

MATERIALESAMLING

FYSIK, FLY OG FLYVNING, C-NIVEAU

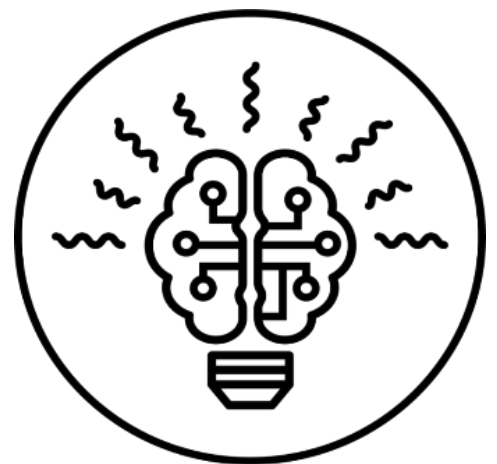
INDHOLD

INTRO.....	2
MODUL 1.....	3
MODUL 2.....	9
MODUL 3.....	12
MODUL 4.....	15
AFSLUTTENDE OPGAVE.....	16

Materialet er udviklet af

Bjørn Svenningsen, gymnasielærer, Herlev Gymnasium og

DA Åben Virksomhed



INTRO

Dette materiale er en del af et undervisningsforløb til fysik på C-niveau, hvor du også skal på besøg i flybranchen. Hovedvægten er lagt på at forstå de fysiske principper i flyvning, og der vil også være opgaver omkring energiforbrug. Viden om dette kan bidrage til at gøre flyvning mere bæredygtigt.

Dette materiale fokuserer alene på den fysik, der ligger til grund for flyvning, og forholder sig ikke til den igangværende politiske debat om CO₂-udledning, flyrejser og bæredygtighed. Klassen kan evt. arbejde med dette i efterfølgende timer eller i andre fag.

Undervisningsforløbet er opdelt i 4 moduler før virksomhedsbesøget og 2 moduler efter virksomhedsbesøget, hvor klassen arbejder med en slutopgave.

Eksperimenter, der er markeret med , kan udføres, hvis man skal ud at flyve.

MODUL 1

Flyet starter

Flyet skal have fart på for at lette. Det sætter fuld kraft på jetmotorerne, hastigheden stiger, og flyet drøner ud ad startbanen. Passagererne presses tilbage i sædet. Nu er det anderledes end i en bil, accelerationen fortsætter, og flyet når hastigheden for takeoff. Flyet vipper næsen opad og letter.

Vi skal se på de begreber, der indgår i dette.

Hastighed og acceleration

Hastigheden stiger. Når hastigheden stiger, så kan vi angive, hvor meget hastigheden stiger pr. sekund, og det kaldes accelerationen. Hvis f.eks. hastigheden stiger fra 30 m/s til 33 m/s på 1 sekund, så er hastighedsændringen 3 m/s pr. sekund. Så siger man, at accelerationen er 3m/s/s = 3 m/s². Enheden for acceleration er således m/s².

Mange bevægelser kan beskrives på den måde, at accelerationen er konstant. Hvis vi benytter betegnelsen v for hastighed, a for acceleration og t for tiden, så får vi denne simple sammenhæng:

$$v = a \cdot t \quad (\text{Begyndelseshastigheden er } 0 \text{ m/s})$$

Her stiger hastigheden lige meget hvert sekund, nemlig a .

Opgave 1.1

Et fly accelererer med accelerationen 3 m/s² fra hvile.

1. Bestem hastigheden efter 10 sekunder.
2. Bestem hastigheden efter dobbelt så lang tid, altså efter 20 sekunder.
3. Hvor lang tid går der, før hastigheden er 45 m/s?
4. Hvor lang tid går der, før hastigheden er 75 m/s?

Efter tiden t har flyet altså opnået hastigheden $v = a \cdot t$.

Man kan finde tilbagelagt strækning s som gennemsnitshastigheden gange tiden. Hastigheden begynder med 0 m/s og slutter med $a \cdot t$. Gennemsnitshastigheden er således $1/2 \cdot a \cdot t$.

Strækningen s findes som gennemsnitshastigheden gange tiden, altså $s = 1/2 \cdot a \cdot t \cdot t = 1/2 \cdot a \cdot t^2$

$$s = 1/2 \cdot a \cdot t^2$$

Opgave 1.2

Et fly accelererer med accelerationen 3 m/s^2 fra hvile.

1. Bestem den strækning, som flyet bevæger sig på 10 sekunder.
2. Bestem den strækning, som flyet bevæger sig på dobbelt så lang tid, altså på 20 sekunder.

Hastigheden for takeoff er 75 m/s . Benyt svaret i opgave 1.1, spørgsmål 4 til at beregne, hvor lang startbanen skal være. For de, der har haft differentialregning i matematik:

Fortolkning ved brug af differentialregning

Bemærk, at den afledede af stedfunktionen med hensyn til tiden er $s'(t) = a \cdot t$, og det er hastighedsfunktionen.

