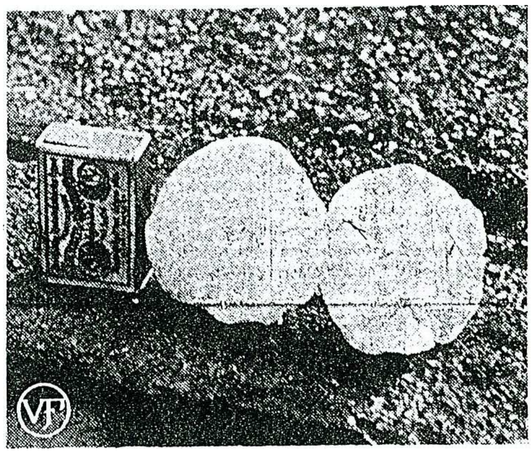
Lennart.wern@smhi.se
2010-03-12

Kan hagel bli hur stora som helst?

Det dök upp ett ärende här på vår avdelning "Information och Statistik" på SMHI angående ett hagel som skulle ha vägt 600 gram och fallit 1953 i Ramnäs. Meteorologer på avdelningen hade tidigare underkänt detta hagel men uppgiftslämnaren var påstridig. Jag blev nyfiken i ärendet och började räkna på uppvindar som krävs för att hålla sfäriska hagel svävande. Resultatet hade jag inte förväntat mig. Det finns en maxgräns för hur stora runda sfäriska jämna hagel kan bli.

Hagel bildas i cumulonimbusmoln vilka innehåller underkylda vattendroppar. I dessa moln förekommer kraftiga upp- och nedvindar. Haglet växer till genom att underkylda vattendropparna fastnar på det lilla haglet och fryser. Haglen åker jojo upp och ner med vindarna i molnet och fler underkylda droppar fastnar på haglet så att det växer till ännu mer. Ju kraftiga uppvindar desto större kan haglen bli. Delar man ett stort hagel mitt itu med en kniv kan man se att det påminner lite om en lök med lager på lager.

Det största haglet i Sverige, godkänt av SMHI, vägde 200 gram och föll i Ramnäs (Västmanland) den 4:e juli 1953. Haglet var ungefär sfäriskt med måtten 8 cm * 7 cm, se figur 1. Vid samma tillfälle sägs det ha förekommit hagel på 623 gram men foto saknas och ingen beskrivning av dess form går att hitta.



Figur 1. Sveriges största officiellt godkända hagel. Askens höjd är 7 cm. Källa Västmanlands Folkblad 6 juli 1953.

För att ett hagel officiellt ska godkännas av SMHI som Svenskt rekord krävs foto på haglet med måttstock och att haglet vägts på noggrann våg, helst foto på våg och hagel.

Om vi antar att ett hagel har formen av en jämn sfär med densiteten 900 kg/m^3 så innebär det att:

- Hagel stora som pingisbollar (diameter 3.8 cm) väger 26 g
- Hagel stora som hönsägg (6.0·4.5·4.5 cm) väger 57 g
- Hagel stora som tennisbollar (diameter 6.6 cm) väger 135 g
- Hagel stora som höjden av en tändsticksask (7 cm) väger 162 g
- Hagel stora som basebollar (7.4 cm) väger 191 g

I ref. 1 står det: ”Största hagelkornen registrerades 14 april 1986 i Gopaljanidistriktet i Bangladesh. De vägde drygt ett kg och hagelskuren dödade 92 personer.”

I ref. 2 står det: **”Jättehagelbomb i Kina”**
Det största kända hagel som har fallit ner på jorden föll över Yüva Shansi i Kina år 1902. De hagelkornen vägde ca 4 kg”.

I figur 2 och 3 nedan finns bilder på hagel. Hagel i storlek upp till basebollar är ofta ungefär sfäriska medan ännu större hagel har en oregelbunden form. Det finns dock undantag. I Lund sommaren 1984 föll det till exempel ishagel som var 1 cm tjocka, men hela 6 cm långa och under juli 2007 i Norrköping föll det runda, platta hagel drygt 2 cm i diameter. Det finns dock inga bilder på att det förekommit jämna sfäriska hagel större än 8 cm i diameter.

