



Hidrodinamikai  
Rendszerek  
Tanszék



# Vegyipari géptan 3.

## Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék



# Légszállító gépek

## 1. Ventilátorok

1. Centrifugál ventilátor
2. Axiális ventilátor

## 2. Fúvók

1. Root-fúvó

## 3. Kompresszorok

1. Dugattyús kompresszor
2. Csavarkompresszor
3. Turbokompresszor

## 4. Vákuumszivattyúk

1. Vízgyűrűs vákuumszivattyú

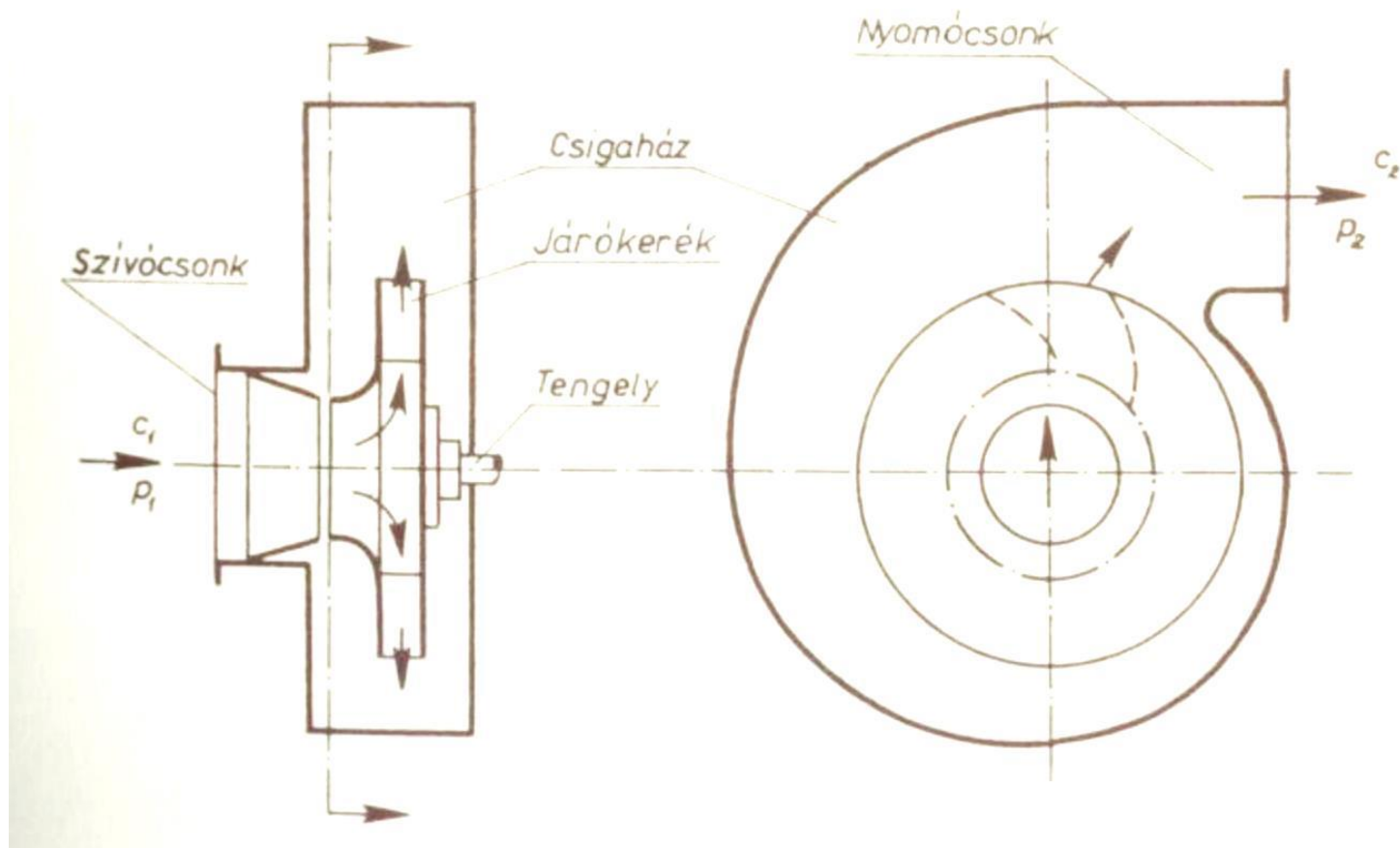


# 1. Ventilátorok

- A sűrűségváltozás elhanyagolható, feltételezhető az összenyomhatatlan közeg, mert
- kicsi nyomáskülönbség (kb. 0,05 bar – 0,1 bar = 5000 - 10000 Pa) ellenében szállít
- Ventilátorok:
  - Radiális átömlésű - centrifugál
  - Axiális átömlésű

# 1. Ventilátorok

## 1.1 Centrifugál ventilátor





# 1. Ventilátorok

Össznyomás növekedés:

$$\Delta p_{\ddot{o}} = p_n - p_s + \frac{\rho}{2} (v_n^2 - v_s^2)$$

(számolható belőle ventilátor szállítómagasság, de nem használatos:

$$H = \frac{\Delta p_{\ddot{o}}}{\rho g}$$

Statikus nyomásnövekedés:

$$\Delta p_{st} = \Delta p_{\ddot{o}} - \frac{\rho}{2} v_n^2 = p_n - p_s - \frac{\rho}{2} v_s^2$$



# 1. Ventilátorok

Üzemi jellemzők:

- Bevezetett teljesítmény:  $P_b = M\omega$
- Hasznos teljesítmény:  $P_h = q\Delta p_{\ddot{o}}$
- Hatásfok:  $\eta = \frac{q\Delta p_{\ddot{o}}}{M\omega}$
- Statikus hatásfok:  $\eta_{st} = \frac{q\Delta p_{st}}{M\omega}$
- Működési „sebesség” - fordulatszám:  $n = \frac{\omega}{2\pi}$
- Más fordulatszámra az affinitással számolható át



