

# Vingprofiler

Ulf Ringertz

Grundläggande begrepp

Definition och geometri

Viktiga egenskaper

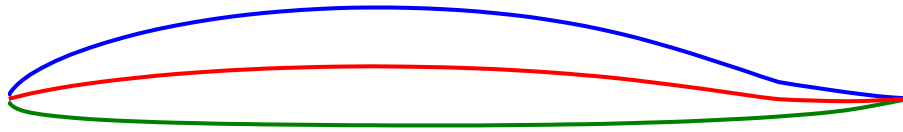
Numeriska metoder

Vindtunnelprov

Framtid



# Vingprofiler



Korda

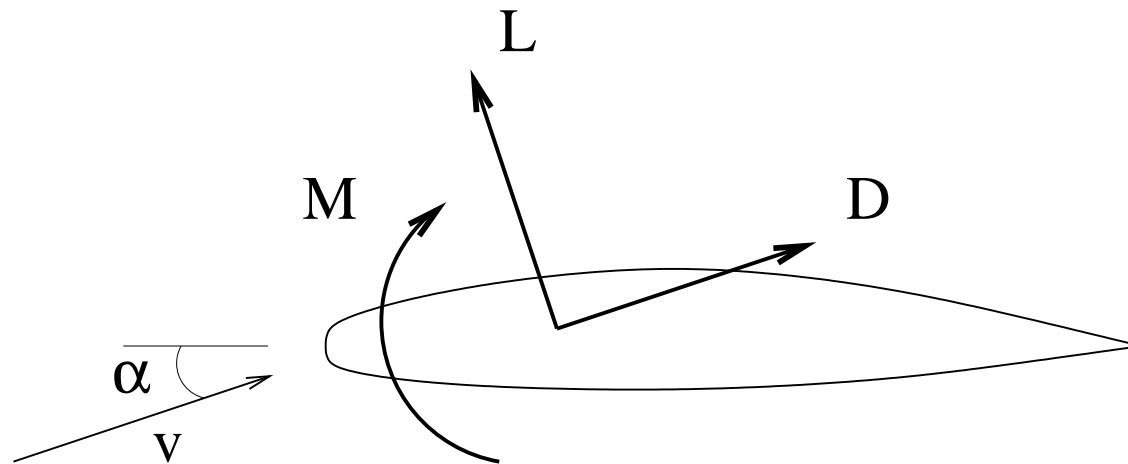
Tjocklek

Medellinje

Läge max tjocklek

Roder?

# Lyftkraft, motstånd och moment



# Lyftkraftens uppkomst

Enkel:

Newtons nr 2, vingen ändrar luftströmmens riktning, för detta krävs en kraft.

Newton nr 3, verkan och motverkan leder till att L verkar på vingen

Mer korrekt:

Newtons nr 2,  $F = d/dt(mv)$

Kontinuitetsekvationen (stiger det så sjunker det någon annanstans)

Konstitutivt samband  $\tau = \mu dv/dy$ , friktion beror på lutning



# Motstånd

Formmotstånd (olika tryck fram och bak)

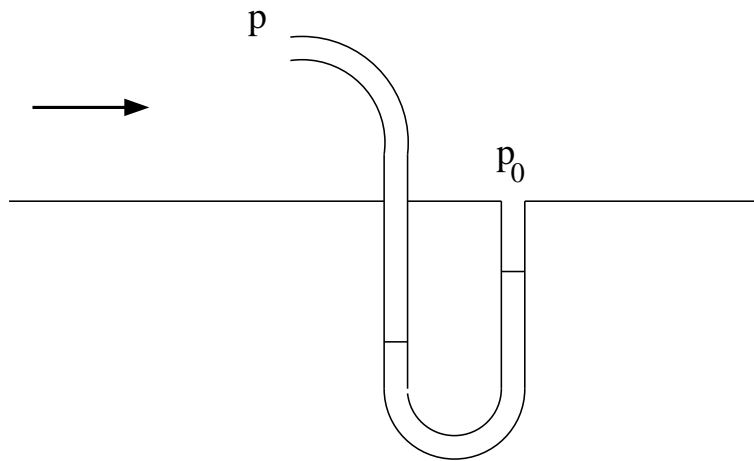
Friktion

Inducerat motstånd

Vågmotstånd



# Dynamiskt tryck



$$q = p - p_0 = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Totaltryck  $p$

