

En varmluftsballon

Denne artikel er en lettere revideret udgave af en artikel, som Dan Frederiksen og Erik Vestergaard fra Haderslev Katedralskole havde i LMFK-bladet nr. 2, februar 1997.

Enhver, som er i besiddelse af en kraftig ukrudtsbrænder, lim, ståltråd, tape og en rulle restpapir fra et avistrykkeri, kan efter 4-8 timers arbejde nyde synet af en varmluftsballon med en højde på 2 – 4 meter, et volumen på 5 – 25 m³ og med en ikke ubetydelig trækraft på 10 – 50 N.

Vi er to fysiklærere, der har puslet med disse balloner i et stykke tid, og vi nærer forhåbninger til dem som en del af et 1g projekt. Projektet vil indeholde dels en matematisk del med trigonometri og regneark, dels noget fysik omkring opdrift, men i høj grad også skæg og ballade når eleverne skal klippe, klistre og efterfølgende sætte ballonerne op udendørs. Vi har efterhånden samlet nogle erfaringer, som det kan være nyttigt for andre interesserede at få del i. En liste over de anvendte materialer er angivet i slutningen af artiklen.

Ballonens geometri

Ballonen opbygges af et passende antal strimler gående ovenfra og ned. Figur 1 på næste side viser ballonen set ovenfra. Beregningen af strimlernes form kræver en for gymnasieelever ikke helt triviel matematik, men med passende vejledning vil de fleste få en god forståelse for problemet.

Det første vi stod overfor var at afgøre, hvilken form ballonen skulle have. Vi valgte en form, som er et omdrejningslegeme fremkommet ved at rotere en kurve bestående af en cirkelbue sammensat med et tangerende linjestykke 360° omkring symmetriaksen. Ballonen kan som vist på figur 2 beskrives ved hjælp af parametrene R , r , φ , hvor R er radius af cirkelbuen, r er radius af åbningen, mens φ er vinklen, cirkelbuen spænder over.

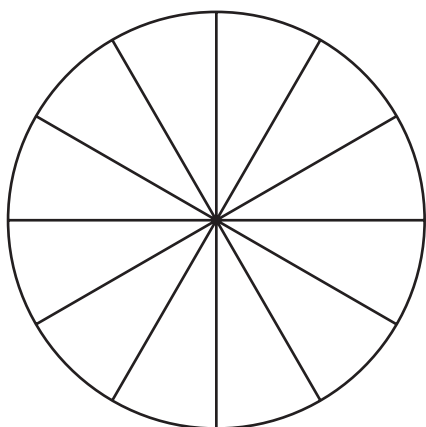
Vi indfører følgende størrelser:

- s Kurvelængden fra ballonens toppunkt til punktet P_s .
- $h(s)$ Afstanden fra P_s til symmetriaksen.
- s_{\max} Længden af hele kurvestykket fra T til Q .
- s_{del} Længden af kurven fra punktet T til det punkt D , hvor cirkelbuen går over i et linjestykke.

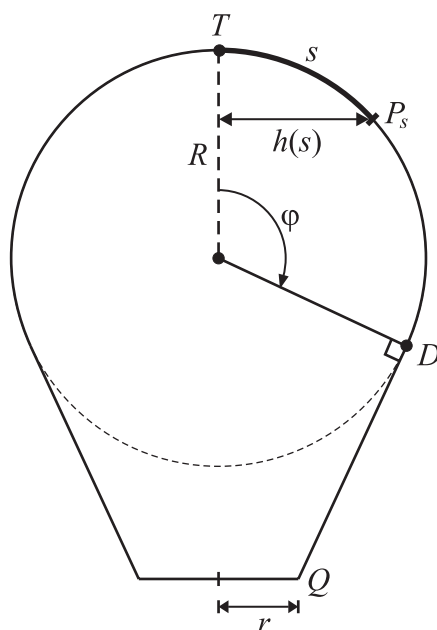


Ballonen på billedet har et volumen på næsten 23 m^3 , en højde på $4,2 \text{ m}$ og vejer godt $2,2 \text{ kg}$.

