

AKTIVITET

Modellraketter



Klasseromaktivitet for ungdomsskole

Kort om aktiviteten

Gjennomfør en ordentlig rakettoperasjon med din egen klasse. La elevene bygge sine egne modellraketter som kan skytes opp i en rakettkampanje på skolen.

Her finner dere også forslag til programmer og utregninger elevene kan bruke til å gjøre baneberegninger.

Læringsmål

Elevene skal

- bygge en modellrakett ved å følge en bruksanvisning
- forstå viktigheten av rutiner og sikkerhetsregler
- stille spørsmål og lage hypoteser om naturfaglige fenomener, identifisere avhengige og uavhengige variabler og samle data for å finne svar
- bruke og lage modeller for å forutsi eller beskrive naturfaglige prosesser og systemer og gjøre rede for modellenes styrker og begrensinger
- delta i risikovurderinger knyttet til forsøk og følge sikkerhetstiltakene
- gjøre rede for energibevaring og energikvalitet og utforske ulike måter å omdanne, transportere og lagre energi på

Innhold

Kort om aktiviteten.....	1
Læringsmål.....	1
Lærerveiledning	2
Raketter og rakettmotor	2
Raketter gjennom historien	3
Sounding rockets	3
Andøya Space	4
Hvorfor Andøya?	5
Rakettkampanjen.....	6
Hva har dette å si for klasserommet?	7
Sikkerhet ved oppskytning av modellrakett	8
Aktivitet 1 Raketter	9
Aktivitet 2 Kraft, vekt og størrelse på raketten	10
Aktivitet 3 Baneberegninger	11
Countdown prosedure	13
Kildehenvisninger	15

Lærerveiledning

Skoleelever fascineres av verdensrommet! Dette er et utsagn som bekreftes av flere skoleundersøkelser de siste årene (TIMSS, Rose, PISA). De nye læreplanene legger til rette for prosjektarbeid og tverrfaglig arbeid og lærerne står mer fritt i valg av tema enn tidligere.

Kunnskapsløftet 2020 legger stor vekt på skapende og utforskende virksomhet i klasserommet, og hva sier vel forskning (og utforskning) mer enn tema om verdensrommet? Gjennomfør et rakettprosjekt med dine elever og gjør det til en rakettkampanje hvor elevene selv bemanner de rollene som er nødvendig. Hvor kult er det ikke å kunne være rakettforsker for en dag? Eller en hel uke, for den saks skyld?

Raketter og rakettmotor

Modellraketten kommer som ferdige byggesett. Det finnes flere varianter, med og uten nyttelast. Alle er forholdsvis enkle å bygge, men det lønner seg å være nøye. Vi anbefaler å bruke Avion, Payloader One, og/eller Courier raketter.

Raketten krever motor etter hvor store og tunge de er.

Raketter og rakettmotorer kan for eksempel kjøpes her

<https://www.elefun.no/p/prod.aspx?v=18211>

<https://www.elefun.no/p/kat.aspx?k=892>

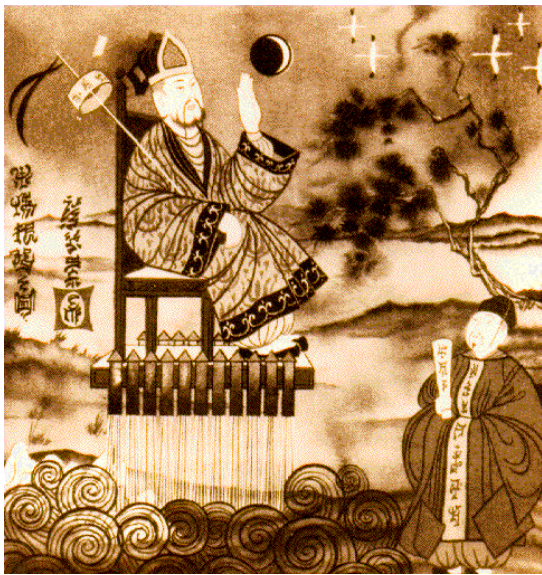
Rakett	Motortype	Gjennomsnittlig skyvekraft (F)	Motor masse (m_m)	Brenntid (t_b)
Avion A	A6-4	4,17 N	0,016 kg	0,6 s
Avion B	B4-4	4,54 N	0,021 kg	1,1 s
Payloader One B	B4-4	4,54 N	0,021 kg	1,1 s
Payloader One C	C6-3	6,25 N	0,025 kg	1,6 s
Egg courier	D9-5	9,52 N	0,028 kg	2,1 s

Raketter gjennom historien

Vi skal ikke gå dypt inn i historien her altså, for dette kan dere lese mye om andre steder.

