

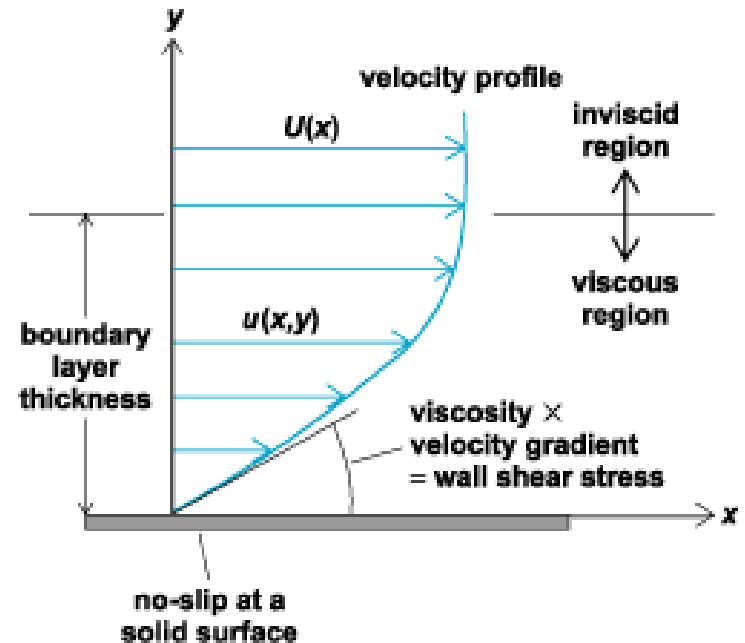


9. Határrétegek

Az Áramlás-tan előadást kiegészítő prezentáció
Dr. Suda Jenő Miklós, adjunktus
BME Áramlás-tan Tanszék

Felhasznált források:

Dr. Lajos Tamás: *Az áramlás-tan alapjai* c. tankönyv
Dr. Balogh Miklós: *Turbulencia modellezése* előadások
Dr. Suda Jenő Miklós: *Járműáramlás-tan* előadások





Határréteg-áramlás

A XX. század első éveiben Prandtl az áramlástan fejlődését alapvetően befolyásoló, alábbi megfontolást tette: ha egy szilárd test mellett közeg áramlik, a test falán a sebesség a tapadás törvénye értelmében zérus, és a sebesség a fal közelében lévő rétegben, a faltól távolodva rohamosan növekszik, míg e rétegen kívül a változás rohamossága sokkal kisebb. Az **M.9.1.1.** videó [1] glicerin áramlását mutatja egy csatornában. Jól látható a tapadás törvényének érvényesülése, és ebből következően a határréteg kialakulása. Ahol a sebesség rohamosan változik, ott a súrlódásnak nagy szerepe van, a szilárd testtől távolabb pedig a súrlódás elhanyagolható.

Tehát ha a súrlódás hatása szempontjából vizsgáljuk a teret, az két részre osztható (ld. **9.1. ábra**):

- egy fal melletti viszonylag vékony rétegre, az ún. **határrétegre**, ahol a sebesség a fal közvetlen közelében érvényes zérus értékről a faltól távolabb érvényes sebességre nő, és ahol a súrlódásnak döntő szerepe van,
- a faltól távolabbi áramlási térre, ahol a súrlódás hatása elhanyagolható (azaz jó közelítéssel érvényes az Euler- és a Bernoulli-egyenlet).



Ludwig von Prandtl
(1875-1953)
The Kaiser-Wilhelm-Institut
für Strömungsforschung
in Göttingen





