

# Műszaki hőtan II. Forrás és kondenzáció

Kovács Róbert

Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, BME

2018. április 26.

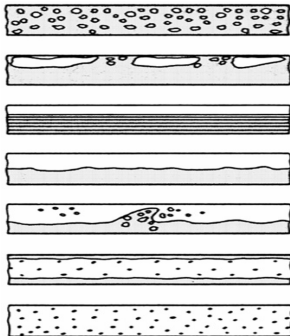
# Hőátadás - halmazállapot változás nélkül

- Halmazállapot változás nélkül:
  - Newton-egyenlet:  $Q = \alpha A(T_w - T_\infty)$ ,
  - $\alpha$ : az  $A$  hőátadó felületen vett **átlagos** hőátadási tényező,
  - Nusselt-egyenlet:  $\alpha A(T_w - T_\infty) = -\lambda A \nabla T$ ,  
**HŐVEZETÉS** a termikus határrétegben!  
 $\lambda$ : folyadék hővezetési tényezője!  $\delta_t = \frac{\lambda}{\alpha}$
  - $\alpha$  meghatározása?!
  - Empirikus úton: kísérleteken keresztül
  - Hasonlósági kritériumok  $\Rightarrow$  **DIMENZIÓTLAN** PDE rendszer:  
 Hővezetési egyenlet:  $\rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + w \nabla T \right) = \nabla(\lambda \nabla T) + q_v$   
 Kontinuitási egyenlet:  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho w) = 0$   
 Impulzus egyenlet:  $\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + (w \cdot \nabla) w \right) = \rho g - \nabla p + s$
  - $\Rightarrow$  Nu, Fr, Pe, Re, Ar, ...  $\Rightarrow$   
 Nu=f(Re, Gr, Pr, geometria, peremfeltételek)

# Hőátadás - halmazállapot változással

Forrás / kondenzáció  $\Rightarrow$  **TÖBBFÁZISÚ ÁRAMLÁS**

- Leggyakoribb eset: víz - gőz / víz - levegő fázisok egyidejűleg
- Gyakorlatban: hőcserélők, kazánok / erőművek
- Közeg állapota: telítési hőmérséklet / telítési nyomás, fázisok egyensúlya



Áramlások típusai:

buborékos

dugós

sima felszínű rétegzett

hullámos felszínű rétegzett

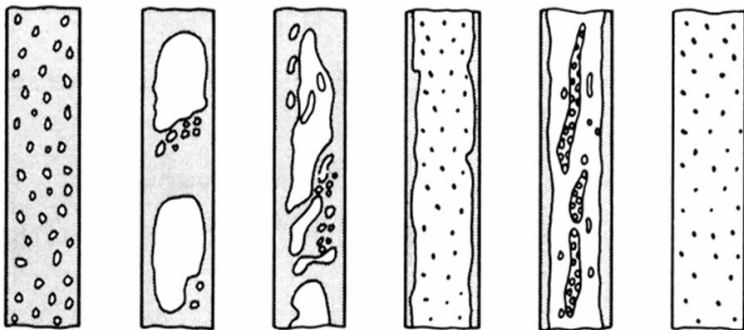
hullámos, torlódó

gyűrűs

permetes

## Hőátadás - halmazállapot változással

Hasonló áramlási kép!



# Forrás

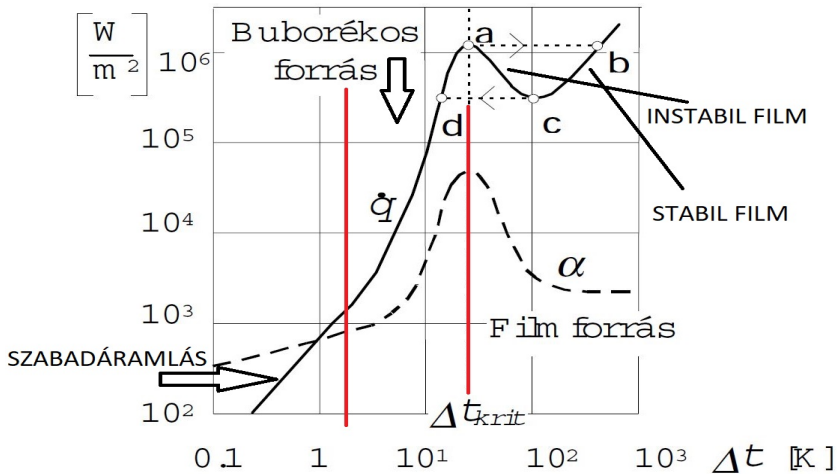
- Forrás feltétele: nagyobb  $T_{fluid} > T_{sat}(p)$ !
- Buborékképződés (nukleáció) miatt lesz többfázisú a közeg
  - Homogén:
    - telítési hőmérsékleten, gőzbuborék a folyadék belsejében, gyakorlatban nem fordul elő
  - Heterogén: edény falán keletkezik a buborék
    - ⇒ **aláhűtött forrás**
- $\Delta p = p_g - p_f \approx \frac{\sigma}{R}$ , buborék létezéséhez szükséges
  - $\sigma$ : felületi feszültség a buborék falában
  - $R$ : buborék sugara
  - ⇒ tökéletesen sima felületen:  $\Delta p \rightarrow \infty$ !
- Felületi hibák: buborékképző centrumok!
- Nagyobb nyomás  $\rightarrow$  kisebb buborékméret  $\rightarrow$  hamarabb leszakad  $\rightarrow$  oszcilláció  $\rightarrow$  akusztika!