De fleste tenker at raketter og rakettforskning er avansert moderne teknologi, men sannheten er at den første kjente bruken av rakettfysikkprinsippet finner vi i Hellas ca 400 før vår tidsregning. Historien sier at grekeren Archytas laget en due av tre som han fikk til å fly ved hjelp av damp. Vi finner flere slike historier fra de kommende århundrene.

I det første århundre begynte kineserne å eksperimentere med krutt og med det fikk vi de første kruttmotorene som ligner på de vi bruker i dag. Raketten som ble bygget på den tida ble brukt til fyrverkeri eller til og med i krigføring, men det er også sagt at raketter ble brukt til transport.



Bilde: Wan-Hu har gått inn i historien som tidenes første astronaut. NASA

Fortellingen om Wan-Hu beskriver en rakettdrevet stol. Wan-Hu ville reise til månen og bygget denne stolen med 47 raketter, som han mente skulle ta han dit. Lunta ble tent, det kom et øredøvende brak og mye røyk. Når røyken la seg, var Wan-Hu og stolen hans borte. Kineserne var overbevist om at oppskytingen var en suksess. Wan-Hu ble aldri sett igjen. Når vi leser dette med dagens øyne, har vi vel en annen oppfatning av det som skjedde.

Først på 1600-tallet, med Isaac Newton, ble fysikklover og teorier anerkjent som forskning. Med dette kunne man bygge større raketter som for det meste ble brukt til krigføring.

Når vi nærmer oss 1900-tallet begynner Robert Goddard å se på muligheten av å bruke raketter for å forske på atmosfæren. Goddard tenkte at raketter måtte kunne nå høyere enn ballonger. Og det var starten på det vi i dag kaller sounding rockets, eller forskningsraketter.

Sounding rockets

Raketter brukes til mye, men vi skal konsentrere oss om forskningsraketter. De kalles også Sounding Rockets. Disse rakettenes er ikke like store som de som sender folk ut i verdensrommet, til ISS, månen eller andre planeter (når vi kommer så langt).

Sounding Rockets kan gå alt mellom 100 km til 1400 km opp før de når apogee (den maksimale høyden). Deretter faller de ned til jorda igjen. Disse rakettenes er utstyrt med instrumenter som skal måle spesifikke ting i det området de skytes til, eller de kan være utstyrt med ny teknologi som skal testes ut. Det gjøres veldig nøyaktige utregninger for å bestemme hvor rakettenes går og hvor de kommer til å lande. Instrumentene i raketten kalles Pay-load. Ofte er dette utstyr som forskere har jobbet med i tiår, og koster millioner av kroner.

Andøya Space

Norge har vært i rombransjen i 60 år. I august 1962 ble den første raketten skutt opp fra norsk jord. Raketten het Ferdinand 1. Den var 7,7 m lang og veide 698 kg. Ferdinand 1 gikk 102 km opp i atmosfæren og gjorde de første målingene i ionosfæren.

Ionosfæren er spesielt interessant for oss å studere fordi det er der de ladde partiklene fra sola ioniserer atomene, altså at de løser elektronene fra banen rundt atomkjernen. Dette er prosessen som skaper nordlys, noe vi er spesielt opptatt av på Andøya Space. En annen ting denne prosessen kan ha betydning for er radiokommunikasjon, fordi de frie elektronene reflekterer radiobølgene, og kan skape forstyrrelser.

Siden 1962 har det blitt skutt opp nærmere 2000 raketter fra Andøya Space. Det kommer forskere og ingeniører fra hele verden til Andøya for å få sendt opp sin pay-load (nyttelast på norsk) eller testet sin teknologi.



Bilde: utskytning av forskningsrakett på Andøya Space.

Hvorfor Andøya?

