partikler i boksen per volum $\left(n = N/V = N/L^3\right)$. Vi kommer til å se på forskjellen mellom den numeriske og den analytiske løsningen på dette, og forhåpentligvis vil denne forskjellen være svært liten.

For at raketten skal bevege seg oppover må vi lage et hull i en av veggene til motoren vår, hvor partiklene kan slippes ut. Siden vi har at bevegelsesmengden er bevart vil partiklene som treffer taket av motoren dytte raketten oppover, mens partiklene som skytes ut nede ikke vil gi noen tilsvarende moteffekt. Det er dette som fører til at raketten vår beveger seg oppover. Vi skal simulere hvor mange partikler som skytes ut gjennom et slikt hull. Plasseringen til hullet har lite å si i simuleringen, siden partiklene er uniformt fordelte. Vi kommer til å se på et hull i $x = 0$ som går fra $y, z = [0, L/2]$, selv om dette ikke er like intuitivt som å plassere hullet i midten av veggen. Dette er fordi det er litt lettere å programmere. Dette hullet kan vi se illustrert i figur 5.

Dette gjøres svært likt som når vi skulle se på partiklene som traff en vegg, bare at vi nå begrenser området vi skal telle partikler på. For hvert tidssteg sjekker vi for hver partikkel om det har bevegd seg ut gjennom hullet, hvis det har gjort det, så teller vi opp partikkelen, og

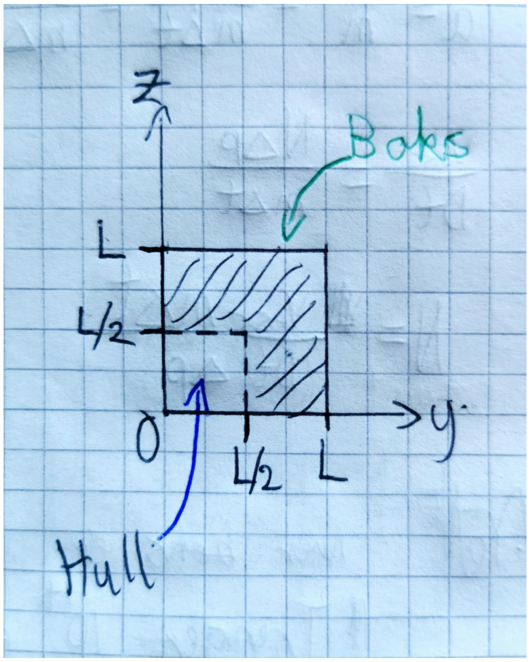

Figure 5. Illustrasjon av hullet i boksen. L er lengden til hver side i boksen.

bevegelsesmengden den gir fra seg. (Siden partiklene vi ser på egentlig gir fra seg bevegelsesmengde til taket av boksen bruker vi samme resultat for $\Delta\vec{p}$ som i likning 7).

Etterhvert som partiklene forsvinner fra motoren må vi sende inn nye partikler ovenfra. Siden vi ikke lenger har bruk for partiklene som forsvant fra motoren i simuleringen vår, kan vi endre posisjonen til disse, slik at de blir sendt til toppen av raketten i det de passerer hullet, med samme hastighet som de forlot hullet med. Da vil det for hver partikkel som forsvinner, dukke opp en ny inne i motoren.

For å se på rakettens bevegelse trenger vi akselerasjonen til raketten. Vi bruker igjen likning 8 for å finne kraften fra partiklene på raketten. Dermed bruker vi Newtons andre lov, og får:

$$a = \frac{F}{m} \tag{11}$$

hvor a er akselerasjonen raketten får, og m er massen til raketten. Vi har nå funnet akselerasjonen til raketten, og kan dermed bruke klassisk mekanikk til å finne farten etter en viss tid (vi setter startfarten lik 0).