Def.: határréteg

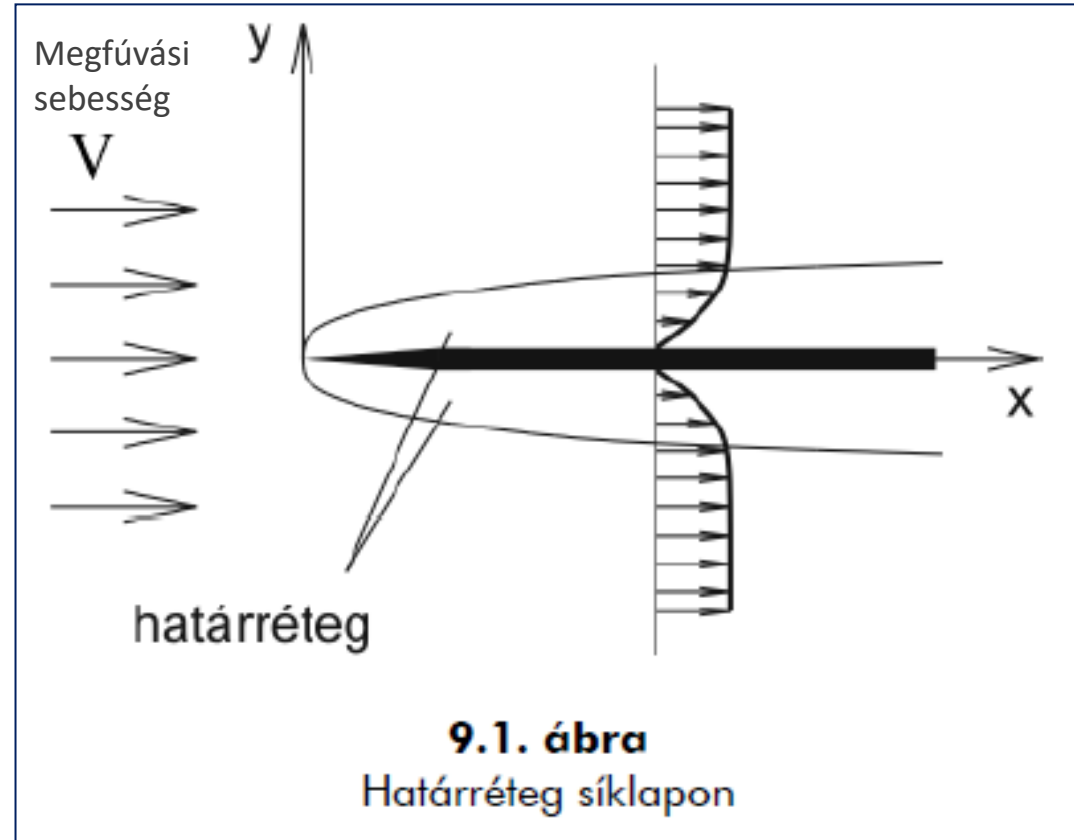
A határréteg

- áramlás irányban vastagodik
- kiszorít
- lassul
- $\text{grad} p \rightarrow$
- nyomás növekedés ellenében áramlik a közeg

Reynolds-szám:

$$\text{Re}_x = \frac{V x}{\nu}$$

sebességmegoszlás



lamináris

turbulens

$$\frac{v_x}{V} \cong 1,5 \frac{y}{\delta} - 0,5 \left(\frac{y}{\delta} \right)^3,$$