Figur 1 (Ballon set oppefra)



Figur 2 (Ballon set fra siden)



Efter nogle beregninger fås følgende forskrift for den stykkevist definerede funktion h , idet φ regnes i radianer:

$$h(s) = \begin{cases} R \cdot \sin\left(\frac{s}{R}\right) & \text{for } 0 \leq s < s_{\text{del}} \\ R \cdot \sin(\varphi) + (s - \varphi \cdot R) \cdot \cos(\varphi) & \text{for } s_{\text{del}} \leq s \leq s_{\text{max}} \end{cases}$$

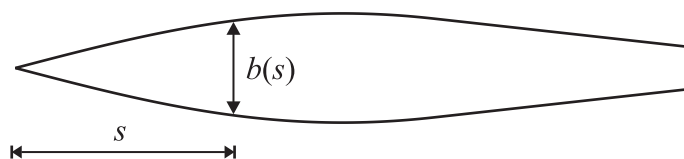
hvor $s_{\text{del}} = \varphi \cdot R$, $s_{\text{max}} = \frac{r}{\cos(\varphi)} - R \cdot \tan(\varphi) + R \cdot \varphi$.

Ved hjælp af $h(s)$ kan vi konstruere en skabelon for de papirstrimler, som ballonen limes sammen af. Omkredsen af det cirkulære tværsnit gennem P_s , vinkelret på symmetriaksen, er givet ved:

$$\text{omkreds} = 2\pi \cdot h(s)$$

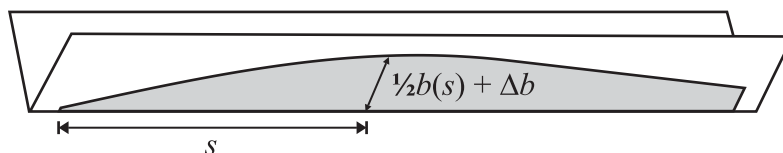
Da ballonen er sammensat af n strimler, må bredden $b(s)$ af strimlen i positionen s være: $b(s) = 2\pi h(s)/n$ (se figur 3).

Figur 3 (Ballonstrimmel)



Når skabelonen klippes ud af et stykke avispapir taget fra en restrulle er det lettest først at folde papiret på midten og derefter klippe igennem lagene på én gang. I praksis kan det være hensigtsmæssigt at inkludere en limkant Δb i hver side af strimlen. Den halve strimmelbredde i positionen s bliver dermed $\frac{1}{2}b(s) + \Delta b$ (figur 4).

Figur 4 (Udklipning af skabelon)



Ved brug af regneark (for eksempel Microsoft Excel) kan man hurtigt beregne et passende antal støttestruer givet ved $(s, \frac{1}{2}b(s) + \Delta b)$ og derudfra konstruere skabelonen.

Ballonen er sammensat af et kuglesegment og en keglestub. Udnyttes dette fås følgende formler til bestemmelse af volumen V , overfladearealet S og højden h :

$$h = R \cdot \left(1 - \frac{1}{\cos(\varphi)} \right) + r \cdot \tan(\varphi)$$

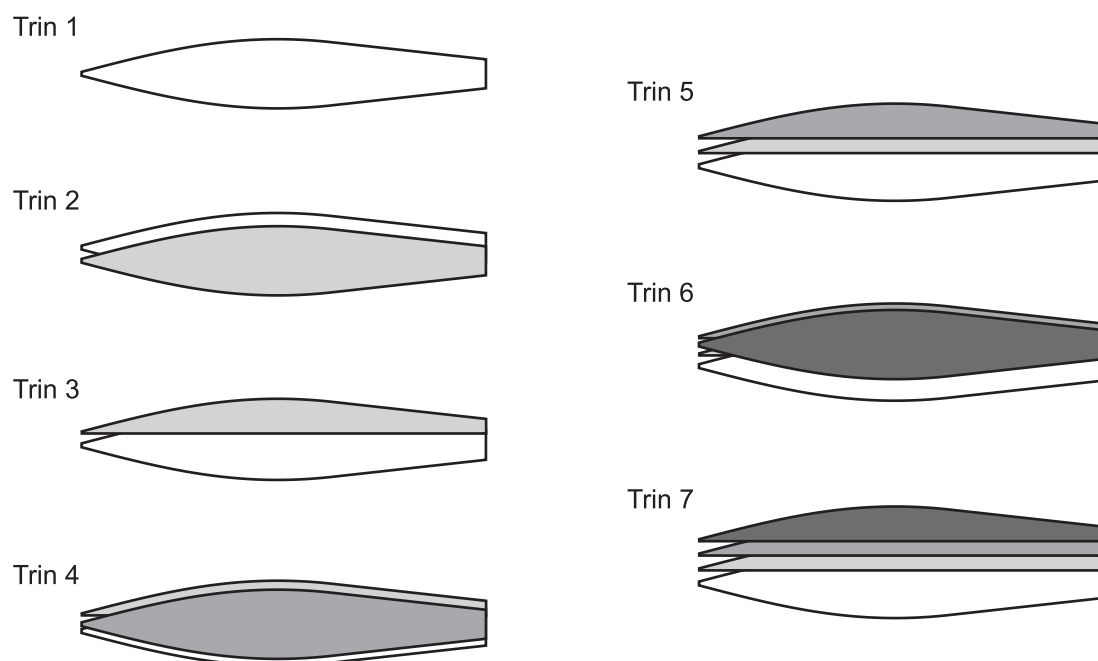
$$V = \frac{1}{3} \pi R^3 \cdot \left(2 - \cos(\varphi) - \frac{1}{\cos(\varphi)} \right) + \frac{1}{3} \pi r^3 \tan(\varphi)$$