$$v(t) = v_0 + at = at \tag{12}$$

hvor t er tiden raketten beveger seg med den konstante akselerasjonen, og $v(t)$ er farten etter den gitte tiden. Vi ønsker å se om raketten klarer å unnslippe Bragus' gravitasjonspotensial, og for å gjøre dette må vi finne unnslippingshastigheten. For at raketten skal unnslippe gravitasjonspotensialet må den kinetiske energien til raketten minst være like stor som gravitasjonspotensialet. Vi får

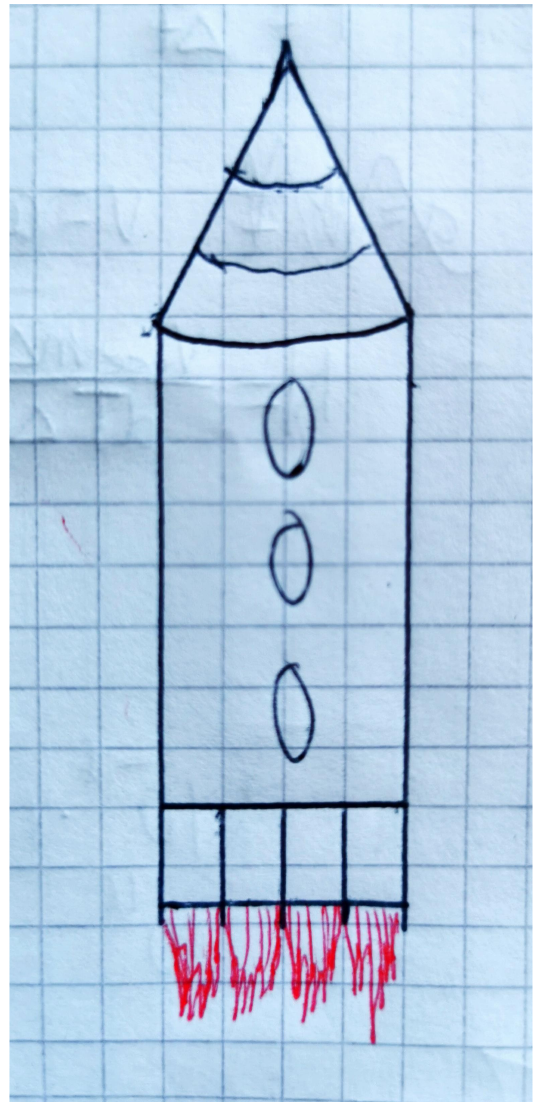

Figure 6. Her har vi brukt fire små bokser. I simulasjonen vår kommer vi til å bruke mange flere enn dette.

da:

$$\frac{1}{2}mv_{esc}^2 = G\frac{mM}{R}$$

hvor M og R er henholdsvis massen og radiusen til Bragus, og G er gravitasjonskonstanten. Fra denne formelen får vi at unnslippingshastigheten er gitt ved:

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \tag{13}$$

Vi simulerte en liten boks til motoren, men for å nå unnslippingshastigheten kommer vi til å trenge mange slike små bokser (se figur 6). Vi setter N_{boks} til å være antallet slike bokser. For hver boks får raketten en bevegelsesmengde oppover. Den totale bevegelsesmengden fra alle boksene, er bevegelsesmengden for hver boks, ganget med antallet bokser. Vi får altså:

$$p_{tot} = N_{boks} \cdot \Delta p$$

hvor p_{tot} er den totale bevegelsesmengden fra alle boksene.

Videre kan vi sette dette inn i likning 8, og får den totale kraften gitt ved

$$F_{tot} = \frac{N_{boks} \cdot \Delta p}{\Delta t} \tag{14}$$

Fra likning 11 og 5 får vi at $v_{esc} = at$, og vi kan sette dette sammen med likning 14, og får da et uttrykk for antallet bokser som trengs for å akselerere raketten til unnslippingshastigheten over en hvis tid:

$$N_{boks} = \frac{v_{esc} \cdot m \cdot \Delta t}{\Delta T \cdot p} \tag{15}$$

Hvor ΔT er den totale tiden fra raketten starter til vi ønsker å nå unnslippingshastighet. Jeg har satt denne tiden til 20 minutter.