Ligeledes gælder, at $v'(t) = a$, altså accelerationen.

Det gælder for alle bevægelser, der kan beskrives som en funktion af tiden, $s(t)$, at $s'(t) = v(t)$ og $v'(t) = a(t)$.

Kinetisk energi

Bevægelsesenergi kaldes også kinetisk energi. Den kinetiske energi afhænger af massen af det, der bevæger sig, m , og af hastigheden, v . Formelen for kinetisk energi er:

$$E_{\text{kin}} = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

Den kinetiske energi er altså proportional med massen, hvilket nok ikke er overraskende. Den er også proportional med hastigheden i anden potens, hvilket er værd at lægge mærke til.

Når du indsætter i formlen: $E_{\text{kin}} = 1/2 \cdot m \cdot v^2$, så skal massen, m , måles i kg og hastigheden v i m/s. Resultatet kommer så ud i joule, J. Man omregner tons til kg ved at gange med 1000, og man omregner km/h til m/s ved at dividere med 3,6.

Opgave 1.3

Et fly har massen 40.000 kg , og hastigheden ved takeoff er 75 m/s .

1. Beregn den kinetiske energi af flyet ved takeoff.

Opgave 1.4

Et fly har massen 60 tons og hastigheden ved takeoff er 260 km/h .

1. Beregn den kinetiske energi af flyet ved takeoff.

Effekt

Effekt er defineret som omsat energi pr. tidsenhed. Energi måles i J og tid i sekunder, så enheden for effekt er J/s. Enheden J/s kaldes også watt, W. Vi benytter symbolet P for effekt:

$$P = \frac{E}{t}, \quad [P] = \frac{J}{s} = W$$

Opgave 1.5

I denne opgave kombinerer vi resultatet af opgave 1.3 og opgave 1.1 spørgsmål 4.

Vi ser altså på et fly med massen 40.000 kg, der accelererer og dermed opnår hastigheden 75 m/s i løbet af 25 sekunder.

1. Beregn den effekt, hvormed der tilføres kinetisk energi under starten.

Kraft og arbejde

Jorden tiltrækker alle masser med en kraft, som vi kender som tyngdekraften F_t . Kræfter måles i Newton, N. Tyngdekraften bestemmes af tyngdeaccelerationen $g = 9,82 \text{ m/s}^2$ eller med en anden enhed $g = 9,82 \text{ N/kg}$.

$$F_t = m \cdot g$$

Da g er tæt på 10, kan man få en fornemmelse af kræfter ved, at tyngdekraften på 1 kg er ca. 10 N. Det er også sådan, man beskriver kræfter i dagspressen – f.eks. bulldozeren trækker med 5.000 kg og hermed menes, at den trækker med en kraft på ca. 50.000 N.

Flymotorerne presser flyet frem med en kraft under accelerationen. Denne kraft er bestemt af Newtons 2. lov, der siger, at resulterende kraft er lig masse gange acceleration.

$$F = m \cdot a$$

Her skal massen, m , angives i kg og accelerationen, a , i m/s^2 . Kraften kommer så ud i N.

Opgave 1.6

Vi ser igen på flyet med massen 40.000 kg, der accelererer med accelerationen 3 m/s^2 .

1. Beregn kraften på flyet under accelerationen.

Der virker altså en stor kraft fremad på flyet under accelerationen. Kraften tilfører flyet energi. Man siger, at kraften udfører et arbejde på flyet. Den energi, som kraften overfører til flyet, er bestemt af den vejlængde, s , som kraften virker over.

$$A = F \cdot s$$

Hvis kraften måles i N og vejlængden, s , i m, bliver arbejdet A beregnet i J.

Opgave 1.7

Benyt resultaterne fra opgave 1.2, spørgsmål 3, og opgave 1.6

1. Beregn det arbejde, som kraften udfører på flyet under acceleration op til takeoff.
2. Sammenlign med resultatet i opgave 1.3 – og kommentér.

Potentiel energi

Hvis en tung genstand skal løftes op, så kræver det energi, men man kan få energien igen ved at lade genstanden synke ned igen. Denne mulighed for at få energien igen er begrundelsen for at kalde denne beliggenhedsenergi for potentiel energi.

Den potentielle energi beregnes som masse gange tyngdeacceleration gange højde:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Massen, m , måles i kg, tyngdeaccelerationen $g = 9,82 \text{ m/s}^2$ og højden, h , måles i m, og så kommer den potentielle energi E_{pot} ud i J.

Summen af kinetisk og potentiel energi kaldes mekanisk energi:

$$E_{mek} = E_{kin} + E_{pot}$$

Opgave 1.8

Et fly har massen 40.000 kg. Flyet stiger 600 m.

1. Beregn tilvæksten i potentiel energi.

Nu bliver det konkret: Vælg et fly, og følg dets start

Vi kan nu følge et bestemt fly.