$$S = 2\pi R^2 \cdot (1 - \cos(\varphi)) + \frac{\pi \cdot (r^2 - R^2 \sin^2(\varphi))}{\cos(\varphi)}$$

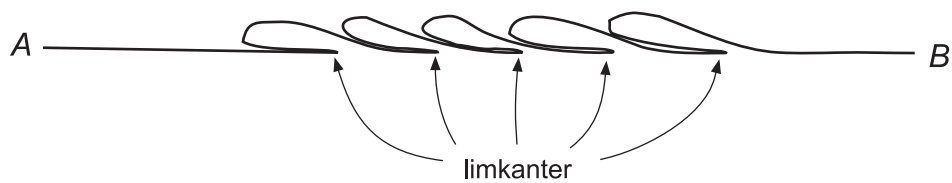
Sammen med denne Word-fil følger også en Excel-fil, som kan hjælpe dig med at lave en skabelon til en "ballon-strimmel", alt efter hvilken størrelse ballon, du måtte ønske. I eksemplet vist på næste side har valget af parametre resulteret i en ballon på $10,74 \text{ m}^3$.

Regneark for varmluftsballon						
Nedenstående størrelser er i SI-enheder. De med grøn farve markerede størrelser skal vælges, resten beregnes af regnearket. Alle længdemål er i meter.						
Ballonradius		R	1,300			
Åbningsradius		r	0,500			
Åbningsomkreds		O	3,142			
Ballonvinkel		φ (grader)	115	(> 90°)		
		φ (radianer)	2,0071			
Antal strimler		n	12			
Limkant		Δb	0,020			
Delepunkt		s_{del}	2,609			
Maximum s		s_{max}	4,214			
Step i s		Δs	0,250			
Max bredde	(incl. Limkanter)	b_{max}	0,721			
Ballonvolumen		V_{ballon}	10,74	m^3		
Ballonoverflade		S_{ballon}	23,57	m^2		
Ballonhøjde		h_{ballon}	3,304			
Buelængde	Halve strimmelbredde					
	inklusive limkant					
s	$\frac{1}{2}b(s) + \Delta b$					
0,00	0,020			Instruktion		
0,25	0,085			Nedkopier de to med gult		
0,50	0,148			markerede felter til der		
0,75	0,206			fremkommer tomme celler		
1,00	0,257					
1,25	0,299					
1,50	0,331					
1,75	0,352					
2,00	0,360					
2,25	0,356					
2,50	0,339					
2,75	0,313					
3,00	0,285					
3,25	0,258					
3,50	0,230					
3,75	0,202					
4,00	0,175					
4,21	0,151					

