

Klarinét fizikai alapú hangszintézise

Bsc, Önálló Laboratórium 2018. tavasz

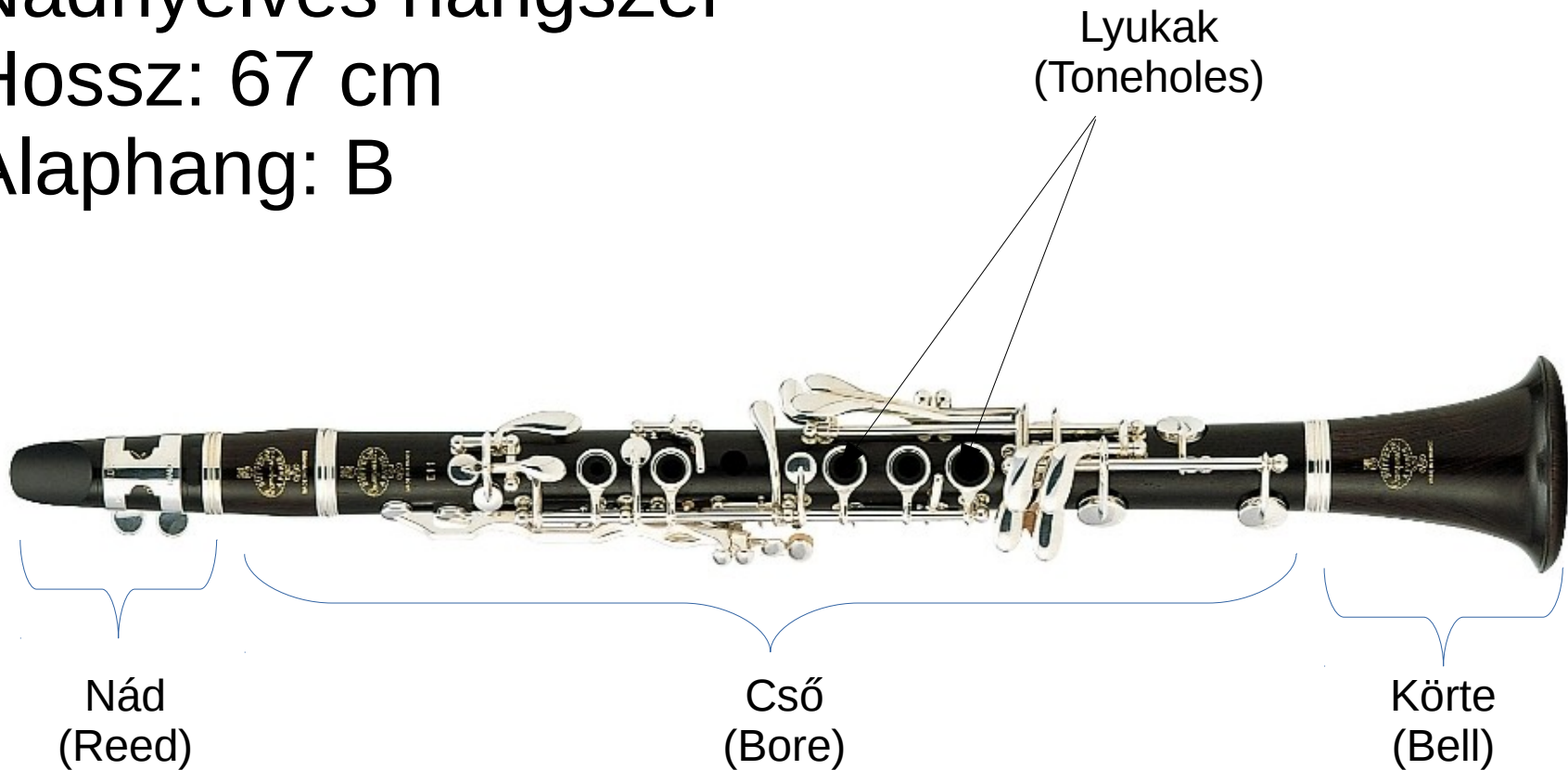
Készítette: Szegszárdy Máté

Konzulens: Dr. Bank Balázs



A klarinét

- Nádnyelves hangszer
- Hossz: 67 cm
- Alaphang: B



A cső

Hullámegyenlet a nyomásra (p):