<https://www.flightradar24.com/WZZ4153/237ce509>

Dette link bringer dig til Københavns Lufthavn. Vi har valgt denne, fordi der er mange fly, men du kan nemt skifte til en anden lufthavn, hvor der er en afgang, som du er interesseret i. Det kan også blive aktuelt, hvis du arbejder med denne opgave om natten. Så kan du skifte til en lufthavn et andet sted på jorden, hvor der er travlt.

Find et fly, der skal til at lette.

Klik på flyet, og aflæs flytype ude til venstre.

Der er også vist, hvordan man aflæser højde og hastighed.

flight radar24
LIVE AIR TRAFFIC

SK627 / SAS59J
SAS

© Teemu Pesonen

CALIBRATED ALTITUDE	VERTICAL SPEED
0 ft	🔒
GPS ALTITUDE	TRACK
N/A	177°

Speed & altitude graph

GROUND SPEED	TRUE AIRSPEED
17 kts	N/A
INDICATED AIRSPEED	MACH
N/A	N/A

WIND TEMPERATURE

More SK627 information

AIRCRAFT TYPE (A320)
Airbus A320-232

43 km/h, 26 mph

GROUND SPEED	TRUE AIRSPEED
23 kts	N/A
INDICATED AIRSPEED	MACH
N/A	N/A

Opgave 1.9

Vælg et fly på [Flightradar](#), der skal til at lette.

Det følgende er det praktisk at være flere om. Man skal både have styr på tid, hastighed og højde. Man kan også filme sin skærm sammen med et ur.

- Registrer hastighed, tid og højde, når værdierne opdateres. Det sker med nogle sekunders mellemrum.
- Omregn hastighederne til enheden m/s. Beregn en værdi for acceleration, som hastighedsændring divideret med tidsforskel.
- Tegn en graf, der viser både hastighed og højde. Benyt hastighedsgrafen til at bestemme starttidspunktet for accelerationen og højdegrafen til at bestemme tidspunktet for takeoff.
- Aflæs også hastighed og højde 1 min. efter start.

Nu har du oplysning om hastighed for takeoff og om accelerationstiden.

Ved at søge på nettet under flytype kan du finde massen af flyet og motorernes effekt og kraft.

Beregn nu følgende:

1. Bestem accelerationen som hastighedsændring i løbet af accelerationen divideret med tid.
2. Bestem kraften som masse af fly gange acceleration.
3. Sammenhold den beregnede kraft med den, der opgives for flytypen på nettet. Oplysningerne kan eventuelt være pr. motor.
4. Bestem den kinetiske energi ved takeoff.
5. Bestem den gennemsnitlige effekt under accelerationen som kinetisk energi divideret med accelerationstid.
6. Sammenhold med oplysninger for flytypen på nettet.
7. Beregn tilvækst efter 1 min. i både kinetisk og potentiel energi.
8. Beregn den gennemsnitlige effekt, som motorerne leverer til den mekaniske energi i løbet af det 1. min. efter start.

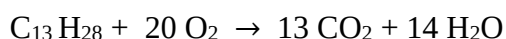
MODUL 2

Brændstof

Flyet skaffer sig energi ved at brænde flybrændstof af. Flybrændstoffet er carbonhydrider, som forbrænder under reaktion med luftens oxygen og giver CO₂ og vanddamp. Vi skal se på denne reaktion og regne på, hvor megen energi vi kan få fra flybrændstoffet, og vi skal se på, hvor meget CO₂ der dannes ved forbrændingen.

Forbrændingsreaktionen

Flybrændstof består fortrinsvis af carbonhydrider med 12 til 15 carbon og hydrogen på de ledige bindinger. Som eksempel bruger vi C₁₃H₂₈. Dette reagerer med luftens oxygen og danner CO₂ og vanddamp.



Når man skal regne på masserne i sådan en reaktion, så benytter man grundstoffernes atommasser. Atommassen angives i atommasseenheder (u).

Hydrogenatomets masse er ca. 1 u, carbon-atomets masse er ca. 12 u, og oxygenatomets masse er ca. 16 u.

Massen af C₁₃H₂₈ er dermed $13 \cdot 12 \text{ u} + 28 \cdot 1 \text{ u} = 184 \text{ u}$

Massen af den udviklede CO₂ er $13 \cdot (12 \text{ u} + 2 \cdot 16 \text{ u}) = 572 \text{ u}$

Her kan vi se, at afbrænding af 184 u flybrændstof giver 572 u CO₂.

Og dermed giver afbrænding af 184 kg flybrændstof 572 kg CO₂.

Forholdet mellem masserne er $572 \text{ kg}/(184 \text{ kg}) = 3,11$

Der dannes altså over 3 gange så meget CO₂ som den mængde flybrændstof, der brændes af.

Opgave 2.1

På en flyrejse brændes 20.000 kg flybrændstof. Der er plads til 175 passagerer, og flyet er helt fyldt. Rejsens længde er 4.000 km.

1. Hvor meget CO₂ dannes der ved forbrænding af brændstoffet?
2. Hvor meget CO₂ dannes pr. passager?
3. Man taler nogle gange om CO₂ pr. sædekilometer. Beregn dette tal.