Statiskt tryck  $p_0$

Densitet  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

Hastighet  $v \text{ m/s}$

Luftens rörelseenergi per volymenhet

## Dimensionslösa tal

$$C_L = L/(qS) \quad C_D = D/(qS) \quad C_m = M/(qSc)$$

$S$  vingarea,  $c$  vingens korda

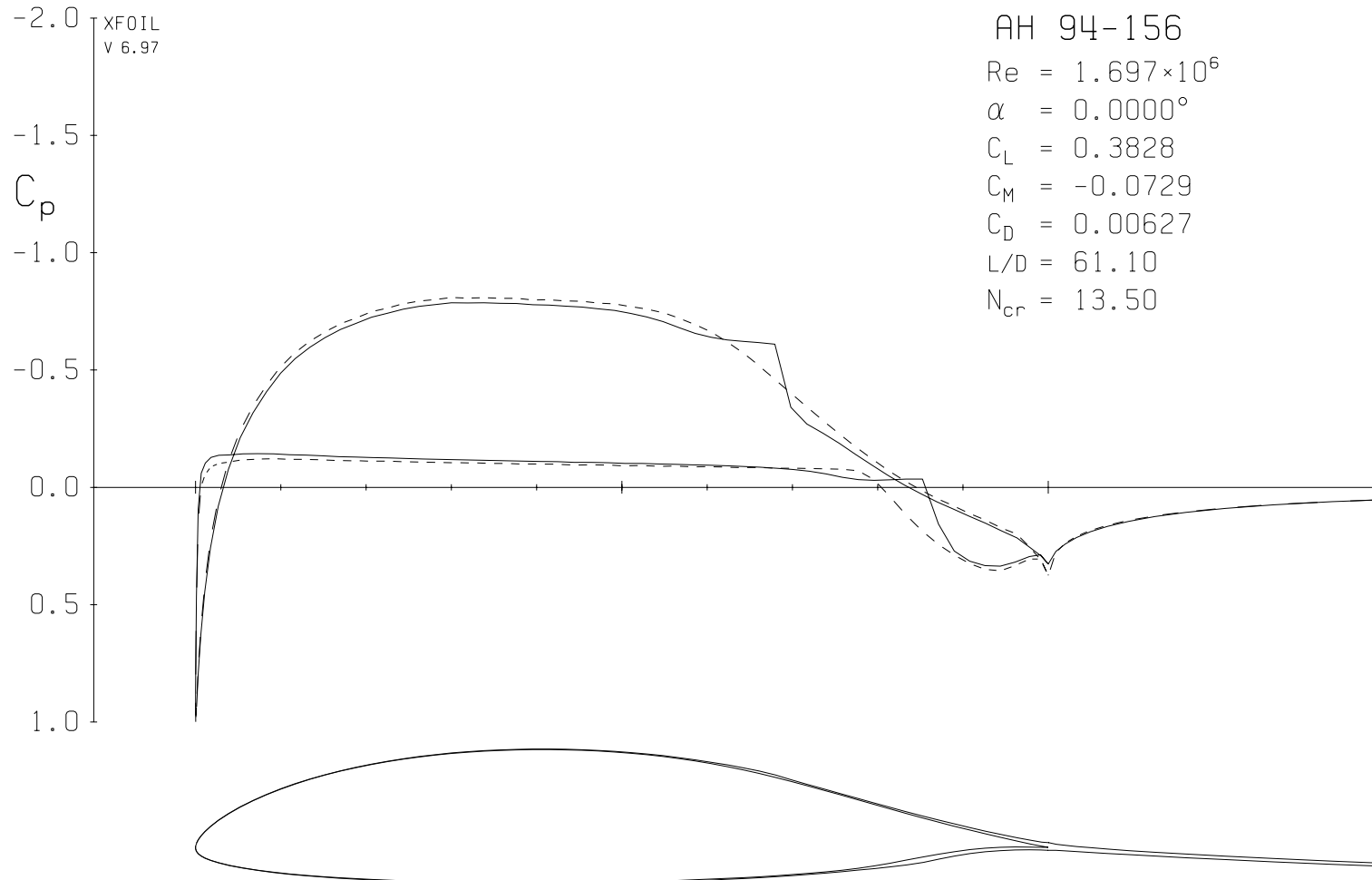
Exempel:

Ventus 2cxT:  $S=11 \text{ m}^2$ ,  $v=25 \text{ m/s}$ ,  $m=600 \text{ kg}$  ger  $C_L = mg/(qS)=1.4$

Boeing 747:  $S=500 \text{ m}^2$ ,  $v=80 \text{ m/s}$ ,  $m=300000 \text{ kg}$  ger  $C_L=1.53$

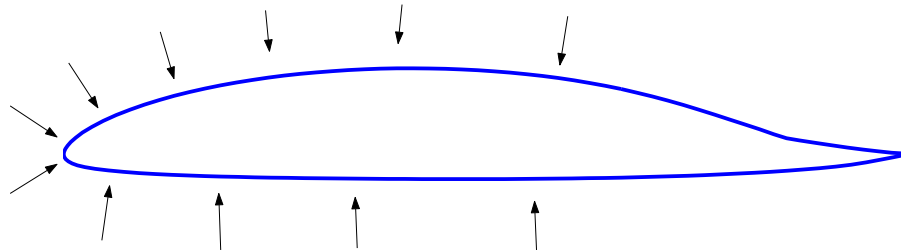


# Tryckkoefficient $C_p = (p - p_0)/q$

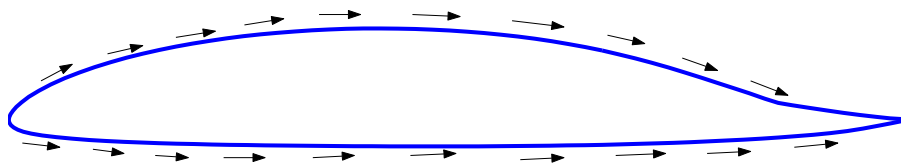




## Kraftens fördelning på profilen



Tryckfördelning  $p$  (N/m<sup>2</sup>)



Skjuvspänning  $\tau$  (N/m<sup>2</sup>)

Lyftkraft och motstånd beror i olika grad på  $p$  och  $\tau$

# Reynolds tal

$$Re = v c / \nu \quad (\text{fart} \cdot \text{längd} / \text{viskositet})$$

Re = tröghetskrafter / viskösa krafter

Stort Re, luft i hög fart

Lågt Re, sirap i låg fart

Ventus, 100 km/h

$$Re = (100/3.6) * .6 / 1.5 \times 10^{-5} \approx 10^6$$



# Laminär strömning

Välordnad

Strömning sker i skikt

Kan beskrivas 2D och tidsinvariant



# Turbulent strömning

Kaotisk rörelse (många små virvlar)

Alltid 3D och varierar i tiden

Kan dock i vissa fall medelvärdesbildas

Vingprofiler bara bra för vissa  $Re$ !

Modellflygsaerodynamik svårt,  $Re=10^4$



# Separation

Matematisk definition finns i 2D!

Skjuvspänning noll på ytan



# Gränsskikt

Tunt skikt nära ytan där hastigheten bromsas upp

Tjocklek?