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

Megoldása:

$$p = p^+(x-ct) + p^-(x+ct)$$

Waveguide módszer: p^+ hullám, p^- hullám



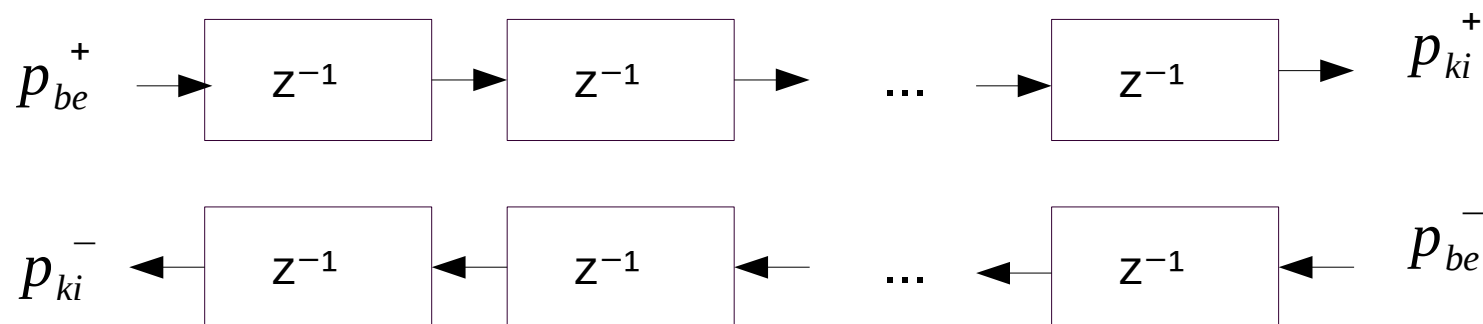
A cső

Henger esetén az átvitel:

$$\frac{p_{ki}^{\pm}(j\omega)}{p_{be}^{\pm}(j\omega)} = e^{-j\omega \frac{L}{c}}, L: \text{hossz}, c: \text{hangsebesség}$$