Det er mange grunner til at Andøya ble valgt som base for rakettvirksomhet i Norge. En viktig årsak er at stedet ligger rett under nordlysovalen som gjør det enklere å studere dette fenomenet. I tillegg ligger Andøya Space godt plassert mellom foten av store fjell og med åpent hav helt til Nordpolen, som gir muligheten for å skyte ut raketter uten fare for folk og eiendom.



Bilde: Nordlys sett fra verdensrommet. NASA

Forskere som kommer til Andøya med sin nyttelast er vanligvis mest interessert i nordlysrelaterte fenomener, men også andre fenomen knyttet til atmosfæren, og særlig i polområdene, er områder det forskes mye på.



Bilde: Andøya Space Education

Rakettkampanjen

Under en rakettkampanje er det mange jobber som skal utføres, og alle er like viktig for å ivareta både forskning og sikkerhet.

Før oppskyting av raketten må alle involverte delta på et møte som kalles *Pre-flight*. Møtet ledes vanligvis av *RSO*, Range Safety Officer, som har hovedansvaret for sikkerheten under kampanjen. Her går man gjennom nedtellingsprosedyren og forsikrer seg om at alle er klar over hva de skal gjøre. *PI*, Prinsipal Investigator eller sjefsforskeren, forteller hva de ser etter før raketten kan skytes opp. Dersom gjennomføringen av forsøkene krever at det er synlig nordlys, er det jo liten vits i å skyte raketten dersom det ikke er nordlys akkurat da. I det tilfellet blir oppskytingen en veldig kostbar og bortkasta affære.

ALL	ALL stations
ALL TM	ALL TM Stations
AATC	Andøya Air Traffic Control
BT	Balloon Team
RC	Range Control
Main TM	Main Telemetry Station
TM READOUT	Payload TM
PAS	Pad Supervisor
PI	Principal Investigator
RG	Road Guards
RSO	Range Safety Officer
TPS	Launch Control Support and Trajectory calculations

Tabellen viser stasjonene som har en kritisk oppgave under rakettkampanjer.

Etter dette møtet går alle til sine stasjoner og nedtelling starter. For store forskningsraketter kan nedtellinga vare i flere timer. Det er mye som må

testes og kontrolleres før raketten kan skytes opp. Det utarbeides en egen nedtellingsprosedyre for hvert rakettskudd. Denne er detaljert ned til siste sekund for å forsikre seg om at alt virker som det skal og at signalene mellom rakett og antenner er bra.

"T" time HH-MM-SS	Item #	FROM	TO	CHECK	OPERATION
01-00-00	1	RSO	WT		Status weather reports
	2	RC	ALL		RADIO SILENCE
	3	RSO	STC		Inform STC about intention to launch
	4	RC	ALL		All personnel on stations
	5	RC	ALL		Conduct station voice checks _____ WT Weather Team _____ PAS Pad Supervisor _____ PI Principal Investigator _____ RG Road Guards _____ RSO Range Safety Officer _____ TPS Launch Control Support and Trajectory calculations
	6	RC	ALL		Conduct check of GO/NO GO _____ WT Weather Team

Oppstår det problemer underveis kan nedtellinga stoppes til problemet er løst. Sjefen for forskningen, Principal Investigator, følger med på forholdene som er kritiske for forskningen der dette er nødvendig. Av og til går dette fort, men noen ganger må de vente på dette i ukesvis.

Når alt er klart og nedtellinga når 00-00-00 går raketten og forhåpentligvis kommer det gode data fra nyttelasten sånn at forskerne får noe å jobbe videre med.

Hva har dette å si for klasserommet?

Norge har vært en romnasjon i omtrent 60 år, men overraskende nok er det ikke så mange som er klar over dette.

Med nye læreplaner kan det ligge til rette for å endre på dette. Elevene vi møter i skolen i dag er forskerne av framtida. Det er de som skal drive landet videre. Det er mange muligheter for jobb og aktiviteter for dem innenfor romvirksomheten.

De siste ti årene har skoleundersøkelser som PISA, TIMSS og ROSE vist at skoleelever synes verdensrommet er et av de mest spennende temaene i skolen. Kunnskapsløftet 2020 åpner for utforskende og skapende prosjektarbeid, og da er verdensrommet som tema et perfekt bakteppe! Hva med å la elevene bygge sine egne raketter og kjøre en rakettkampanje i egen skole? Da kan de lage sine egne forskningsprosjekter, bygge og skyte raketter og rett og slett bli romforskere for en dag, eller en uke, eller en hel måned?