Brændværdi

Brændværdien for flybrændstof er høj, nemlig 42 MJ/kg. Det betyder, at hver gang vi brænder 1 kg flybrændstof af, så frigør vi en energi på 42 MJ = 42 000 000 J. Symbolet for brændværdi er B. Ved afbrænding af massen, m, af et brændstof, frigøres energien $E = m \cdot B$.

$$E = m \cdot B \quad [B] = \frac{J}{kg} \text{ eller } [B] = \frac{MJ}{kg}$$

Opgave 2.2

Et passagerfly bruger 20.000 kg flybrændstof på en flyvning.

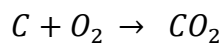
1. Beregn den frigjorte energi på denne flyvning.
2. Benyt resultatet i opgave 2.1, spørgsmål 1, til at beregne massen af dannet CO_2 pr. frigjort MJ energi.

Opgave 2.3

Et lille sidespring i forhold til flyvning, som kan give dig en fornemmelse af de mængder af CO_2 , der kan udledes ved energiproduktion fra kul.

Energiproduktion fra kul regnes som ekstra miljøbelastende.

Kul brænder ved denne meget simple reaktion:



1. Beregn, hvor mange kg CO_2 der dannes ved forbrænding af 1 kg kul. Brug atommasserne ovenfor.
2. Brændværdien for kul er 29 MJ/kg. Beregn massen af dannet CO_2 pr. frigjort MJ energi ved kulbrænding. Sammenlign med opgave 2.2.

Nyttevirkning

Det er ikke al den energi, som en motor frigør ved forbrænding, der går til arbejde. Motoren har en nyttevirkning under 1. For flymotorer er en typisk nyttevirkning $\eta = 0,3 = 30$ pct. Det vil sige, at 30 pct. af den energi, der frigøres ved forbrænding af flybrændstoffet, bliver til nyttigt arbejde.

$$\eta = \frac{E_{nytte}}{E_{tilført}}$$

Opgave 2.4

Et fly starter. Efter 1 min. er hastigheden 95 m/s og højden 800 m. Flyets masse er 40.000 kg (du kan også i denne opgave bruge dine egne tal fra opgave 1.9).

1. Beregn flyets mekaniske energi 1 min. efter start, altså kinetisk energi plus potentiel energi.

2. Motorernes nyttevirkning er $\eta = 0,3$. Beregn den energi, der skal frigøres for at tilføre flyet mekanisk energi. Vi ser bort fra tab til gnidningskraft undervejs.
3. Beregn massen af flybrændstof, der mindst skal bruges i løbet af det 1. min.

Vi ser på en lang flyvning, så vi kan se bort fra det brændstof, der bruges ekstra til start.

I en rapport, der er udarbejdet af Teknologisk Institut for Energistyrelsen ¹, gøres der bl.a. rede for glidetallet. For lange flyvninger i stor højde er det typisk 15. Det betyder, at den kraft, som skal skubbe flyet frem, er 1/15 af tyngdekraften. Det bringer os frem til, at det nyttige arbejde, som flymotoren skal udføre under flyvningen, er:

$$A = 1/15 \cdot m \cdot g \cdot s$$

Hvor m er massen af flyet i kg, g er tyngdeaccelerationen ($g = 9,82 \text{ m/s}^2$), og s er flyveturens længde i m.

Opgave 2.5

Vælg en lang flyvetur og find oplysninger om den på nettet. Du skal bruge flytype, antal passagerer og turens længde, s . Ud fra flytypen kan du finde det lastede flys masse, m .

1. Brug formlen $A = 1/15 \cdot m \cdot g \cdot s$ til at vurdere flymotorenes nyttige arbejde.
2. Brug nyttevirkningen $\eta = 0,3$ til at vurdere brændstofforbruget på turen.
3. Vurder mængden af udviklet CO_2 ved forbrænding af dette brændstof.

¹ Henvisning: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/energiforbrug_for_tog_og_fly.pdf

MODUL 3

Flyvning over jordoverfladen

Flyvning i vind

Så snart et fly er lettet, så bevæger det sig i forhold til den omgivende luft, og hvis det blæser kraftigt, så kan det betyde meget for flyets hastighed i forhold til jorden. Når flyet kommer op i stor højde, så kan vindhastighederne være meget store, op til 200 km/h. Hvis flyet flyver i medvind, så skal vindhastigheden lægges til flyets hastighed i forhold til luft (TAS = True Air Speed) for at få hastigheden i forhold til jord (GS = Ground Speed) og trækkes fra i modvind.

Opgave 3.1

Vi planlægger en flyvning fra København til New York og retur. Ruten er næsten vest ud og øst hjem. Flyet bevæger sig med hastigheden 860 km/h i forhold til den omgivende luft (TAS). Vindhastigheden i de høje luftlag er 100 km/h fra vest mod øst, og afstanden fra København til New York er 6.197 km.