Diszkrét időben

$$\frac{p_{ki}^{\pm}(z)}{p_{be}^{\pm}(z)} = z^{-N_D}, N_D = N_D(f_s, L, c)$$

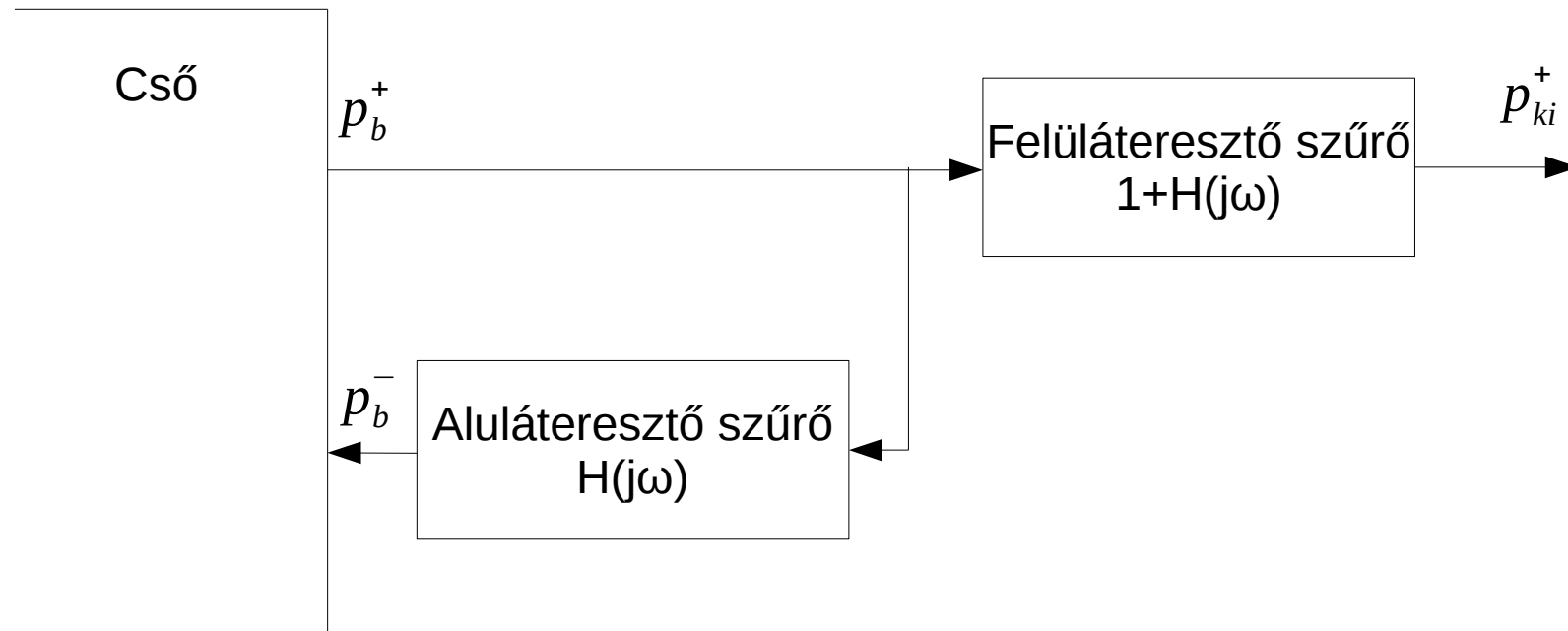


A körte

Részben reflektál, részben sugároz:

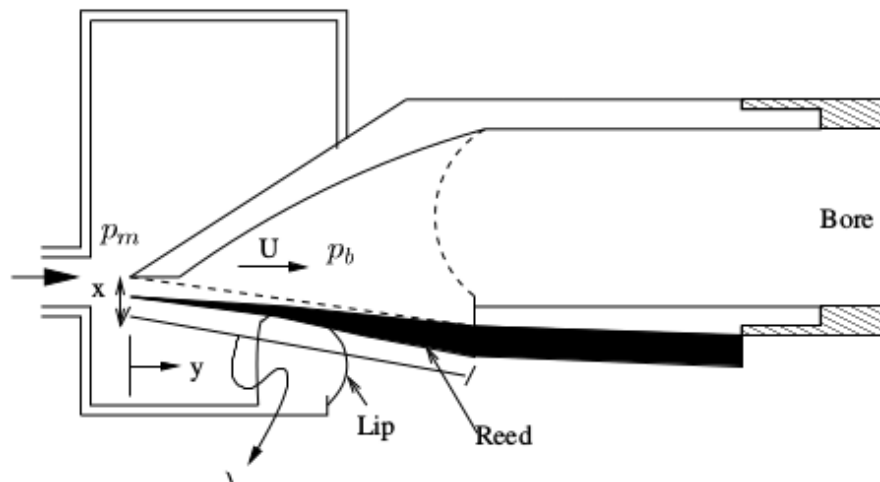
Komplementer szűrőpár

Átalakítás diszkrét időbe: bilineáris transzformáció



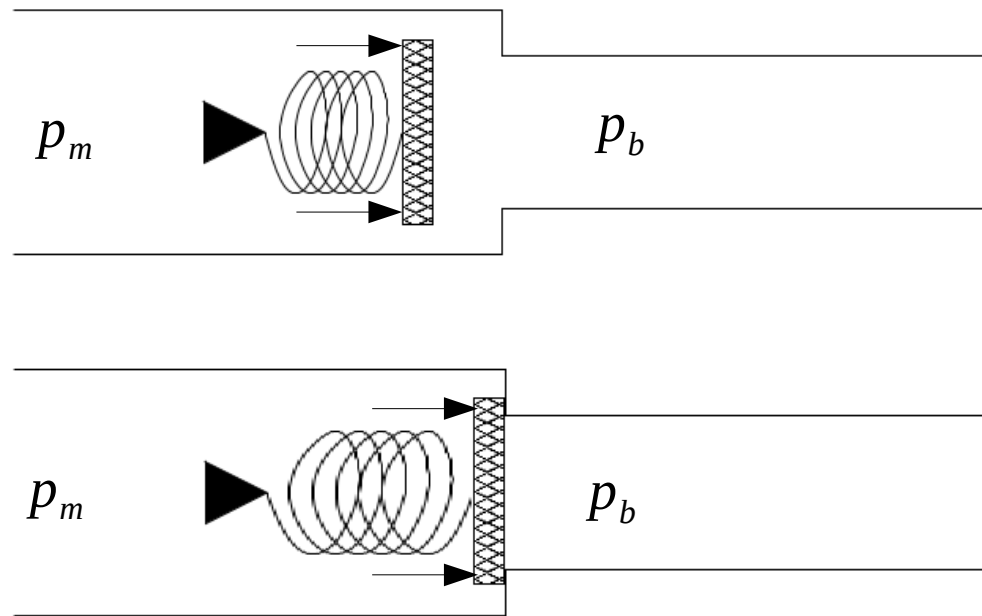
A nád fizikája

- Kvalitatívan
- Gerjesztés: légnyomás
- A nád maximális kitérése nyugalmi helyzetből
~0.4-0.6 mm
- Modell: nyomás-vezérelt szelep



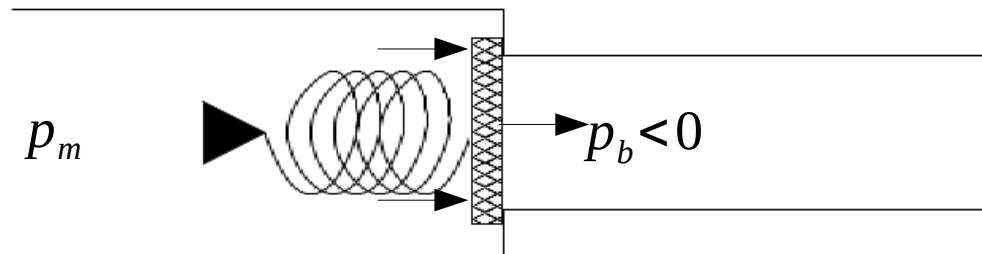
A nád fizikája

- A gerjesztés (p_m) hatására elindul egy nyomás a csőben.
- A gerjesztő nyomás bezárja a fúvókát.