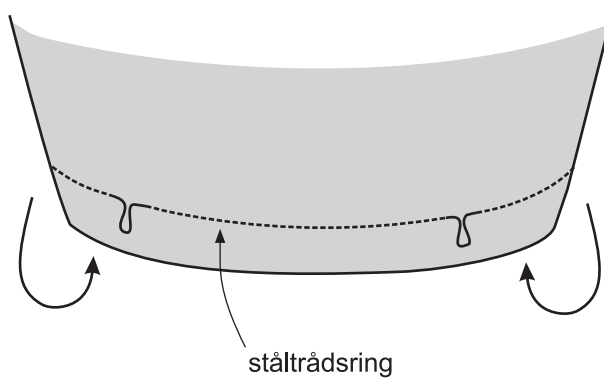
Figur 5 (Limning af strimler)



Figur 6 (Limningen set fra siden)



Figur 7 (Påsætning af ståltrådsring)



Praktiske tips

Selve limningen kan foretages ved at følge den lille tegneserie på figur 5: Man starter med at lægge en strimmel på gulvet. Strimmel nr. 2 anbringes over den første, så den dækker denne på nær limkanten. Nu smøres et passende lag lim på denne kant, undtagen de øverste 15–20 cm af strimlen. Herefter trækkes strimmel nr. 2 helt op til limkanten. Man sørger for at lade en finger løbe hen langs kanten, så strimlerne er hæftet godt sammen. Strimmel nr. 2 foldes ind over den netop limede kant (trin 3). Strimmel nr. 3 anbringes så den dækker strimmel 2, på nær dennes limkant. Der smøres lim på strimmel 2's limkant og den 3. strimmel trækkes op på limkanten og de limes sammen. Strimmel 3 foldes dernæst op over limkanten (trin 5) og processen fortsætter med en 4. strimmel etc. etc.

Figur 6 viser, hvordan strimlerne kommer til at ligge, set fra siden. Man fuldfører limningen ved at flytte kanten *B* ind under stakken af strimler og lime den på den første strimmel i *A*. Fremgangsmåden sikrer, at alle kanter (eller *sømme*) kommer til at befinde sig indeni ballonen, på nær den sidste, som bliver en ydre kant. Bemærk, at skarpe folder i papiret bør undgås, da det svækker ballonen!

Toppen af ballonen kan afsluttes ved at holde de n spidser sammen i et knippe og tape dem sammen med kraftig tape.

Hvad angår bunden af ballonen, så er det vigtigt, at være omhyggelig, for papiret heromkring er særligt udsat for træk. Man kan for eksempel starte med at tape kanten hele vejen rundt med det brede tape. Tag ståltråden frem og lav en ring med nogle løkker på, som vist på figur 7. Vælg for eksempel fire løkker, jævnt fordelt langs ringen. Ringens diameter skal være lidt mindre end ballonens åbningsdiameter, så papiret ikke kommer under træk. Anbring ståltrådsringen *indeni* ballonen, ca. 5 cm fra åbningen (figur 7). Fold de nederste 5 cm papir op omkring ståltrådsringen. Det vil være nødvendigt at lave huller i papiret til løkkerne. Sørg for at forstærke med tape omkring disse huller. Når papiret er foldet om, fastgøres det med tape til indersiden af ballonen. Slut af med at binde en snor i hver sin løkke og saml snorene i én snor et stykke nede. Det skal være sådan, at man kan komme til med *stormbrænderen*.

Opsætning af ballon

Ballonen kan ikke sættes op på dage med kraftig regn eller blæst. Inden den varmes op med stormbrænderen, skal ballonen fyldes delvist med luft, så der ikke kommer kontakt mellem papir og flamme. Er der en let brise, holdes åbningen op mod vinden, ellers kan det være nødvendigt at tage fat i trådkorset og løbe nogle meter, indtil ballonen er passende udpilet. Når den først er i luften, er det intet problem at holde den oppe, og den kan med en god opvarmning komme 100–200 meter op i luften.

Materialeliste

Kraftig ståltråd: Diameteren 2,8 mm er tilstrækkelig. Det kan fås hos trælasthandlen. *Sievert stormbrænder*. Vi fik vores hos *Kolding Ilt & Gas* til en pris af 1300 kr. incl. gas og gasbeholder. Almindelig hvid hobbylim. Bred klar tape. Restrulle fra avistrykkeri. Papirvægt: mindst 45 gram/m². Rullebredde: 79 cm.

Litteratur

Kurt Jakobsen. "*Fysik i Opdrift*". F & K forlaget, 1990.