Figur 2. Bilder på hagel. Övre bilden till höger är från Sverige medan övriga är från USA. Källa: ref. 3, 4 och 5

Figur 3. Till vänster, jättehagel på ca 13 cm som föll i Harper, Kansas, den 14 maj 2004. Källa ref. 7. Till höger hagel som föll i Aurora, Nebraska 22 juni 2003 och vägde 6 hg. Som framgår av bilderna var diametern 6-7 tum eller drygt 17 cm. Källa: ref. 6

Uppvindar

En viss uppvindhastighet krävs för att hålla ett hagel svävande i luften. Denna vindhastighet kan beräknas vid vissa antaganden. Haglets tyngd ($F = m \cdot g$) måste vara lika med den uppåtriktade dragkraften (*D*) orsakad av vinden:

$$D = ½ \cdot \rho_{air} \cdot U^2 \cdot A \cdot C_D \qquad (1)$$

där

ρ_{air} = Luftens densitet
U = Vindhastigheten
A = Haglets tvärsnittsarea mot vinden
C_D = Dragkoefficienten (mått på luftmotståndet)

således:

$$m \cdot g = ½ \cdot \rho_{air} \cdot U^2 \cdot A \cdot C_D \qquad (2)$$

och efter omflyttning:

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho_{air} \cdot A \cdot C_D}} \qquad (3)$$

Dragkoefficienten, C_D, varierar för en sfär med Reynolds tal, Re:

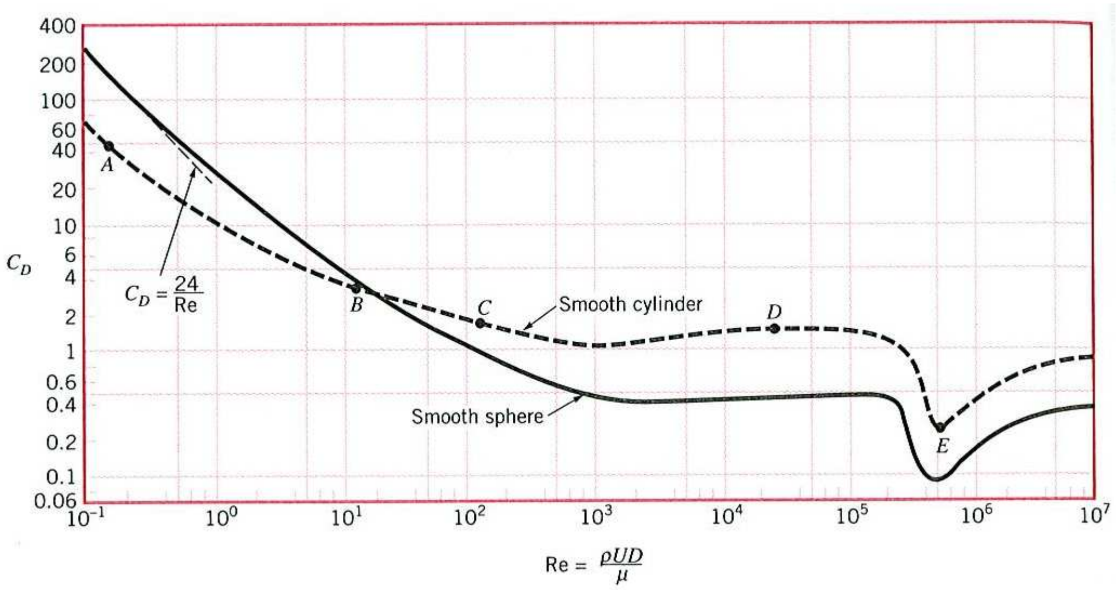
$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_{air} \cdot U \cdot D}{\mu} \qquad (4)$$

där:

ρ_{air} = Luftens densitet
U = Vindhastigheten
D = Haglets diameter
μ = Dynamisk viskositet för luft, $16.7 \cdot 10^{-6}$ Pa·s

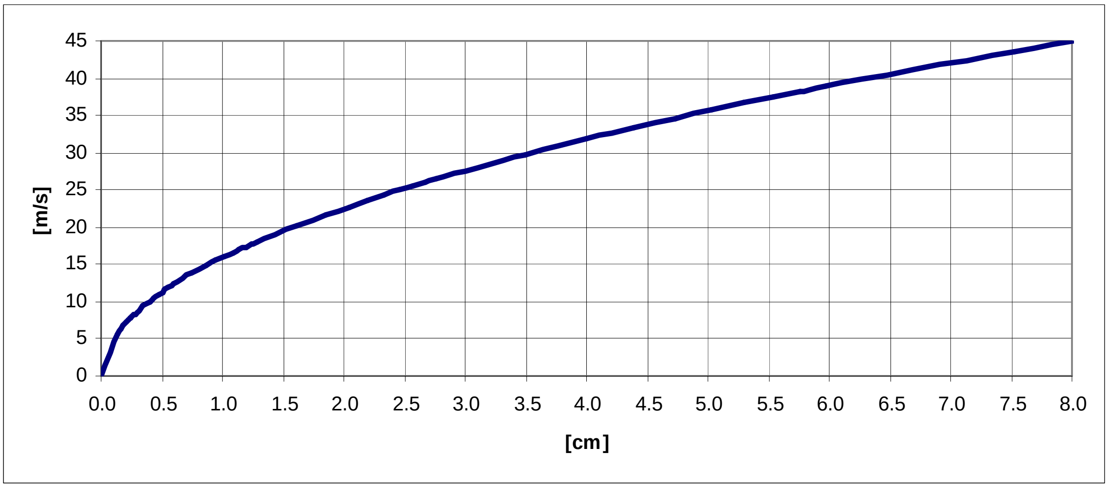
Om vi antar att:

- Luftens temperatur är -10℃ på nivån 700 hPa (ca 3 000 m), vilket ger en luftdensitet på 0.93 kg/m^3. På denna nivå antas den största dragkraften på haglen inträffa som håller dem svävande. De största uppvindhastigheterna finns i molnets centrala delar men i dragkraften ingår både luftens densitet och vindhastigheten (formel (1)). Nivån för den största dragkraften ligger således lägre än nivån för de största uppvindhastigheterna eftersom luftdensiteten sjunker med höjden.
- Haglet är en jämn sfär med densiteten 900 kg/m^3
- Dragkoefficienten är 0.5 vilket gäller för en jämn sfär då Re är mellan 10^3 och $2 \cdot 10^5$, se figur 4 nedan.



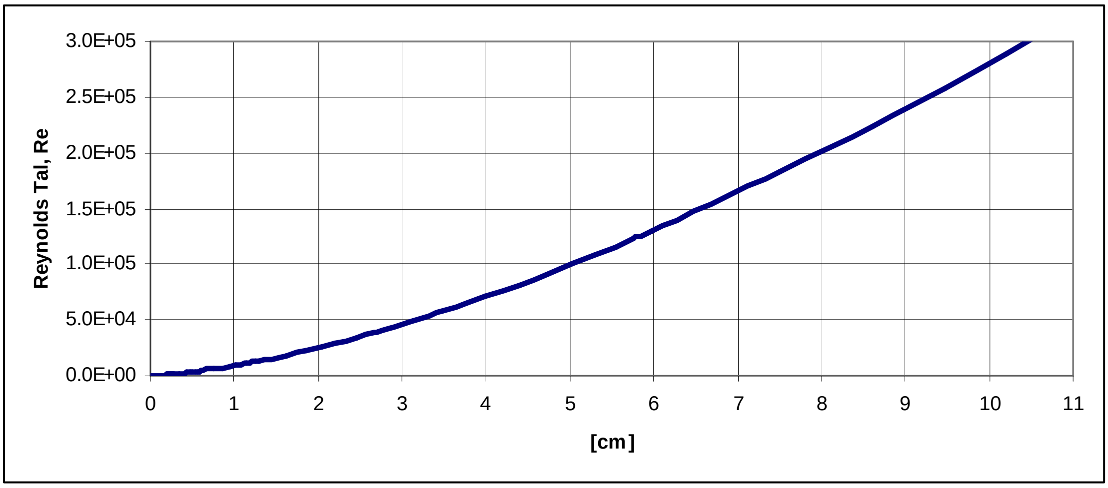
Figur 4. Dragkoefficientens variation med Reynolds tal (ref. 8).