1. Beregn GS fra København mod New York.
2. Hvor lang tid tager flyveturen fra København til New York?
3. Beregn GS fra New York mod København.
4. Hvor lang tid tager turen fra New York til København?
5. Prøv at søge en returrejse til New York på nettet. Hvilke rejsetider angives?

Opgave 3.2

Man kan nogle gange blive overrasket over, hvor de lange flyruter fører os hen.

Den korteste vej mellem 2 steder på jorden går langs en storcirkel, og den kan man vise ved at tage en snor og stramme den ud mellem de 2 punkter på en globus.

Benyt en globus og en snor til at afgøre følgende.

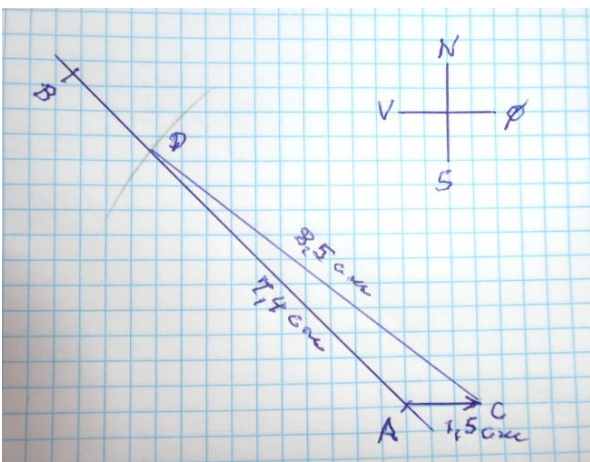
1. Vi flyver direkte den korteste vej fra København til Mexico City. Hvilken kurs skal vi holde, når vi letter fra København?
2. Vi tager den direkte vej fra København til Auckland, New Zealand, men vi mellemlander midtvejs. Hvor er det?

I opgave 3.1 fløj vi direkte mod vinden eller direkte med vinden. Det behøver ikke være sådan. Nedenfor ser vi på den situation, at vi skal flyve skråt i forhold til vinden.

Vi skal flyve fra A til B, og retningen fra A til B er NV (kurs 315°). Vi flyver med hastigheden 850 km/h i forhold til luften. Vindhastigheden er 150 km/h fra vest mod øst.

Vi kan opfatte både vindhastigheden og flyhastigheden i forhold til vinden som vektorer. Summen af de 2 vektorer skal gå i den rigtige retning, så vi bevæger os fra A mod B.

Vi kan løse problemet med en lille konstruktion, hvor vi bruger enheden 1 cm svarer til hastigheden 100 km/h:



Først tegnes retningen fra A til B.

Så tegnes en vektor med længden 1,5 cm mod øst til punktet C. Det svarer til vinden.

Med spidsen af denne vektor som centrum tegnes en cirkel med radius 8,5 cm svarende til en hastighed i en eller anden retning på TAS = 850 km/h. Punktet D er skæringen mellem cirklen og linjen fra A til B.

Flyhastigheden i forhold til jorden, GS, er da bestemt ved vektoren fra A til D. På tegningen kan vi måle, at hastigheden i forhold til jorden, GS, er ca. 740 km/h.

Flyets næse skal pege i samme retning som CD. Flyet skal således flyve med kurs 308° for at bevæge sig over jorden med kurs 315.

Du kan også løse problemet ved trekantsberegning. Du kender 2 sider og 1 vinkel i trekant ACD.

Opgave 3.3

Du skal flyve fra København til Azorerne. Flyets hastighed i forhold til luften er 900 km/h. Afstanden er 3.463 km, og kursen skal være SV. Vindhastigheden er 200 km/h fra vest.

1. Bestem flyets hastighed over jorden mod Azorerne.

2. Hvor lang tid tager turen?
3. I hvilken retning peger flyets næse under flyvningen?

Hvor stor en del af jordkloden kan vi nå med nonstop flyvning?

Betragt en globus og overvej, at der aldrig er grund til at flyve mere end 20.000 km nonstop.

Opgave 3.4

En af verdens længste flyruter går fra Doha til Auckland, 14.500 km. Med en rækkevidde på 14.500 km kan man nå det meste af jordens overflade, men hvor mange pct. af jordens overflade?

Prøv at besvare dette spørgsmål ved at vurdere arealer på en globus. Hvilke lande kan ikke nås fra Danmark?

Spørgsmålet med procentdelen, der ikke kan nås, kan besvares mere nøjagtigt ved at integrere overfladen af det omdrejningslegeme, som en kugle jo er (stof for Matematik A).

Geometri med afstand til horisont

Man kan foretage forskellige geometriske overvejelser, der bygger på den store flyvehøjde og jordkuglens runding. I matematik har man gerne nogle overvejelser i stil med dette fra den græske matematik.

Hvis man er i toppen af et højt tårn, så kan man se langt, og hvis man flyver i 10 km højde, så kan man se meget langt. Men hvor langt?