$$\delta_{99}/c = (5/\sqrt{Re})\sqrt{x/c} \quad (\text{Några mm})$$

## Laminärt eller turbulent?

Laminärt bra med lågt friktionsmotstånd men känsligt för störningar

Turbulent är mer stabilt men ger högre friktionsmotstånd



# Målsättning

Försök att bibehålla laminärt gränsskikt

Trycket ökar efter punkten där profilen är som tjockast

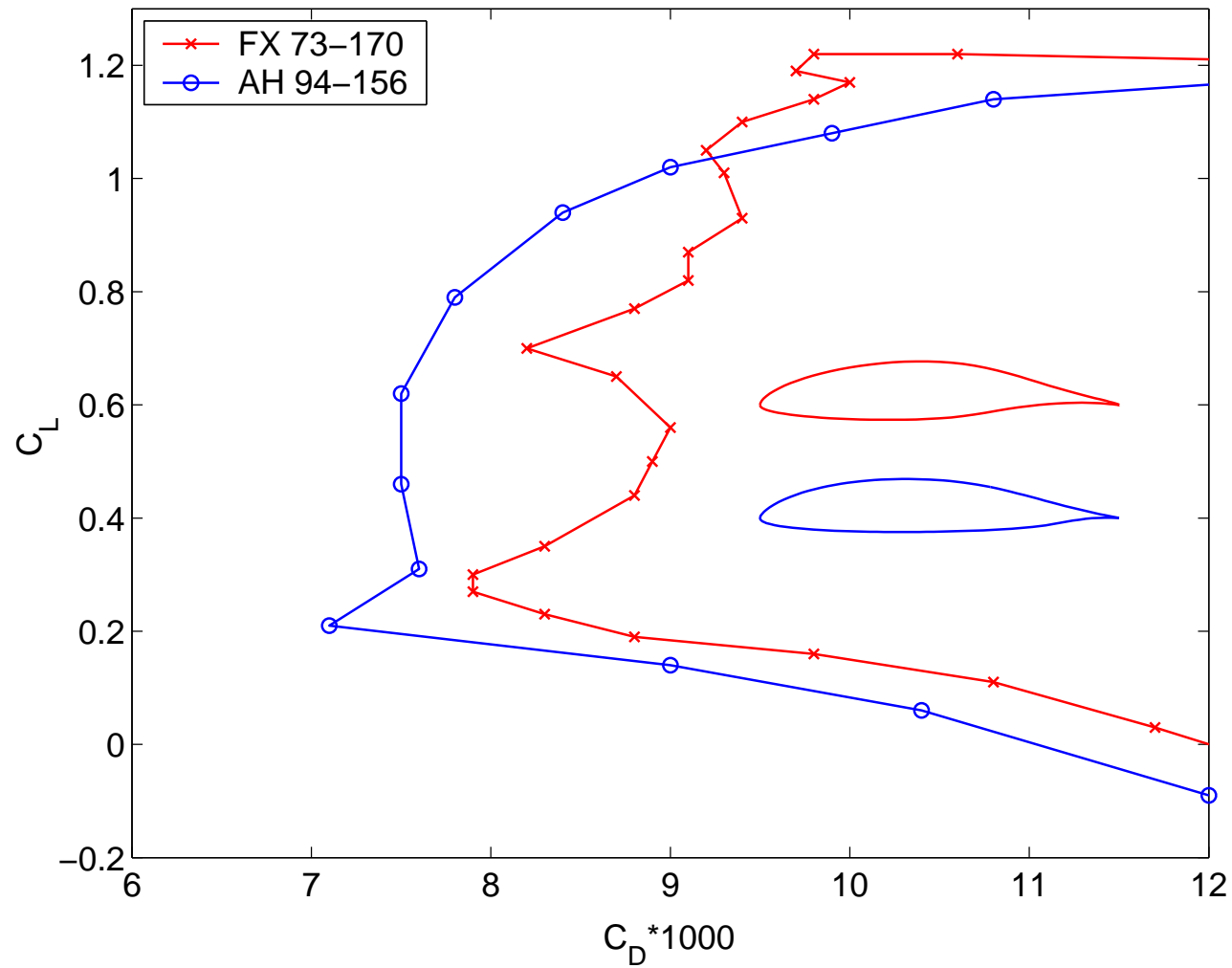
Flytta denna punkt bakåt

Undvik separation





# Profil från 70-talet och 90-talet



## Modern profil

Finish bra -> försök bibehåll laminär strömning så länge som möjligt

Lägre motstånd

Undvik störningar = myggskrapor



# Numeriska metoder

Matematisk modell

Olika approximationer (viskös, inviskös etc)