III. RESULTATER

Verdiene jeg fikk fra simuleringen kan du se i tabell II. Når jeg nå snakker om nummererte punkter er det snakk om nummerene i kolonnen lengst til venstre i denne tabellen. Punkt 1 er unnslippingsfarten, regnet ut analytisk som beskrevet i metode seksjonen. Punkt 2 er den gjennomsnittlige kinetiske energien til partiklene i en boks, regnet ut numerisk og analytisk. Her er også den relative differansen mellom disse, funnet med følgende formel:

$$\frac{|numerisk - analytisk|}{analytisk}$$

I punkt 3 har vi den gjennomsnittlige farten til partiklene i boksen, numerisk og analytisk. Også her har vi regnet ut den relative differansen mellom disse, på samme måte som i punkt 2. I punkt 4 har vi trykket i en boks, regnet ut numerisk og analytisk. Også her har vi, som i punkt 2 og 3, den relative differansen.

I punkt 5 har vi kraften på raketten vår fra partiklene i en boks. I punkt 6 har vi akselerasjonen til raketten fra kraften i punkt 5. Alle punktene fram til nå er resultater fra én boks, men som vi snakket om i metode seksjonen trengte vi mange flere slike bokser. I punkt 7 har vi antallet slike bokser vi trenger for å få raketten til å nå unnslippingshastighet på 20 minutter. I punkt 8, det siste punktet i tabellen har vi tapet av drivstoff fra raketten målt i kilo. Dette er det totale tapet av drivstoff fra alle boksene i løpet av de 20 minuttene det tar for raketten å nå unnslippingshastighet.

#	Størrelse	Verdi
1:	v_{esc}	14.0 km/s
2:	$\langle E \rangle$:	
	Numerisk	$2.069 \cdot 10^{-19}$ J
	Analytisk	$2.071 \cdot 10^{-19}$ J
	Relativ differanse	0.0797 %
3:	$\langle v \rangle$:	
	Numerisk	$1.0242 \cdot 10^{4}$ m/s
	Analytisk	$1.0248 \cdot 10^{4}$ m/s
	Relativ differanse	0.0583 %
4:	P:	
	Numerisk	$1.36 \cdot 10^{4}$ Pa
	Analytisk	$1.38 \cdot 10^{4}$ Pa
	Relativ differanse	1.35 %
5:	F_{rakett}	$4.28 \cdot 10^{-9}$ N
6:	a_{rakett}	$4.28 \cdot 10^{-12}$ m/s^2
7:	N_{bokser}	$2.72 \cdot 10^{12}$
8:	Tap av drivstoff	835 kg

Table II. Tabell over de forskjellige verdiene jeg fikk etter å ha kjørt simuleringen.

I figur 7 kan vi se avstanden fra Bragus til raketten som en funksjon over tid. Etter 1200 sekunder (altså 20 minutter) når raketten unnslippingshastighet, og det er på dette punktet grafen stopper. Ellers kan vi se at avstanden øker gradvis, og med større fart jo lengre ut i oppskytning vi kommer. Dette er å forvente siden vi har konstant akselerasjon. Dette tydeliggjøres enda mer i figur 8, hvor vi ser farten til raketten som en funksjon over tid. Dette er en lineær graf, som gir mening siden vi har konstant akselerasjon.

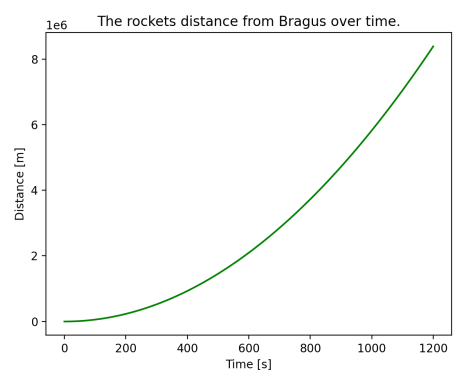

Figure 7. Plot av avstanden raketten har reist over tid.