For de yngste elevene i skolen kan det være papirraketter, eller flaskeraketter, mens for elever i ungdomsskolen er det kanskje mer spennende med modellraketter som har ordentlig rakettmotor. Rakettene er forholdsvis enkle å bygge bare man er litt nøye. Motorer og tennere må håndteres av lærer (hvis ikke elevene selv er over 18 år), men elevene kan gjerne få avfyre raketten.

Noen raketter har rom for nyttelast, og da kan man eksperimentere med forskjellige sensorer, eller bare gjøre det litt morsomt med å sende opp en lego-astronaut eller andre figurer.

Gjør man dette til et større prosjekt om verdensrommet er det mange mulige innfallsvinkler til det. Skal det handle bare om raketter, eller skal elevene tenke seg at rakettene tar dem videre ut i verdensrommet for å utforske andre steder? Hva vil elevene være mest interessert i å utforske? Her kan jo prosjektet være så stort som dere ønsker å gjøre det. For å finne ideer til flere tema kan dere gå til www.esero.no og se på de tilgjengelige klasseromsressursene.

Sikkerhet ved oppskyting av modellrakett

Ved oppskyting av modellraketter er det viktig at lærere viser skjønn og tar vare på sikkerheten til elevene og området rundt. Finn helst et sted et stykke fra bebyggelse, eller et større område med god sikt. Vi anbefaler at lærer monterer motorer og startlunte på raketten. Det er 18-års aldersgrense på kjøp av motorer.

Anbefalte sikkerhetsrutiner:

- Plasser oppskytingsområdet et godt stykke fra biler og bygninger med folk i.
- Minimum diameter på oppskytingsområde må være 150 m.
- Ikke skyt når det er mye vind. (~10 m/s).
- Vinkling av rampa:
 - Ikke mer enn 30 grader vinkel fra vertikalt på rampa.
 - Sikt unna bygninger og biler.
- Verneutstyr:
 - Vernebriller for Operatører (den som skal avfyre raketten)
 - Vernebriller og hansker for oppskytingsansvarlig (lærer)
- Sikkerhetsavstand:
 - Operatør 5 meter unna
 - Tilskuere 10 meter unna
 - Ingen står bak eller foran raketten i vindretninga.
- Opplys alle om faremomenter og sikkerhetsavstand. Alle som ikke greier å følge anvisninger fra oppskytingsansvarlig bortvises fra området.
- Pass på at tenneren står på Disarm
- Fest ledningene til tenneren og kontroller at det er kontakt.
- Sjekk området for farer (Droner\fly\vind) før nedtelling starter.
- Armer tenneren
- Start nedtelling fra T-10 sekund. Tell høyt så alle er forberedt
- Hold inne avfyringsknappen ett par sekund
 - *Hvis den ikke fyres, fjern sikkerhetsnøkkelen og vent 60 sekunder før du går bort til motorene for å sjekke tenneren*
 - *Bytt tenneren hvis den har brent, men ikke fyrt av motoren.*
- Under flukt skal raketten observeres og følges frem til fallskjermen har kommet ut og den ser ut til å lande på trygt område. Bruk gjerne elever som «spottere» for å holde spesielt øye med dette!
- Ta en ny sikkerhetsvurdering for hvert enkelt skudd.
- Fjern sikkerhetsnøkkelen fra avfyringspanelet slik at strømmen er utkoblet.
- Når alle raketten er skutt kan de hentes, så lenge det ikke er noen fareområder.

Aktivitet 1 Raketter

Modellraketter kan kjøpes ved noen hobby/modellflybutikker i Norge, eller på nett:

<https://www.elefun.no/p/prod.aspx?v=18211>

<https://www.elefun.no/p/kat.aspx?k=892>

Utstyr dere trenger:

- modellrakett byggesett
- Beskyttelsesvatt/wadding
- Utskytningsrampe og avfyriingsenhet
- Rakettmotorer og elektroniske tennere
- Lim
- Skalpell
- Sandpapir

Del elevene inn i grupper på 2-3 elever. Erfaringsmessig er 4 litt for mange, da blir noen sittende uten noe å gjøre.