Kombinationer av viskös och inviskös bäst

(Integro)Differential ekvationer

Numeriska metoder

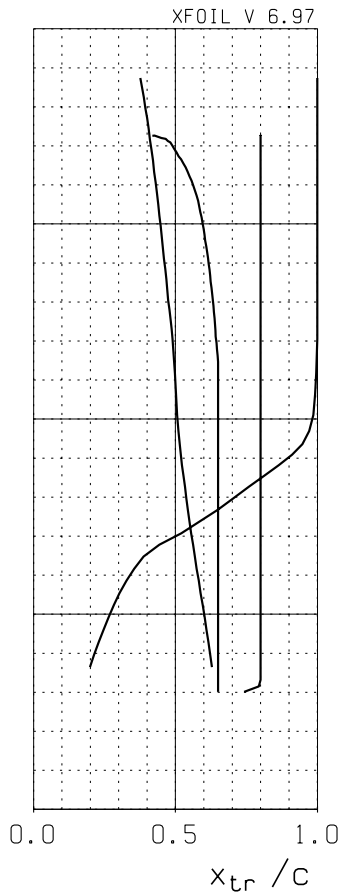
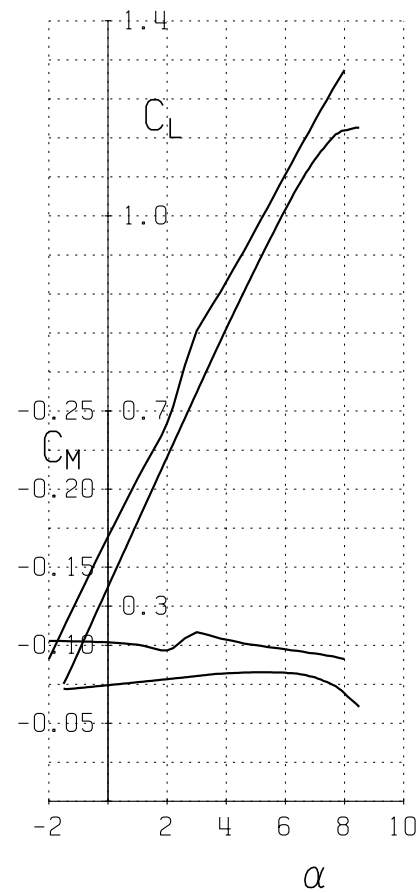
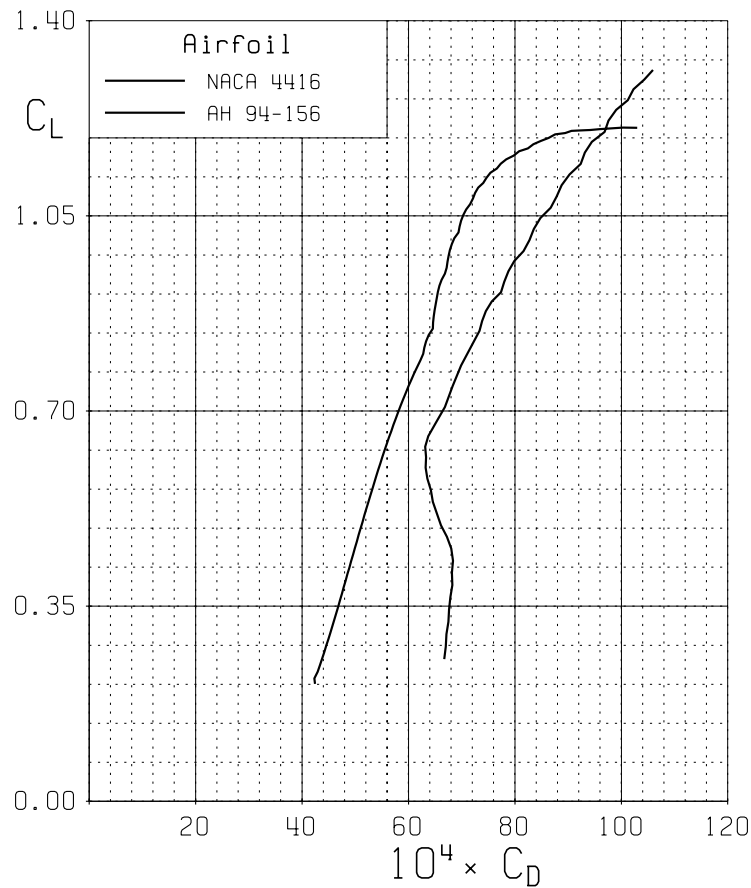
Programmering (Fortran eller C)