$$\frac{v_x}{V} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{n}}$$





Entry #: V84181

Spatially developing turbulent boundary layer on a flat plate

J.H. Lee, Y.S. Kwon, N. Hutchins and J.P. Monty

Department of Mechanical Engineering
The University of Melbourne

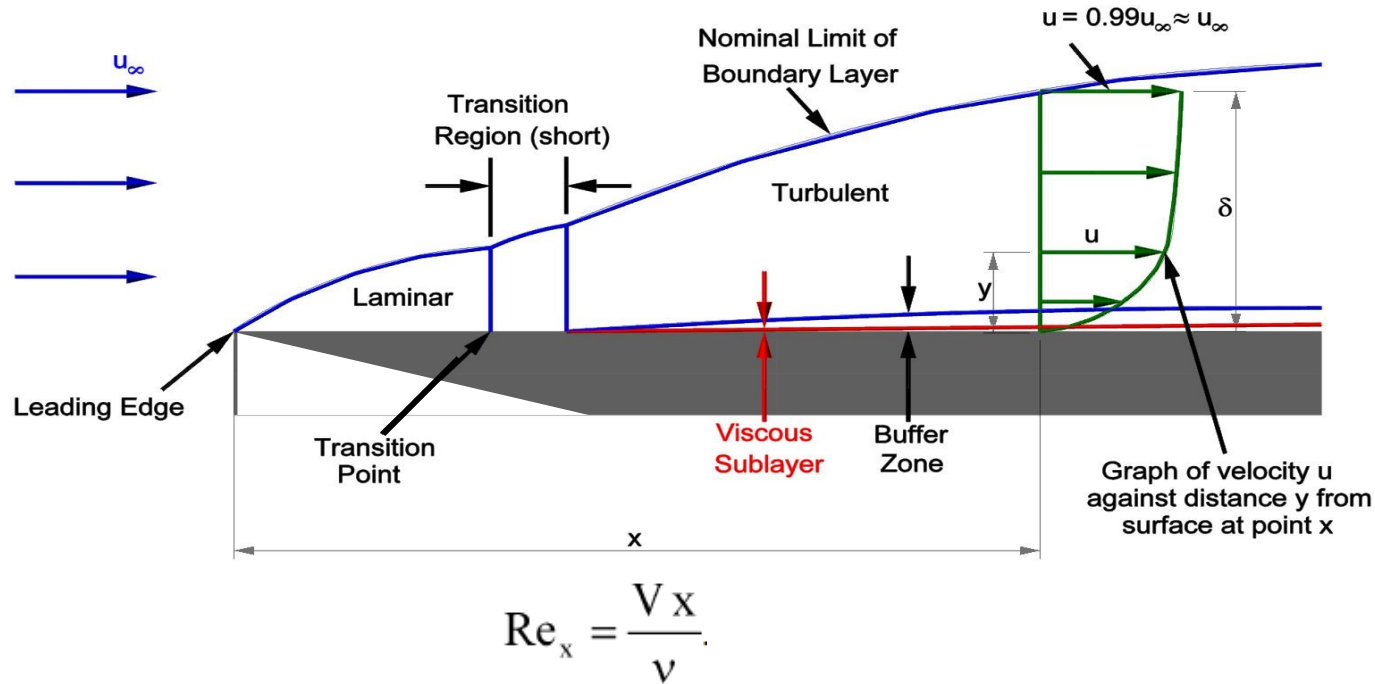


THE UNIVERSITY OF
MELBOURNE





Def.: határréteg (lamináris / turbulens)



Fali (bőr-) súrlódási tényező (c_f')
(skin friction coefficient)