Beregn god tid på byggingen, minimum 2 timer til bygging og 1 time for tørking, gjerne lenger.

Alle raketter med respekt for seg selv har selvsagt et godt navn!

Forslag til elevoppgaver:

- Presenter raketten med navn, type og oppdrag
- Gjør baneberegninger (se aktivitet 2-3) og presenter
- Fordel roller innad i gruppa og la alle delta aktivt i *pre-flight* møtet

PS! Dersom det er kaldt ute, kan det være stor risiko for at fallskjermen ikke folder seg ordentlig ut. Unngå å pakke fallskjermen tett og hold den varm helt til launch, da er sjansen for en vellykket deployment høyere!



Aktivitet 2 Kraft, vekt og størrelse på raketten

Raketten min er en (les typen på posen med byggesettet): _____

a) Finn rakettsens motortype fra tabell A side 6

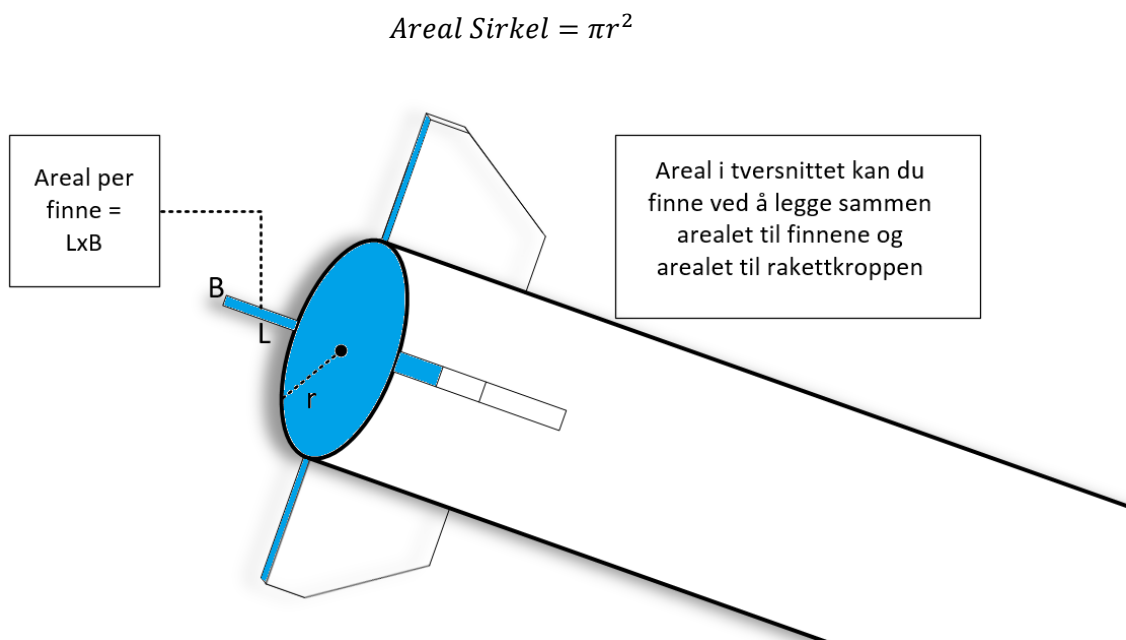
b) Finn motorens gjennomsnittlige skyvekraft (F) fra tabell A

c) Finn motorens masse (m_m) fra tabell A

d) Bestem rakettsens totale masse (m_t), inkludert motor



e) Bestem rakettsens tverrsnittareal (A) (se figur 1). Husk at raketten har 3 finner (og ikke 4 som på tegningen herunder). Bruk cm slik at svaret er gitt i cm^2