Xfoil bra exempel för den intresserade

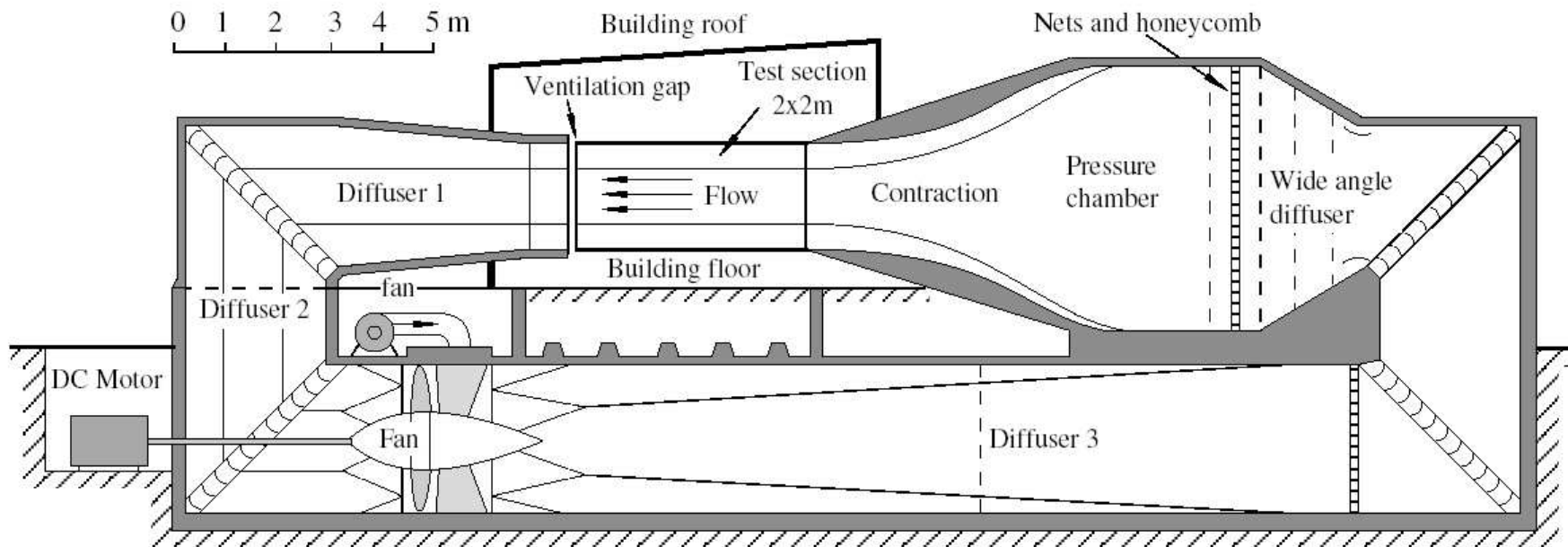


# Beräknade egenskaper

NACA 4416  $Re_{\sqrt{CL}} = 1050000$   $Ma_{\sqrt{CL}} = 0.000$   $N_{crit} = 13.500$   
 AH 94-156  $Re_{\sqrt{CL}} = 1050000$   $Ma_{\sqrt{CL}} = 0.000$   $N_{crit} = 13.500$