Efter utnyttjande av formel (3) ovan fås figur 5. Vi ser att ett sfäriskt hagel på 7.5 cm eller 200 g, stort som Svenska rekordet, behöver uppvindar på 43 m/s för att hållas svävande. Reynolds tal är då $1.5 \cdot 10^5$. Från figur 4 kan ses att dragkoefficienten är 0.5 vid detta Re. Vårt antagande om dragkoefficientens storlek var således korrekt.



Figur 5. Uppvindhastighet och ett sfäriskt hagels diameter.

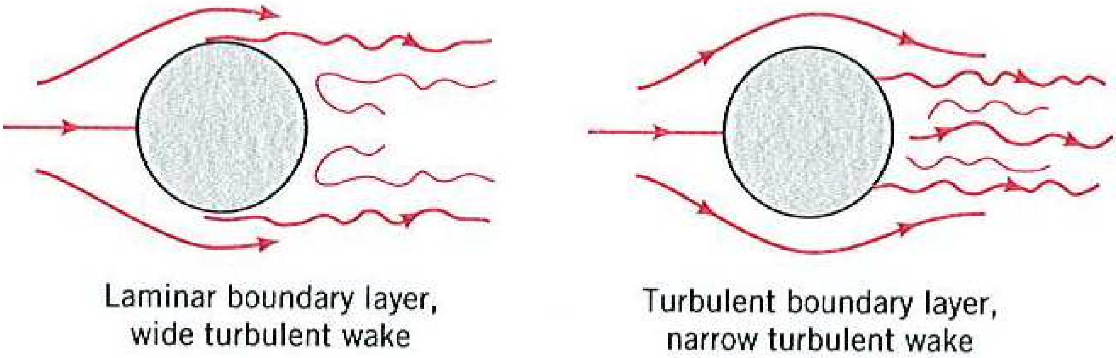
Figur 6 visar vilket Reynolds tal som fås vid olika diametrar på sfäriska hagel och om uppvindhastigheten är den som krävs för att hålla haglet svävande. Vi ser att hagel med diametern 8.0 cm har ett Reynolds tal på $2 \cdot 10^5$. Från figur 4 ser vi att då är dragkoefficienten 0.5. Om det finns förutsättningar i molnet att haglen kan börja växa sig ännu större inträffar nu det intressanta, när haglet växer ökar Reynolds tal ytterligare och då minskar dragkoefficienten drastiskt. När dragkoefficienten minskar kan inte uppvinden längre hålla haglet svävande utan det faller till marken. Tag skydd när det faller! Det är således orimligt att tänka sig att ett sfäriskt hagel som hålls svävande kan bli större än 8 cm.



Figur 6. Hur Reynolds tal varierar med diametern då vindhastigheten är den som krävs för att hålla haglet svävande om dragkoefficienten är 0.5 och luftens densitet är 0.93 kg/m³

Orsaken till den markanta minskning av dragkoefficienten vid Reynolds tal större än $2 \cdot 10^5$ är att det vid lägre Reynolds tal bildas ett laminärt gränsskikt kring haglet då det påverkas av vinden. När Reynolds tal ökar till över $2 \cdot 10^5$ övergår det laminära gränsskiktet till att vara turbulent och lävaken bakom haglet minskar vilket medför att dragkoefficienten (luftmotståndet) minskar markant, se figur 7.