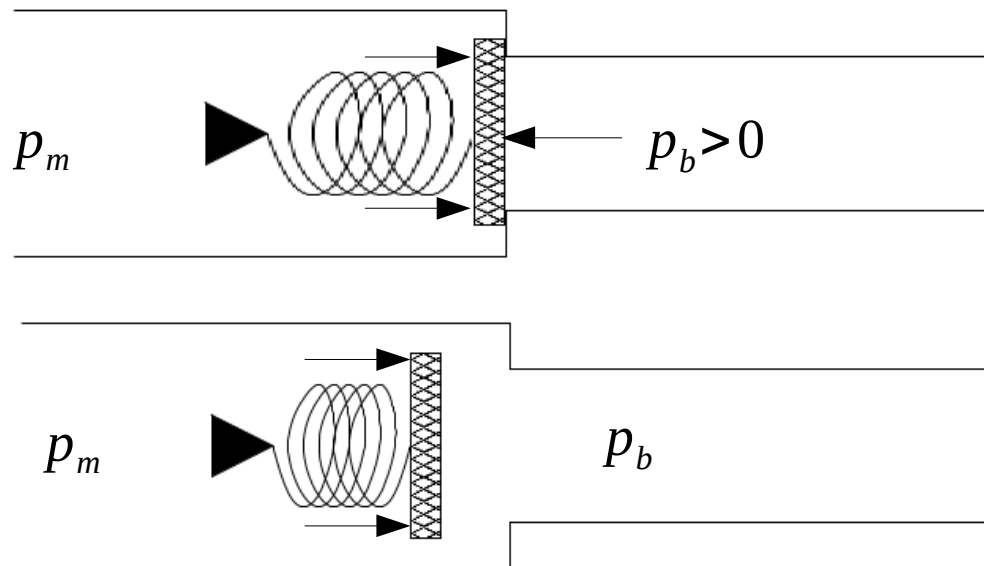
A nád fizikája

- A cső végén negatív reflexió, negatív nyomás indul vissza.
- A negatív nyomás azonos irányú erővel hat, mint a gerjesztő nyomás, így nem nyílik a fúvóka.
- A visszaérkező nyomás teljes pozitív reflexiót szenved.



A nád fizikája

- A nyomás a cső végén ismét negatív reflexiót szenved.
- Visszaérve már a gerjesztő nyomás ellen fejt ki erőt → kinyílik a fúvóka.
- Majd kezdődik előről a folyamat.

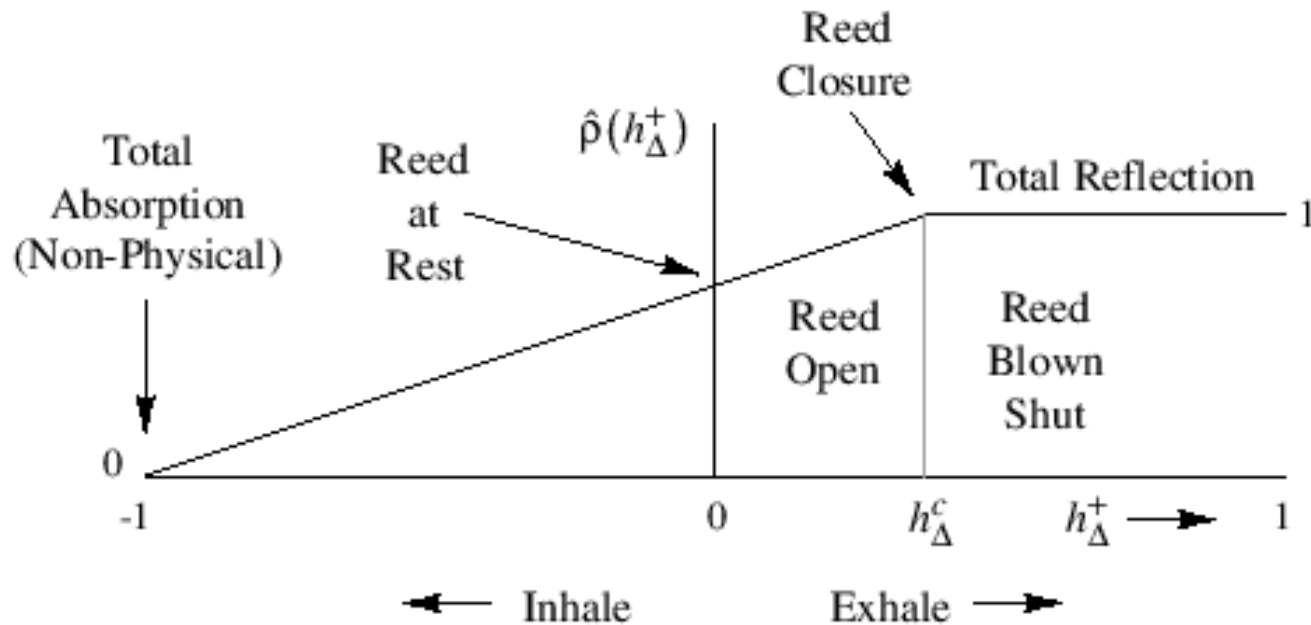
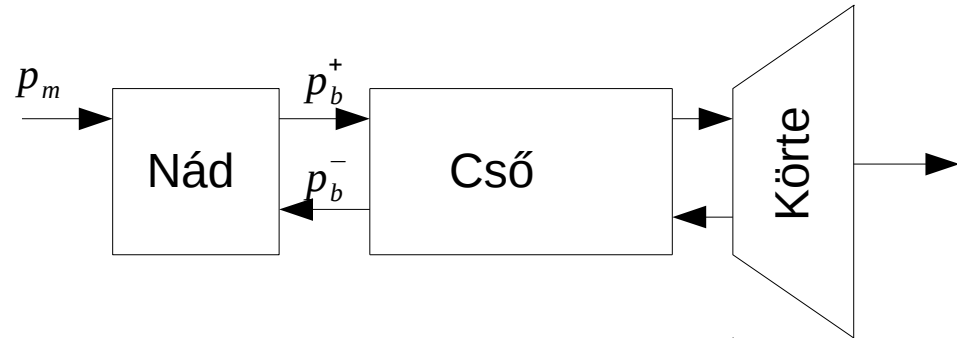