IV. DISKUSJON

I dette eksperimentet må vi forvente at en del resultater ikke samsvarer helt med virkeligheten. Dette er fordi vi har gjort oss en del friheter. Vi har valgt å ikke ta hensyn til gravitasjonskraften som virker på raketten, og vi har heller ikke tatt hensyn til tapet av drivstoff. Begge disse ville hatt effekt på rakettens bevegelse, så å

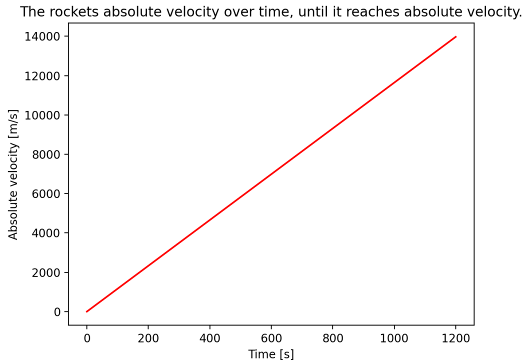

Figure 8. Plot av farten til raketten over tid.

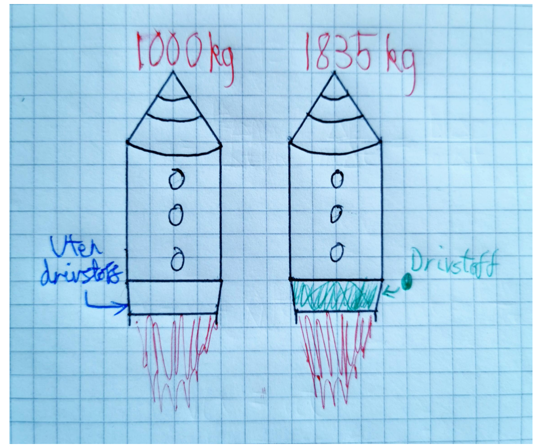

Figure 9. Her ser vi en sammenligning av en rakett uten og med drivstoff. Som vi ser blir massen på de to rakettene veldig forskjellige.

forsøke å skyte opp en rakett nå basert på denne simuleringen ville vært svært risikabelt, og vi burde forvente veldig annerledes resultater i et virkelig eksperiment. Vi har også antatt at gassen inne i rakettmotoren er en ideell gass, noe som gjerne ikke ville vært tilfellet i en ekte gass. Da ville partiklene sannsynligvis kollidert mye mer med hverandre, og dette kunne ha påvirket resultatene våre.

La oss vurdere resultatene vi fikk. I punkt 1 i tabell II kan vi se unnslippingshastigheten vi fikk. Den er på 14.0 km/s. Vi kan sammenligne denne med jordens unnslippingshastighet, som er på omtrent 11 km/s. (2). Siden massen til Bragus (se tabell I) er litt større enn massen til jorden, som er på omtrent $5.97 \cdot 10^{24}$ kg (2), gir det mening at vi også får en litt større unnslippingshastighet.

De numeriske utregningene for den gjennomsnittlige kinetiske energien og absoluttfarten til partiklene ser veldig troverdig ut, siden vi har en veldig liten relativ differanse. I punkt 2 og 3 i tabell II ser vi at den relative differansen for kinetisk energi er på 0.0797 %, og for absoluttfarten er den på 0.0583 %. Dette er veldig små feil. Det er likevel verdt å merke seg at for en rakettoppskytning, hvor vi også summerer opp alle disse små boksene, så kan denne feilen bli større, og dermed også ha mer betydning.

Trykket i boksen ser vi har en del større relativ feil enn absoluttfarten og den kinetiske energien. Her har vi en relativ feil på 1.35 %. Dette virker som ganske lite, men som vi ser sammenlignet med de to andre relative feilene er denne omtrent 20 ganger så stor.