lamináris

$$c_f' = \frac{\tau_0}{\frac{\rho}{2} V^2} = \frac{0,664}{\sqrt{Re_x}}$$

turbulens

$$c_f' = \frac{\tau_0}{\frac{\rho}{2} V^2} = \frac{0,025}{\sqrt[4]{Re_x}}$$



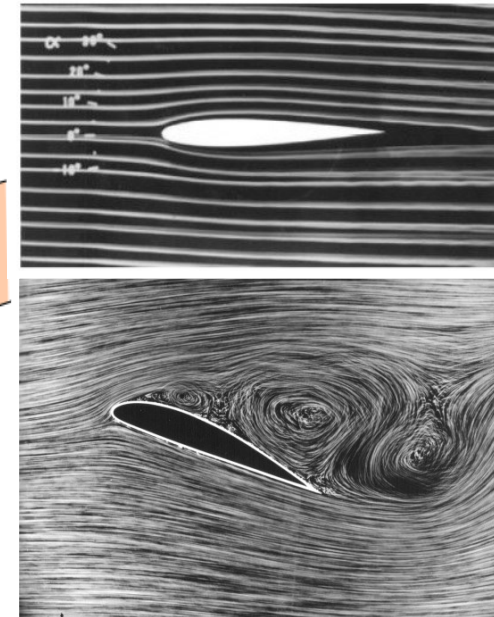
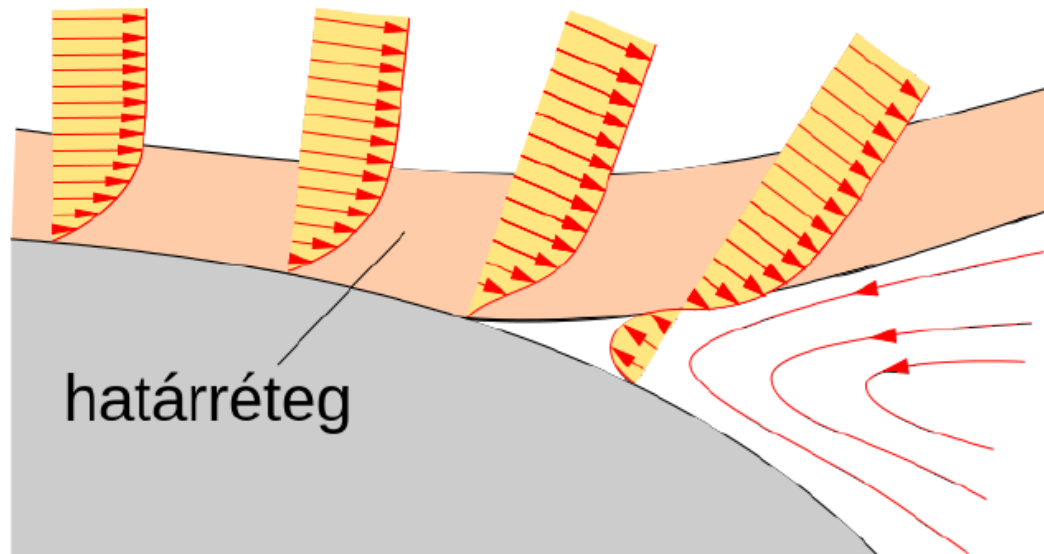
	határréteg	
	lamináris	turbulens
$Re_x = \frac{V x}{\nu}$		
sebességmegoszlás	$\frac{v_x}{V} \cong 1,5 \frac{y}{\delta} - 0,5 \left(\frac{y}{\delta} \right)^3$	$\frac{v_x}{V} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^{\frac{1}{n}}$
határréteg vastagság	$\frac{\delta}{x} \cong \frac{5}{\sqrt{Re_x}}$	$\frac{\delta}{x} \cong \frac{0,14}{\sqrt[4]{Re_x}}$
súrlódási tényező	$c'_f = \frac{\tau_0}{\frac{\rho}{2} V^2} = \frac{0,664}{\sqrt{Re_x}}$	$c'_f = \frac{\tau_0}{\frac{\rho}{2} V^2} = \frac{0,025}{\sqrt[4]{Re_x}}$
ellenállástényező	$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} V^2 x b} = \frac{1,328}{\sqrt{Re_x}}$	$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} V^2 x b} = \frac{0,03}{\sqrt[4]{Re_x}}$



Def.: határréteg leválás

Leválás: visszaáramlás (örvények) a felület mentén

- Hirtelen lassuló áramlás (pl. íveltség miatt)
- Növekvő nyomás irányában áramló közeg



A **határréteg leválásnak** tehát két szükséges feltétele van

- fal közelsége,
- áramlás irányában növekvő nyomás.