# Forrás

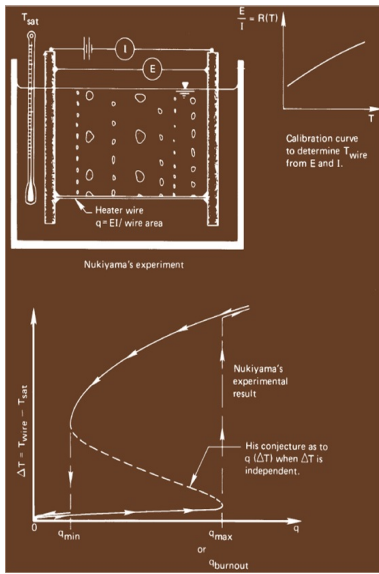
- $\alpha$ -t a felülethez közeli folyamatok jelentősen befolyásolják
- Tapasztalat: a folyadék magassága érdemben nem befolyásoló tényező
- Alapvető szerep: **buborékképződés**
- A buborékok kritikus sugara:  $r = \frac{2\sigma T_s}{(T_w - T_s)\Delta h} \left( \frac{1}{\rho_g} - \frac{1}{\rho_f} \right) \Rightarrow$   
 $r \approx \mu m$  néhány mikron felületi érdesség elegendő!
- $\alpha$  függ: áramlás jellege (álló vagy áramló folyadék),  
 buborékok elszakadási frekvenciája, fűtött felület  
 hőmérséklete, felületi érdesség
- Empirikus összefüggésekhez lásd: jegyzet / segédlet

# Forrás: forrásgörbe

A → B: 1. típusú forráskrízis; C → D: 2. típusú forráskrízis



# Forrás: Nukiyama-kísérlet





## Forrás: Nukiyama-kísérlet

Álló folyadékba merített platinaszál.



## Forrás: Nukiyama-kísérlet



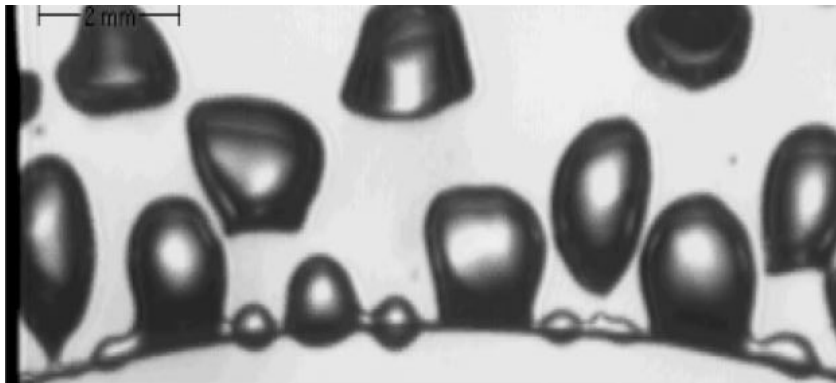
## Forrás: Nukiyama-kísérlet

Kritikus pont elérése!



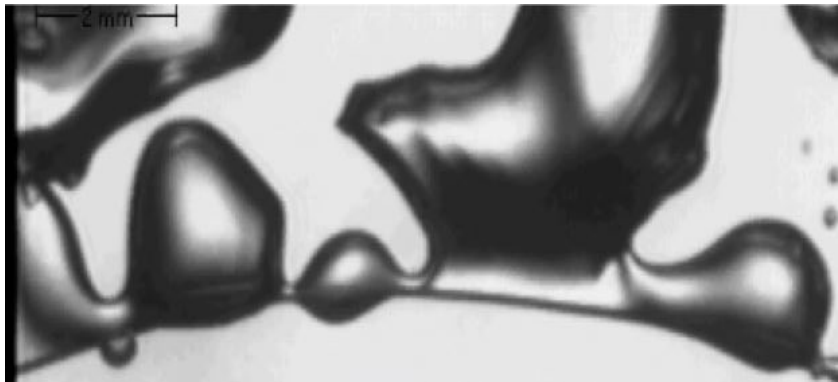
## Forrás: Nukiyama-kísérlet

Film forrás!