Kraften og akselerasjonen til raketten fra en boks er som forventet svært lav. Dette gir mening siden vi kun har en bitteliten boks med relativt få partikler (100,000). Resultatet når vi summerer disse boksene er derimot mer spennende. Vi kom fram til at vi trengte $2.72 \cdot 10^{12}$ bokser. Dette tallet sier oss ikke så veldig mye i seg selv, så la oss sette det litt i perspektiv. Vi tenker oss at vi har en kube med like lange sider, hvor volumet utgjør alle boksene. Vi kan se hvor mange bokser som må være på hver side av kuben ved å ta kubikkroten av antall bokser. Da får vi 13959 bokser på hver side. Vi ganger dette med lengden av hver side til hver boks, for å finne ut hvor lang en side på kuben er. Vi bruker at $L = 10^{-6}$ m, som vi brukte i metode seksjonen. Da får vi at lengden til en side i kuben er 14 mm. Denne lengden tilsvarer nok ikke en ordentlig rakett, lagd for å skytes opp i verdensrommet, men kan heller stemme bedre overens med en modellrakett som gjerne har lengde på rundt 13mm (3). Disse rakettdimensjonene er altså ikke helt realistisk. Vi kan sammenligne med raketten Rocketdyne F-1, som har en lengde på omtrent 5.6 meter (4).

Vi har et totalt tap av drivstoff på 835 kg. Det kreves mye krefter for å sende en rakett ut fra Bragus, og det vil følgelig forsvinne mye krefter etterhvert som partiklene i hver boks forsvinner ut gjennom hullet. At tapet av drivstoff er på så mye som 835 kg er derfor ikke helt utenkelig. Her er det likevel ekstra viktig å merke seg hvor stor antagelse vi faktisk har gjort når vi ser bort fra massen til drivstoffet under simuleringen. Raketten i seg selv veier 1000 kg, så dersom vi hadde inkludert massen til drivstoffet ville vi til å begynne med hatt nesten dobbelt så stor masse på raketten (se figur 9), i tillegg til at dette drivstoffet gradvis ville forsvunnet ut under oppskytningen. Vi ser altså at denne antagelsen vil ha mye større effekt på simulasjonen enn man kanskje ville tro.

Hvis vi ser på plottet av posisjonen og farten til raketten i figur 7 og 8 ser vi at begge disse er svært enkle grafer. Farten er ganske enkelt lineær, som er svært urealistisk for en virkelig rakettoppskytning. Den stemmer derimot helt med de antakelsene vi har gjort. Siden vi ser bort fra både gravitasjonskraften til Bragus, og tapet av drivstoff har vi fått en konstant akselerasjon, og farten må da følgelig bli lineær. Siden farten er lineær gir det mening å se at posisjonen til raketten har en graf som kan minne om en halv andregradsfunksjon. Dette gir mening, siden den deriverte av strekning over tid blir fart, og den deriverte av en andregradsfunksjon blir en lineær funksjon. Det stemmer altså godt under våre antagelser, men i et mer realistisk scenario hvor vi hadde tatt hensyn til gravitasjon og drivstofftap ville nok også denne grafen sett annerledes ut.

V. KONKLUSJON

Vi har simulert en rakettoppskytning under svært forenklede antakelser. Vi har antatt at gassen i motoren er en ideell gass, altså at partiklene i gassen ikke kolliderer med hverandre. I tillegg har vi valgt å se bort fra gravitasjonskraft og tap av drivstoff, noe som påvirker simulasjonen i svært stor grad. På grunn av disse forenklingene er resultatet av simulasjonen på flere måter urealistisk, og å forsøke å skyte opp en virkelig rakett basert på disse simulasjonene ville vært svært risikofylt, og frarådes sterkt.

REFERANSER

(1) Hansen, F. K., 2017, Forelesningsnotat 1A i kurset AST2000

(2) https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html

(3) https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/rktenglab.html

(4) https://en.wikipedia.org/wiki/Rocketdyne_F-1