Resultatet er følgende: Hvis en iagttager befinder sig i højden, h , over jordoverfladen, så kan vedkommende se ud til afstanden, d , bestemt ved:

$$d = \sqrt{2 \cdot R \cdot h} \quad R \text{ er jordens radius} \quad (h \ll R)$$

Her skal R , h og d måles i samme enheder, m eller km.

Opgave 3.5

Sæt jordens radius R til $6.370 \text{ km} = 6.370.000 \text{ m}$.

1. Hvor langt kan du se fra et tårn på 50 m højde?
2. Hvor langt kan du se, hvis du flyver i 10 km højde?

MODUL 4

Forberedelse af virksomhedsbesøg og afsluttende opgave

I dette modul skal du forberede dit virksomhedsbesøg og den afsluttende opgave.

Din lærer vil fortælle, hvem I skal møde, hvad I skal se, og hvilke rammer der er for den afsluttende opgave.

Når man taler med personer i flybranchen, så bruger de tit amerikanske enheder. Opgaven nedenfor går ud på at lære et par af disse enheder at kende.

Opgave 4.1

Omregn følgende størrelser til SI-enheder (metersystemet). Find oplysninger om enheder på nettet.

1. Flyhøjden er 33000 ft.
2. Afstanden 1200 NM.
3. Hastigheden 440 kts.
4. Lasten er 40 000 lb.
5. Rumfanget af brændstof er 2000 USG.
6. Flybrændstof (100LL) har massefylden 0,71 kg/L. Beregn massen af 2000 USG flybrændstof.

I den afsluttende opgave skal du lave en flyveplan for en konkret flyvning. Du skal vælge flytype og rute for flyvningen. Opgaven er nærmere beskrevet på næste side.

Tænk på forhånd over, om der er nogle konkrete spørgsmål, du får brug for at få svar på under besøget. Du må også overveje, om der er målinger, du skal foretage, eller du skal tage billeder (spørg om lov, inden du fotograferer på virksomheden).

AFSLUTTENDE OPGAVE

Logistik: Planlægning af en konkret flyvetur.

Til planlægning af flyveturen skal du bruge forskellige online-værktøjer og din viden om fysik.

Opgave

Hvis virksomheden og læreren ikke har aftalt en alternativ slutopgave, kan I bruge denne.

Du er medlem af Roskilde Flyveklub og skal flyve et lille enmotors propelfly af typen Piper 28-140B fra Roskilde Lufthavn (der har koden EKRK) til Billund Lufthavn (der har koden EKBI) med 2 voksne og 2 børn ombord.

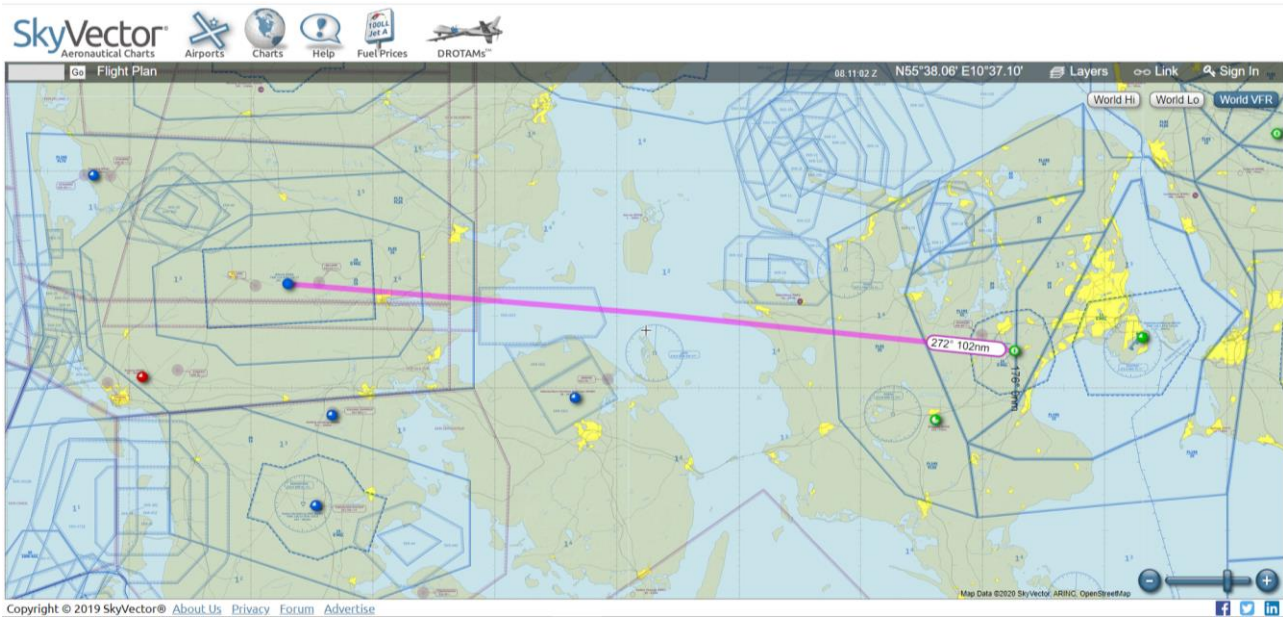
Først skal du lave et kort over flyruten og måle distancen, I skal flyve. Som værktøj til det kan du bruge online-værktøjet [Skyvector.com](https://skyvector.com)

- Find distancen fra Roskilde til Billund.
- Find flyvetiden (*ETE*).
- Hvilken retning (angivet i grader) skal I flyve i?