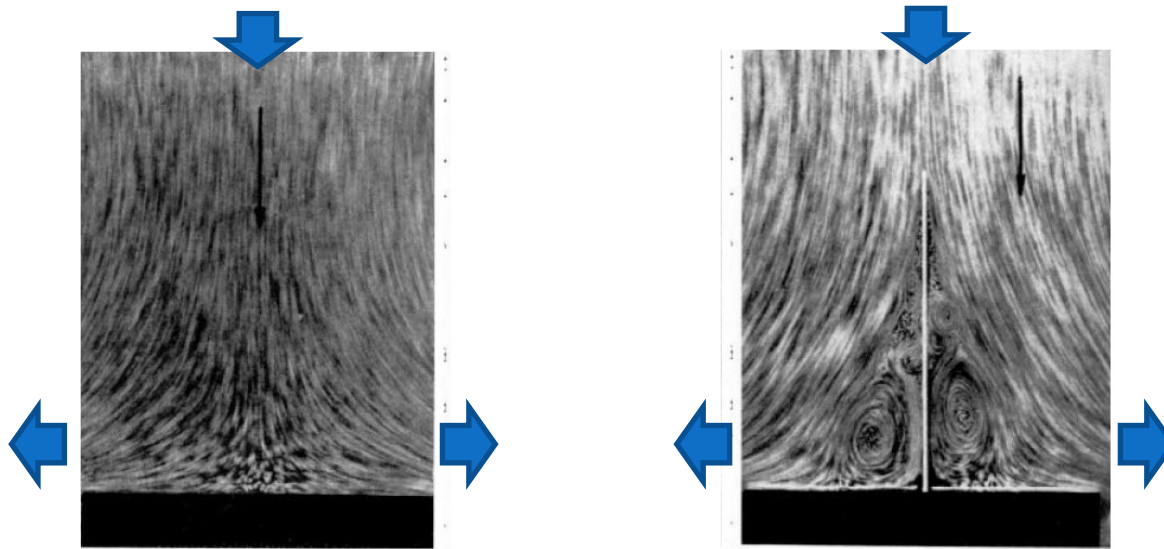
$$c_p = \frac{p - p_0}{\frac{\rho}{2} v^2}$$



Def.: határréteg leválás

Leválás: visszaáramlás (örvények) a felület mentén

- Hirtelen lassuló áramlás (pl. íveltség miatt)
- Növekvő nyomás irányában áramló közeg



9.8. ábra

Határréteg leválás torlópontáramlásban

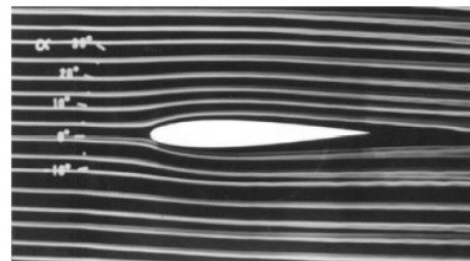
A **határréteg leválásnak** tehát két szükséges feltétele van:

- fal közelsége,
- áramlás irányában növekvő nyomás.

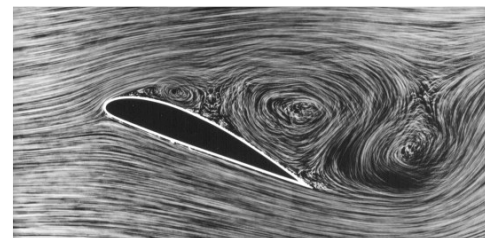




Def.: határréteg, határréteg leválása



Feltapadt áramlás
(*attached flow*)



Levált áramlás
(*separated flow*)



Módszerek a határréteg leválás megszüntetésére / elkerülésére :

- $\tau_0 \downarrow$: fali csúsztatófeszültség csökkentése (pl. fal mozgatása, érdesség csökkentése)
- $\text{grad} p \downarrow$: nyomásgradiens csökkentése (diffúzor kúpszög, állásszög csökkentésével)
- $v_0 \uparrow$: sebesség növelése a fal melletti határrétegben (befúvás/elszívás, gyorsítás)
- leválás késleltetése: „botlódrót” („trip wire”), mint turbulencia generátor alkalmazása

$\tau_0 \downarrow$ csökkentése
(fal mozgatásával)

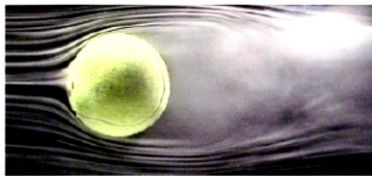


Figure 11. Flow visualization of 28 cm diameter tennis ball with no spin ($Re = 167\,000$) at NASA Ames Research Center. Flow is from left to right [11] (Image courtesy of NASA Ames Research Center and Cislunar Aerospace Inc.).

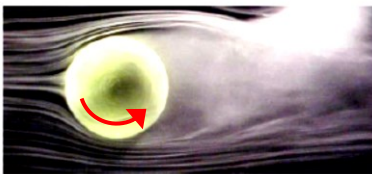


Figure 12. Flow visualization on ball with topspin (counter-clockwise rotation at 4 revs/sec, $Re = 167\,000$) at NASA Ames Research Center, flow is from left to right [11] (Image courtesy of NASA Ames Research Center and Cislunar Aerospace Inc.).