Om det sfäriska haglet inte skulle vara helt jämt utan skrovligt skulle det turbulenta gränsskiktet inträffa vid lägre hastigheter och haglet skulle således falla mot marken vid mindre storlek. Detta är också orsaken till att golfbollen är smågropig och inte helt jämn. En smågropig golfboll har lägre luftmotstånd och kan därför slås längre.



Figur 7. Laminärt och turbulent gränsskikt kring en jämn sfär (ref. 8)

Man kan fråga sig hur mycket det enorma haglet på 8 cm i diameter kan växa till på sin nerfärd? Det är rimligt att anta att om tiden för haglet att växa sig till denna enorma storlek av 8 cm i diameter rör sig om timmar, kan inte en nerfärd, som rör sig om minuter, öka haglets storlek väsentligt.

Ännu större hagel

Om haglet inte skulle ha formen av en sfär utan ha en mer oregelbunden form som i figur 3 blir genast beräkningarna av uppvindhastighet betydligt osäkrare. Dragkoefficienten borde rimligen öka eftersom det är rejäla in- och utbuktningar på haglet. Likaså ökar tvärsnittsarean mot vinden. Båda dessa parametrar verkar åt samma håll (se formel (3)) dvs mot att lägre uppvindhastigheter krävs för att hålla haglet svävande. Det är dock svårt att säga hur mycket lägre.

Ett sfäriskt hagel som väger 200 g med densiteten 900 kg/m^3 har diametern 7.5 cm. Vi har sett att det krävs uppvindar på 43 m/s för att hålla detta hagel svävande på nivån 700 hPa. Om vi tänker oss ett hagel som väger 600 g, som sägs ha förekommit under hagelovädret 1953, har en oregelbunden form så att diametern är 12 cm, istället för 11 cm som för en jämn sfär med samma massa, innebär det att densiteten sjunker till 663 kg/m^3. En oregelbunden form ger också en högre dragkoefficient på kanske 0.6 (kvalificerad gissning, referens saknas). Beräkningar ger att det skulle krävas lika stora uppvindar, 43 m/s, för att hålla detta hagel svävande. Samma uppvindhastighet kan således hålla ett tyngre oregelbundet hagel svävande jämfört med ett sfäriskt hagel med samma massa.

Slutsats

1. Förutom haglets massa är även dess form och yta mycket viktiga för hur stora uppvindhastigheter som krävs för att hålla ett hagel svävande.
2. Det är orimligt att sfäriska hagel kan bli större än 8 cm i diameter. Om förutsättningar finns i molnet att de börjar växa sig ännu större, minskar dragkoefficienten drastiskt och haglet sjunker som en sten. Denna slutsats stöds också av att det inte finns några bildbevis på att det förekommit större sfäriska hagel än just 8 cm i diameter.
3. För att ett hagel ska bli ännu större än 240 g eller 8 cm i diameter måste det ha en oregelbunden form som i figur 3 vilket ger en högre dragkoefficient och en större tvärsnittsarea mot vinden. Jag tror inte man kan säga hur stort och tungt ett oregelbundet hagel kan bli.
4. Inte heller jag vill godkänna haglet på 600 gram i Ramnäs eftersom foto saknas och ingen uppgift om dess form finns.

Referenser

1. http://sv.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4derrekord
2. http://svt.se/2.33538/1.1655041/hagelregn_over_stockholmspark?lid=senasteNytt_363718&lpos=rubrik_1655041
3. http://www.wrh.noaa.gov/images/byz/hail.jpg
4. http://dumbas.blogg.se/2007/december
5. http://severe-wx.pbworks.com/Lightning
6. http://www.crh.noaa.gov/gid/?n=jun-22-2003megastorm
7. http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hagel-1.643
8. A brief introduction to Fluid Mechanics, Donald F. Young, Bruce R. Munson och Theodore H. Okiishi. Sida 384 – 386.