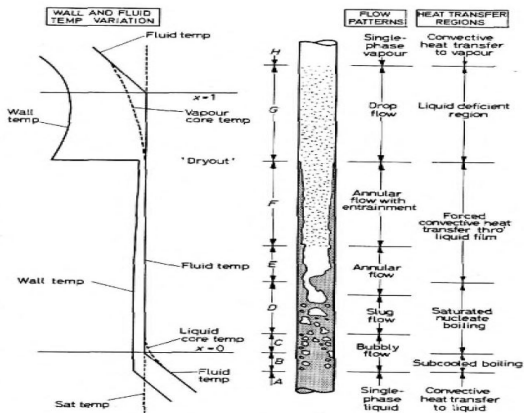
## Forrás: Nukiyama-kísérlet

Film forrás! Kritikus a tönkremenetel szempontjából!

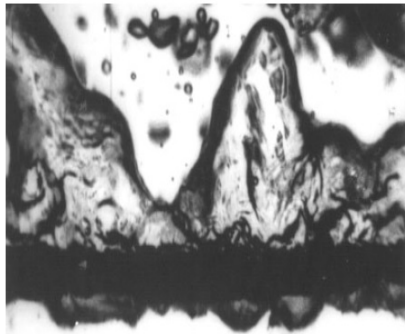
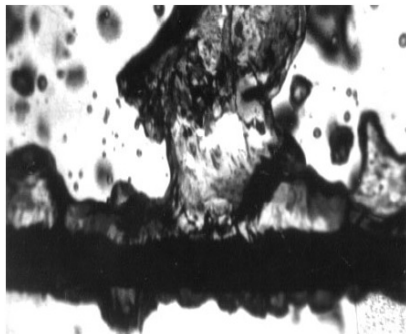


# Hőátadás - halmazállapot változással

További példa: kényszerített áramlás, függőleges vezetékben, fűtött csőfal. Másodfajú forráskrízis: kiszáradás ("Dryout")!

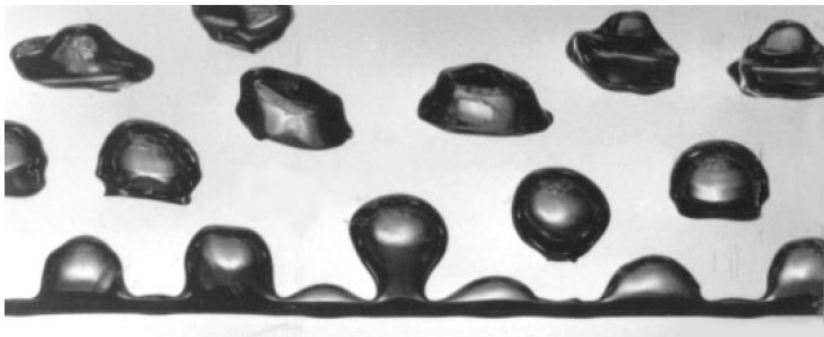


# Forrás



# Forrás

Stabil, rendezett film forrás!



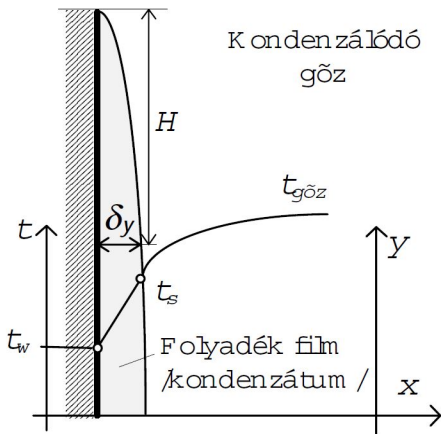


# Kondenzáció

- Felületi kondenzáció: telítési hőmérsékletnél alacsonyabb hőmérsékletű falon
  - csepp-kondenzáció: a falat nem nedvesítő folyadékok esetén
  - filmkondenzáció
- Homogén kondenzáció:
  - porlasztás
  - nyomás csökkentése
- A párolgáshő a környezetnek átadódik
- A folyadékfilm rontja a hőátadást! A csepp-kondenzáció kedvezőbb!
- Megfelelő szerkezeti kialakítás: csapadékelvezető falak, vízszintes cső elrendezés kedvezőbb

# Kondenzáció

Filmkondenzáció esete:



Cél: kisebb filmvastagság!