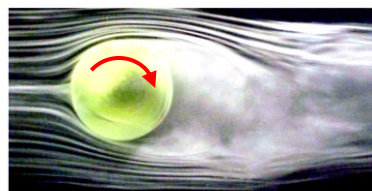
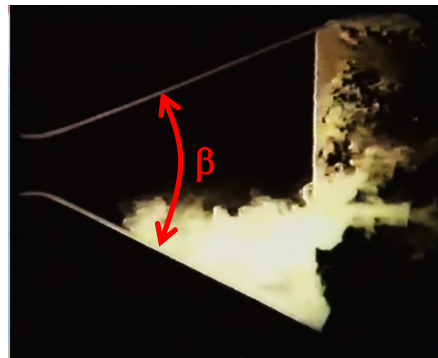
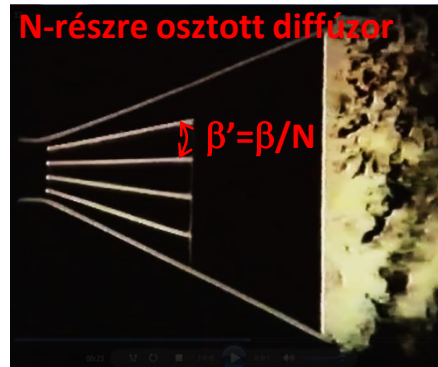


Figure 13. Flow visualization on ball with underspin (clockwise rotation at 4 revs/sec, $Re = 167\,000$) at NASA Ames Research Center, flow is from left to right [11] (Image courtesy of NASA Ames Research Center and Cislunar Aerospace Inc.).

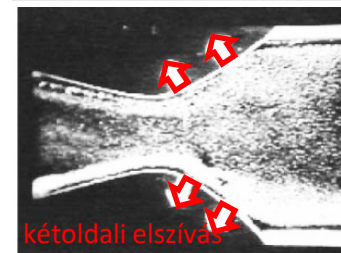
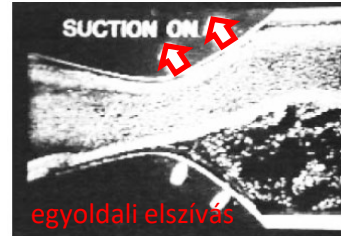
$\text{grad} p \downarrow$ csökkentése
(kúpszög csökkentése)



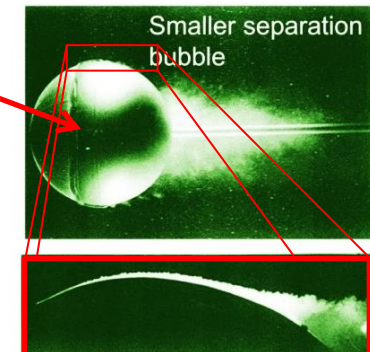
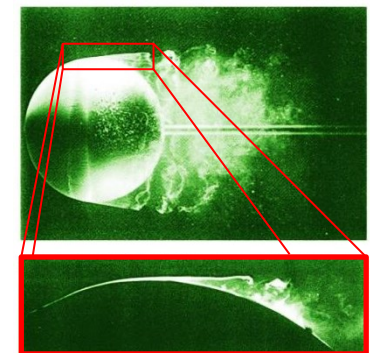
N-részre osztott diffúzor



$v_0 \uparrow$ sebesség növelés
(határréteg elszívás)



„botlódrót” (turb.gen.)
(leválás késleltetés)





9. Határrétegek

Köszönöm a figyelmet!

Az Áramlástan előadást kiegészítő prezentáció
Dr. Suda Jenő Miklós, adjunktus
BME Áramlástan Tanszék

Felhasznált források:

Dr. Lajos Tamás: *Az áramlástan alapjai* c. tankönyv
Dr. Balogh Miklós: *Turbulencia modellezése* előadások
Dr. Suda Jenő Miklós: *Járműáramlástan* előadások