Figur 1: Hvordan beregne tverrsnittareal

f) Finn brenntiden (t_b) til motoren fra tabell A

Aktivitet 3 Baneberegninger

a) Når raketten står på avfyrringsrampen og rakettmotoren tennes vil raketten akselereres oppover. Denne akselerasjonen (a_m) kan man finne ved å bruke Newtons 2. Lov:

$$F = m_t \cdot a_m \quad (1)$$

$$a_m = F/m_t \quad (2)$$

Bruk formel (2), skyvekraften (F) og massen (m_t) til å regne ut akselerasjonen til raketten

b) I virkeligheten er akselerasjonen til raketten litt mindre enn det dere fant i oppgave a). Det er på grunn av at tyngdekraften og flere andre krefter som bremser raketten litt opp mens motoren brenner. Verdien $g = 10 \frac{m}{s^2}$ angir hvor mye raketten blir bremset opp av tyngdekraften:

Finn den nye akselerasjonen (a) ved å bruke formel (3):

$$a = a_m - g \quad (3)$$

c) Når man vet akselerasjonen a til raketten kan man regne ut hastigheten v raketten har, når motoren har brent ferdig:

$$v = a \cdot t_b \quad (4)$$

t_b er «brenntiden» som er den tid det tar før motoren slutter å brenne.

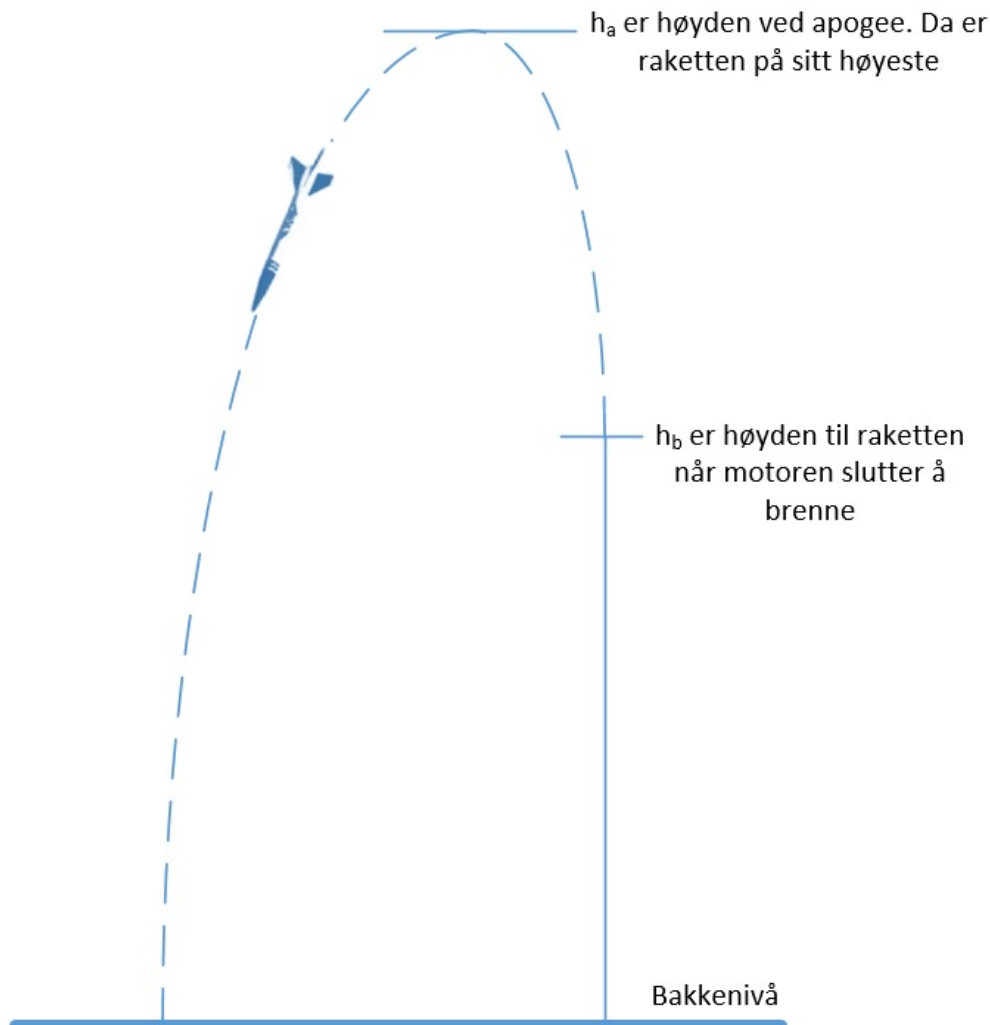
Bruk formel (4) ovenfor til å regne ut hastigheten til raketten når motoren slutter å brenne