Stacionárius nád modell

- Nyomáskülönbségtől függő reflexiós tényező működteti.

$$p_b^+ = \frac{p_m}{2} - \rho(\Delta h) \cdot \Delta h$$

$$\Delta h = \frac{p_m}{2} - p_b^-$$



Dinamikus nád modell

Nád: rezgő test

Csillapított rezgés egyenlete:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2 \zeta \omega_r \frac{dx}{dt} + \omega_r^2 (x - x_o) = \Delta p \cdot \frac{A}{m}$$

Levegőáramlás (U) egyenlete; származás: Bernoulli egyenletek, Newton tv.

$$\frac{dU}{dt} = \Delta p \cdot \frac{A}{\rho v} - \frac{U^2}{2 v A + UT} \quad U \rightarrow p_b^+$$

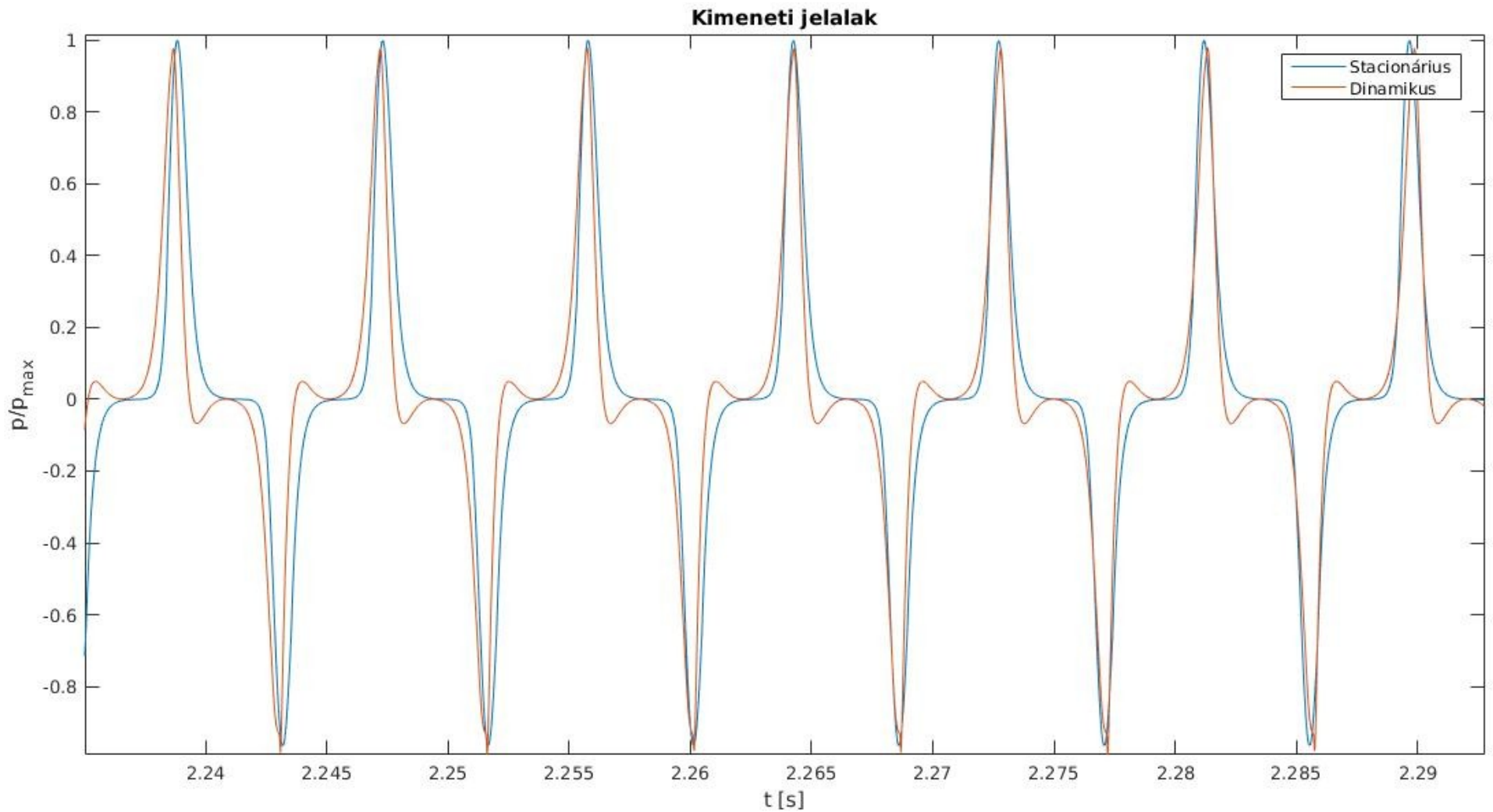
Megoldás: iterációs módszerekkel

- Előrelépő Euler
- Hátralépő Euler

Stacionárius modell: $\frac{d}{dt} = 0$