Værktøjet [Skyvector.com](https://skyvector.com)

[Skyvector.com](https://skyvector.com) er et gratis online-værktøj, der kan bruges til at lave flyveplaner.

Man kan zoome ind og ud og flytte rundt på kortudsnittet. Vælg visningen **World VFR** oppe til højre på kortet. Når man åbner [Skyvector.com](https://skyvector.com), kan man skrive forkortelsen for en konkret lufthavn i det lille grå felt øverst til venstre. Roskilde Lufthavn hedder f.eks. EKRK, Billund Lufthavn hedder EKBI. Så får man et kort frem over det område, man skal bruge.



Herinde kan man finde mange informationer om flyveforholdene, distancer, flyvetider m.v. og tegne sin planlagte flyverute ind.

Planlægning af flyveturen til Billund

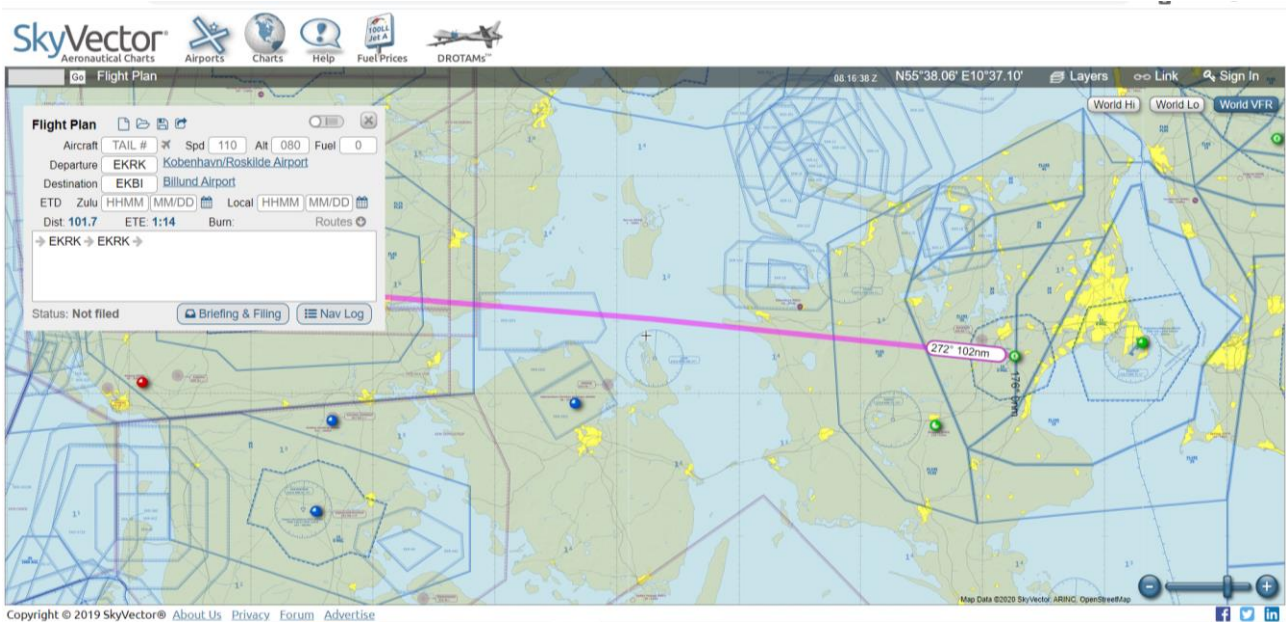
Du skal flyve fra Roskilde lufthavn. Roskilde Lufthavn har koden EKRK. Derfor skriver du EKRK i feltet oppe til venstre i [Skyvector.com](https://www.skyvector.com) og trykker Go.

Hvis du klikker på *i* i den blå cirkel til højre for "København/Roskilde", så får man nogle oplysninger om lufthavnen, f.eks. at der er 4 startbaner *runway* 11/29 og 03/21 og deres retning.

Prøv at afsløre sammenhængen mellem betegnelsen 11/29 og banernes retning.

Klik på **FLIGHT PLAN** i øverste venstre hjørne. Inde i Flight Plan skriver du EKRK (Roskilde) ud for *Departure* og EKBI (Billund) ud for *Destination*, fordi du skal fra Roskilde til Billund.

Du kan nu se flyruten på kortet, og du kan aflæse flyretningen samt distancen målt i nautiske mil (nm).



Du kan aflæse en masse information i Skyvector.com. Det, du skal bruge i opgaven, er distancen, flyvetiden og vinklen i forhold til nord. Inde i Flight Plan kan du aflæse den estimerede flyvetid.