d) For å finne høyden raketten er på når motoren slutter å brenne setter man inn hastigheten (v) fra forrige oppgave og brenntiden (t_b) inn i formel (5):

$$h_b = \frac{v \cdot t_b}{2} \quad (5)$$

Regn ut høyden (h_b) til raketten når motoren slutter å brenne

e) Selv om motoren slutter å brenne faller ikke raketten ned med en gang. Raketten fortsetter oppover til den snur å faller ned mot bakken igjen fordi tyngdekraften drar i raketten. Den maksimale høyden kaller vi for apogee (h_a).



Figur 2: Høyde ved brennslutt og apogee

For å finne høyden til raketten ved apogee (h_a) må vi vite hvor sterkt jordas gravitasjon (g) bremser raketten. Denne verdien er egentlig $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, men for å forenkle bruker vi her $g = 10 \text{ m/s}^2$. Man kan da finne høyden ved å bruke formel (6):

$$h_a = \frac{v^2}{2 \cdot g} + h_b \quad (6)$$

Finn høyden ved apogee* for raketten din

**I virkeligheten vil ikke raketten gå så høyt som dere har beregnet her. Grunnen til det er at vi har sett bort ifra luftmotstanden i beregningene.*

Countdown prosedure

Forkortelser og funksjonsstillinger under oppskytning

ALL	ALL stations	
STC	School Traffic Control	Skolens administrasjon informeres
WT	Weather Team	Holder seg oppdatert på vær og vindretninger
RC	Range Control	Ansvar for at alle vet hva de skal gjøre
PAS	Pad Supervisor	Ansvar for oppskytningsområdet
LC	Launch Control	Ansvar for avfyring
PI	Principal Investigator	Hovedansvar for å følge raketten under oppskytning
RG	Road Guards	Passer på at ingen går inn i området under oppskytning
RSO	Range Safety Officer	Ansvar for sikkerheten under oppskytning
TPS	Launch Control Support and Trajectory calculations	Oppsyn med høydemålinger og utregninger

"T" time HH-MM-SS	Item #	FROM	TO	CHECK	OPERATION
01-00-00	1	RSO	WT		Status weather reports
	2	RC	ALL		RADIO SILENCE
	3	RSO	STC		Inform STC about intention to launch
	4	RC	ALL		All personnel on stations
	5	RC	ALL		Conduct station voice checks _____ WT Weather Team _____ PAS Pad Supervisor _____ PI Principal Investigator _____ RG Road Guards _____ RSO Range Safety Officer _____ TPS Launch Control Support and Trajectory calculations
	6	RC	ALL		Conduct check of GO/NO GO _____ WT Weather Team _____ PAS Pad Supervisor _____ PI Principal Investigator _____ RG Road Guards _____ RSO Range Safety Officer _____ TPS Launch Control Support and Trajectory calculations
	7	RC	PAS		Bring one rocket to launch pad and confirm firing device is UNARMED
	8	PAS	WT		Confirm wind directions
	9	RC	PAS		Elevate launcher and adjust to wind
	10	RC	PAS		Connect umbilical and firing lines
	11	PAS	RC		Clear Launch PAD and report
	12	RC	ALL		RADIO SILENCE LIFTED
	13	RSO	RG		Block all entrances and check launch area
	14	RSO	ALL		Confirm hazard area cleared and personnel at safe distance
	15	PI	TPS		Confirm trajectory ready
	16	TPS	PI		GO/NO GO
	17	RC	LC		ARM firing device
	18	LC	RC		Confirm device ARMED
00-00-10	19	RC	ALL		Time count at one second interval to T-0
00-00-00	20	LC	ALL		Motor ignites
+00-00-30	21	PI	ALL		Tracking rocket
+00-02-00	22	PI	ALL		Announce touchdown
+00-03-00	23	RC	PAS		Inspect launcher and report
	24	RSO	RG		Open entrances to area
Repeat item # 6-24 for as many times as needed					
+00-05-00	25	RC	ALL		Announce time and place for Post Flight Meeting
	26	RC	ALL		End of operation

Kildehenvisninger

- Innholdet er utviklet av Andøya Space Education for ESERO Norway