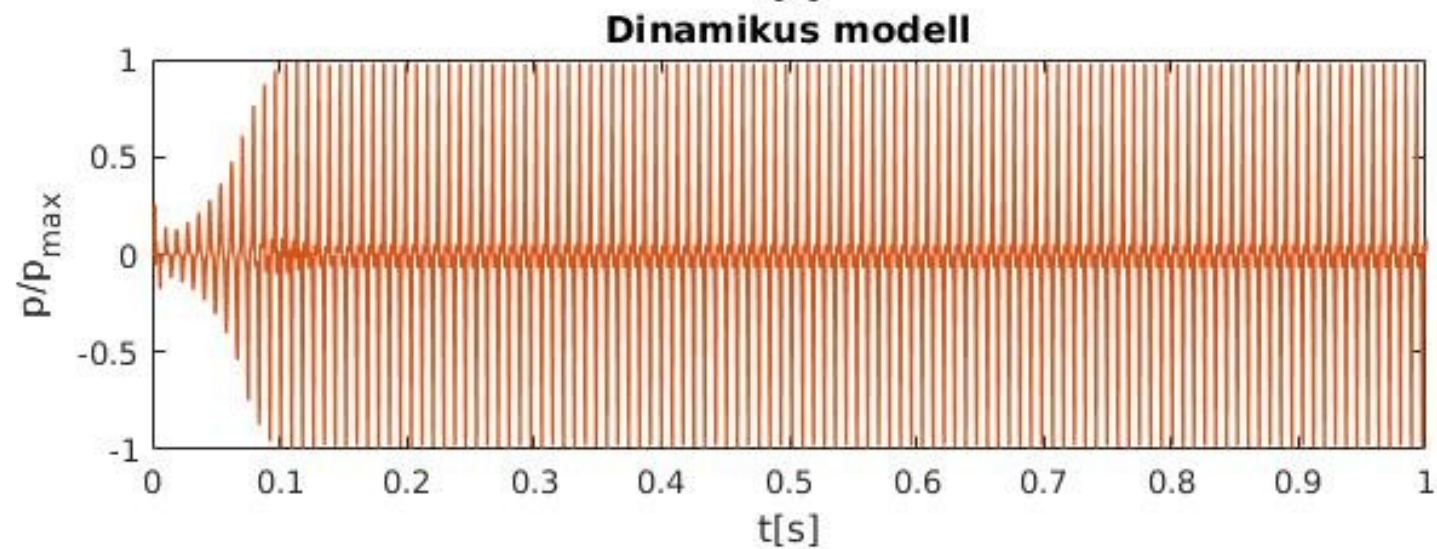
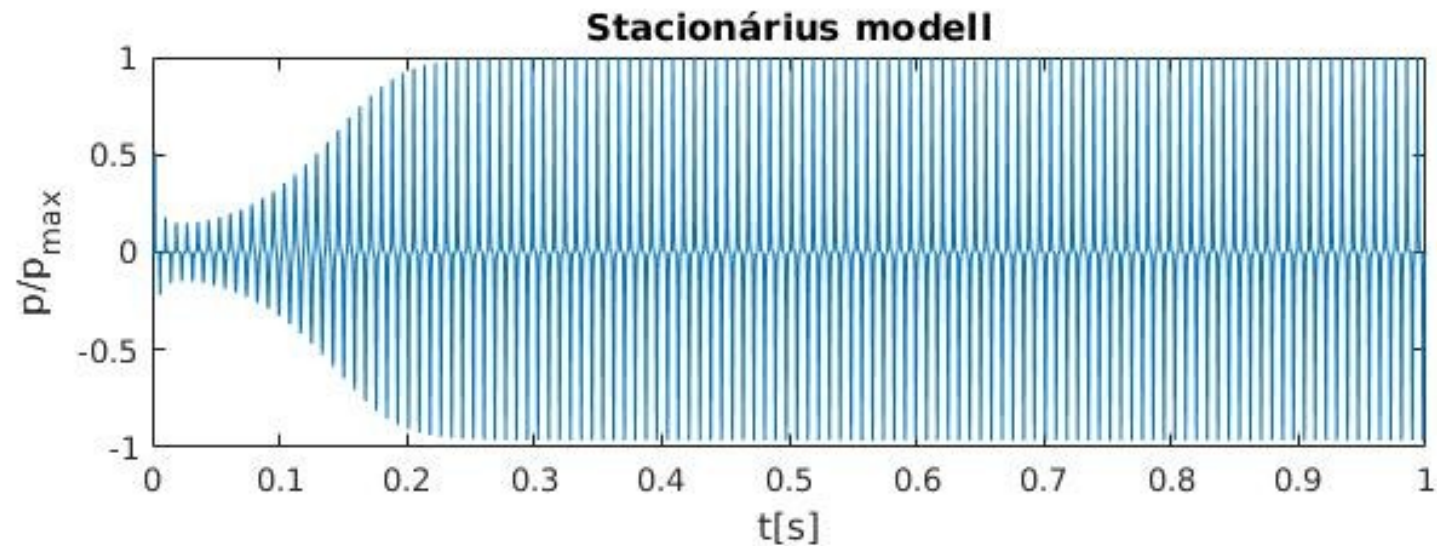
Jelalakok

- Állandósult állapot



Jelalakok

- Tranziens



Hogyan tovább?

- Lyukak, billentyűk modellezése
- Körte átvitelének meghatározása méréssel
- Zenész szájának modellezése
- Implementálás C nyelvre
- Real-time működés PC-n vagy mikrovezérlőn

Köszönöm a figyelmet!