Nyttig information:  Klik på  i Flight Plan, hvis du vil nulstille og slette

Afstande måles i nm (nautiske mil) = 1,8 km

Hastigheder (spd = true air speed TAS) måles i knob = kts (nm/t)

Dist = samlet distance

ETE = estimeret flyvetid

Der er ofte modvind, når man flyver vestpå, så Ground Speed (GS) typisk er lavere end True Air Speed (TAS). Beregn flyvetiden for denne flyvning fra Roskilde til Billund, når flyets *Ground speed* sættes til 95 kts (nm/t)

Brændstofforbrug

Gå ind på Roskilde Flyveklubs hjemmeside: rfk.dk

Vælg fanen **Booking** og vælg flyet OY-CYF. Her kan du se alle specifikationer for det fly, som I skal flyve i.

I skemaet under **”Performance-tabeller”** klik på **”Se Performance (pdf)”** og find herinde den tabel, der viser *Cruise Performance*.

På distancen fra Roskilde til Billund skal I cruise med 65 pct. af flyets motorkraft (*Pow.*) i 3.000 fods højde (*Dens. Alt.*). Vælg *True Air Speed (TAS)* 103. Aflæs i tabellen, hvor meget brændstof i enheden *USG*, som flyet bruger pr. time.

Du skal have tilstrækkeligt med brændstof på flyet til den estimerede flyvetid + mindst 1 time (for at være på den sikre side).

- Hvor meget brændstof skal du mindst have med på turen fra Roskilde til Billund?

I skemaet under ”**Vægt- og balanceberegning**” klik på ”Beregn online”.

Indtast vægt på de 2 voksne, de 2 børn og evt. bagage i felterne (du bestemmer vægten i kg). Indtast den mængde brændstof (*fuel*), du har regnet ud, I skal have med (rund af til hele tal). Vælg enheden *USG 100LL*.

- Beregn, om den planlagte vægt er ok ved at trykke *calculate*. Er prikken i diagrammet grøn, er det ok. Er den rød, betyder det, at flyet er for tungt, og du må reducere vægten, før I kan flyve.
- Hvis I skulle flyve helt til Kristiansand i Norge og ikke kun til Billund. Hvor mange passagerer kan der så være i flyet, hvis vægten skal balancere, og der skal være tilstrækkeligt brændstof (lufthavnen i Kristiansand har koden *ENCN*. Brug samme metoder som før)?

I skemaet under ”**Start- og landingsdistanceberegning**” klik på ”Beregn online”.

Åbn et Excel-ark, der kan bruges til beregning af, hvor lang start- og landingsbane skal være, før du kan starte og lande flyet.

Venstre side af regnearket indeholder data for startbanen:

- *Startsted* er allerede sat til Roskilde Lufthavn (EKRK).
- *Startbane i meter (TODA)* viser, hvor lang startbanen er i Roskilde.
- *Aerodrome Elevation* i feet viser lufthavnens højde over havet i fod.
- *QNH* er lufttrykket i hekto-pascal (varierer mellem 990 og 1025). Den er her sat til 1013 hPa som standardatmosfæren.
- *Temperaturen* er lufttemperaturen ved jorden i lufthavnen. Den er sat til 15°C som standardatmosfæren.
- *Startdistance* viser, hvor langt en startbane flyet skal have for at lette.

Nederst er forskellige korrektioner, som man skal korrigere for, hvis man ikke har at gøre med en asfalteret startbane, men en anden type underlag – f.eks. langt græs (der kan du se, at man skal lægge 25 pct. til startdistancen på grund af den øgede modstand).

I højre side af regnearket er der plads til tilsvarende data for landingsbanen.

Du skal bruge regnearket til at indtaste data for din flyvetur fra Roskilde til Billund. Du skal lande på landingsbane 27 i Billund (EKBI).

- Find på nettet længden af landingsbane 27 (i meter) og højden over havet (i fod).
- Beregn landingsdistancen.
- Trafikstyrelsen kræver, at banelængde skal være en faktor 1,43 længere end ”korrigeret landingsdistance” (for en sikkerheds skyld). I den gule række foruden kan du se, om henholdsvis start- og landingsbane er tilstrækkelig lange til at lande under de givne forhold og omstændigheder.
- Prøv at variere temperatur, lufttryk, højde, underlag m.v. og brug regnearket til se, hvordan det påvirker start og landingsdistance. Brug noget af den fysik, du har fået gennemgået i undervisningsforløbet til at forklare, hvad der sker, og hvorfor når de forskellige værdier ændres.
- Ifølge formlen for luftmodstand er luftmodstanden proportional med 2. potens af hastigheden.

Men flyvetiden for en bestemt distance er proportional med hastigheden i minus 1. potens.

Alt i alt skulle brændstofforbruget således være proportionalt med hastigheden.

Beregn brændstofforbruget for turen fra Roskilde til Billund ved 3 forskellige realistiske hastigheder. Undersøg, hvordan brændstofforbruget afhænger af hastigheden.