# Vindtunnel



# Vindtunnelprov

Tryckmätning

Motståndsmätning med vakkratta

Oljevisualisering

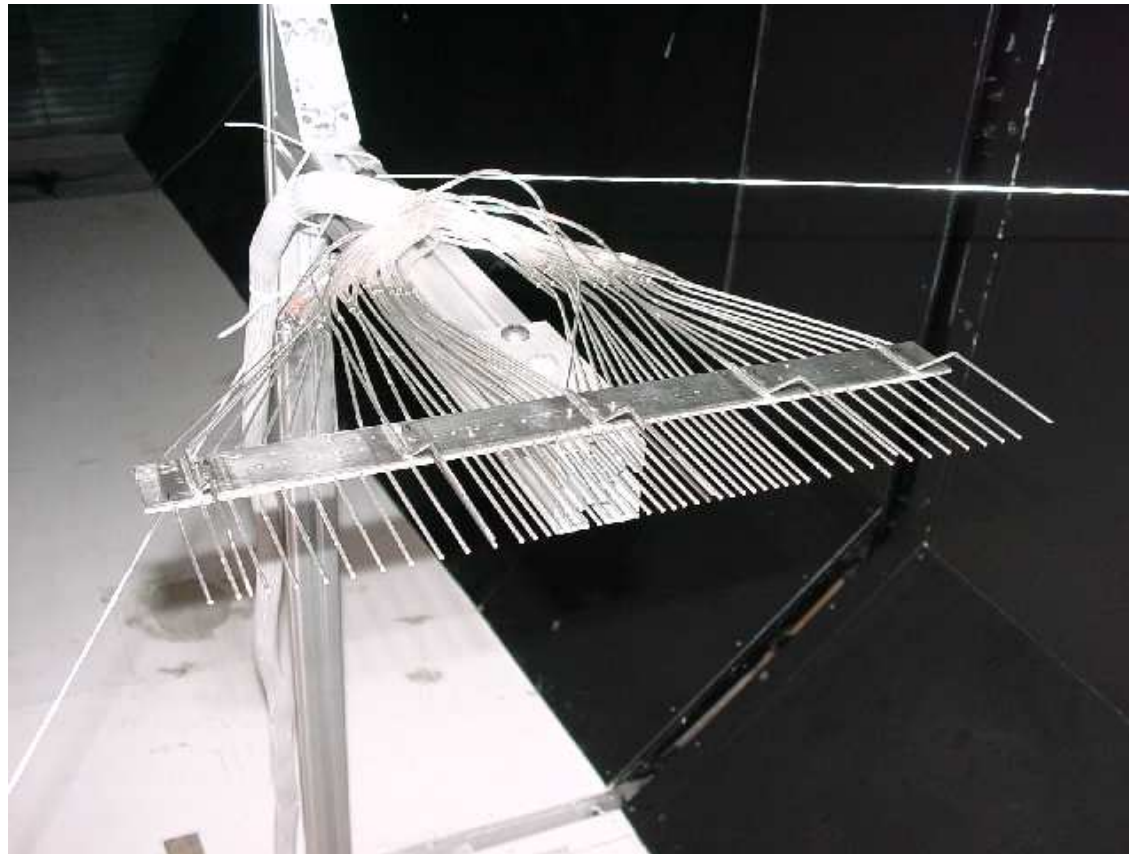
Vågmätning



# Vingprofilinstallation

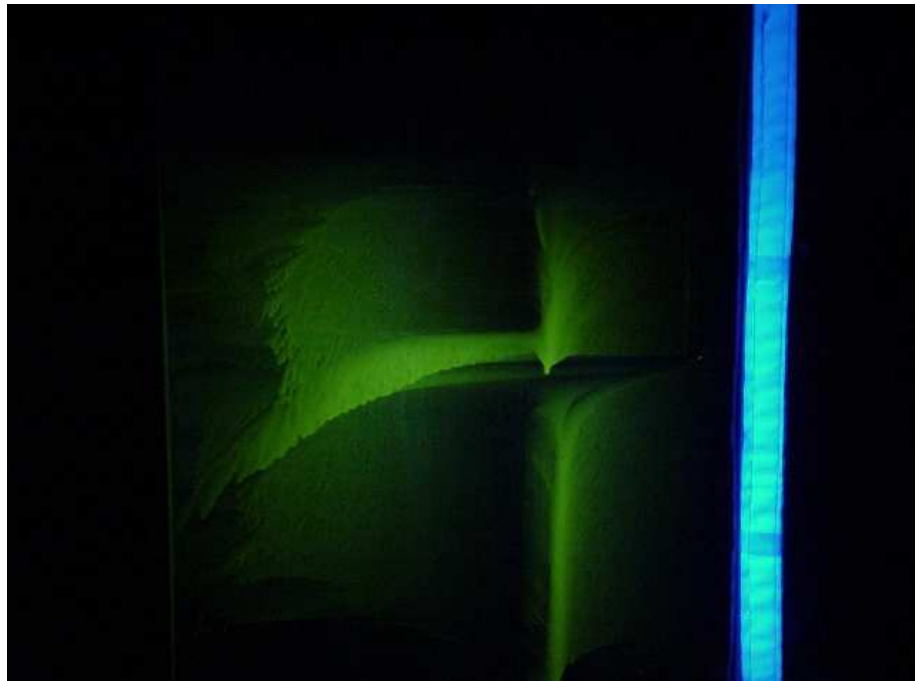


# Vakkratta





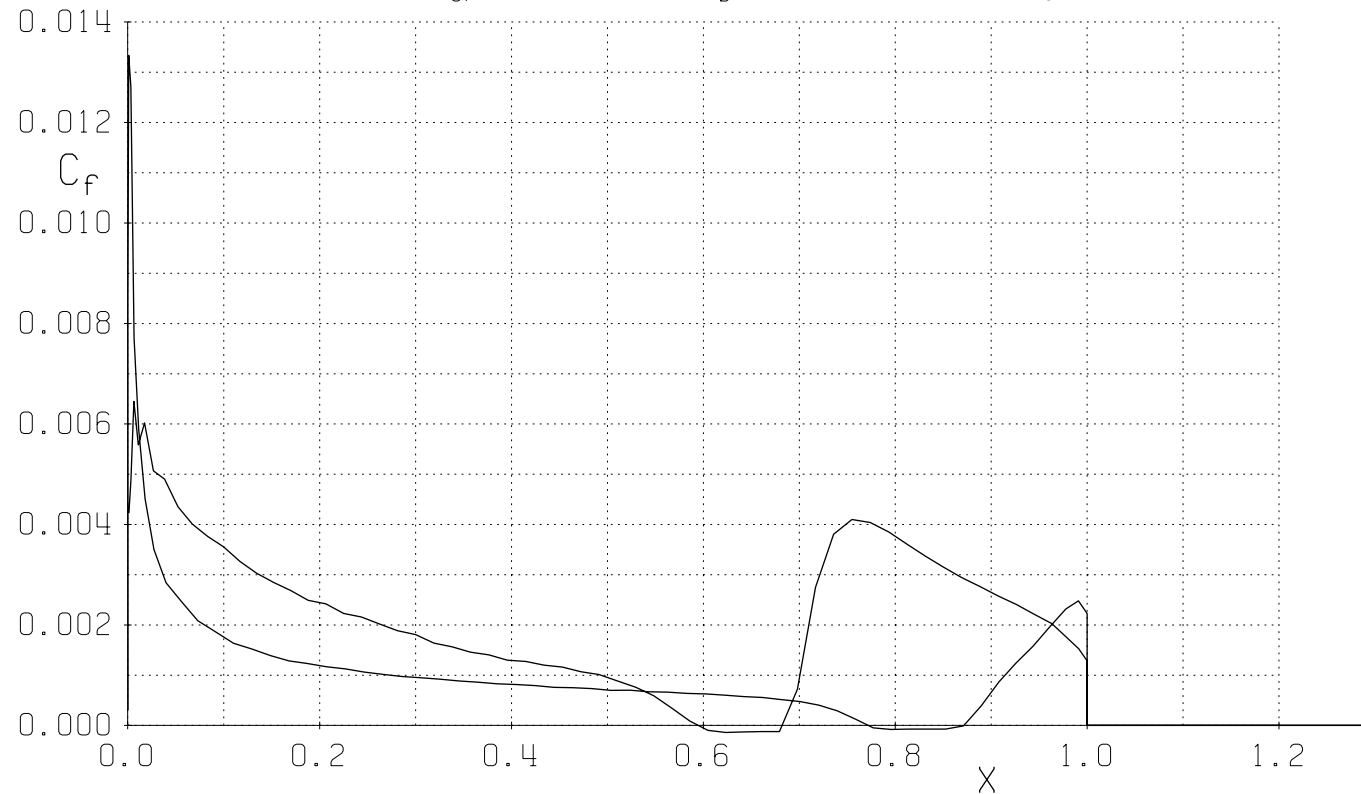
# Visualisering



# Xfoil beräkning av friktion

AH 94-156

Ma = 0.0000       $\alpha = 0.0000^\circ$        $C_L = 0.3828$       T:  $x_{tr}/c = 0.6801$   
Re =  $1.697 \times 10^6$        $N_{cr} = 13.50$        $C_D = 0.00627$       B:  $x_{tr}/c = 0.8525$



## Vad vill man ha?

Lågt motstånd för given lyftkraft

Snäll stall

Okänslig för störningar (regn och myggor)



# Hur gör man?

Räkna

Prova

Räkna

Prova

Flyg

Räkna

Prova

OSV



# Framtid

Små förbättringar

Precision i tillverkning (baka muffins)

Ytbehandling

Aktiv påverkan (sugning)

Framdrivning?



## Vinna VM i Texas?

Blom tror att ni blir bättre av att lyssna på det här föredraget

Inte jag!

Skit i teorin, träna istället!

**SLUT!**