# 1. Ventilátorok

- Más sűrűségre az alábbi összefüggésekkel számolható át

$$\Delta p_{\ddot{o}}' = \frac{\rho'}{\rho} \Delta p_{\ddot{o}}$$

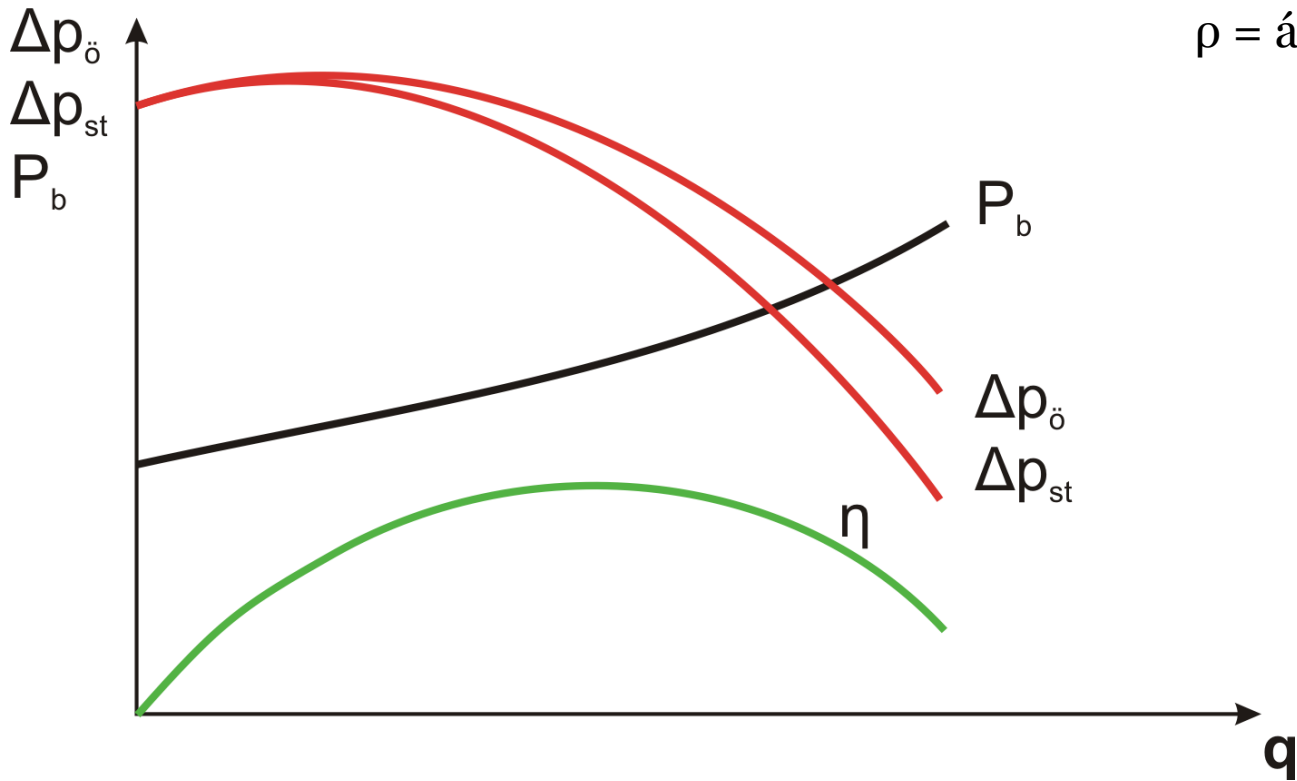
$$\Delta p_{st}' = \frac{\rho'}{\rho} \Delta p_{st}$$

$$P' = \frac{\rho'}{\rho} P$$



# 1. Ventilátorok

## Jelleggörbék

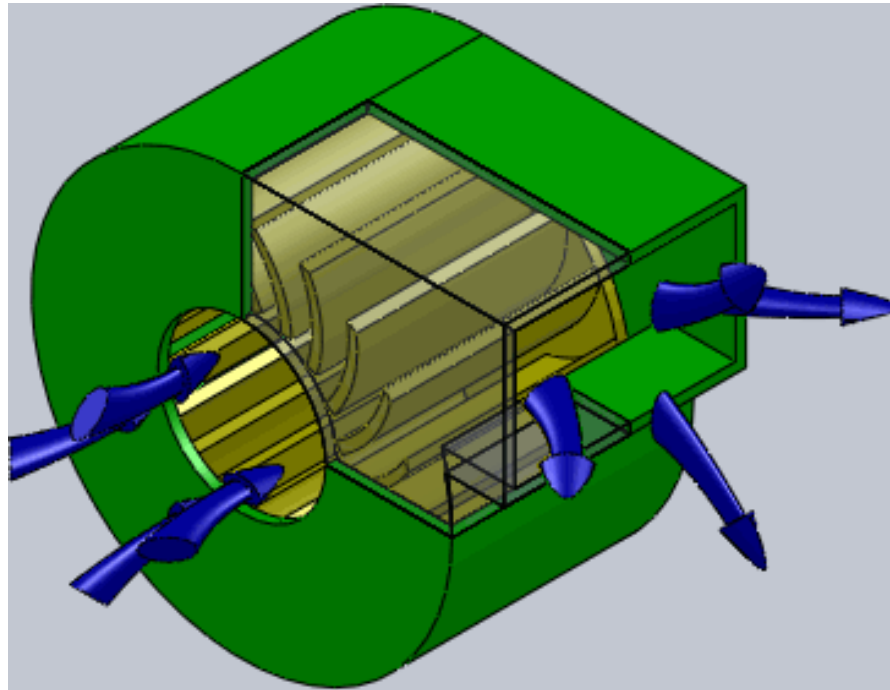


$n = \text{áll.}$   
 $\rho = \text{áll.}$





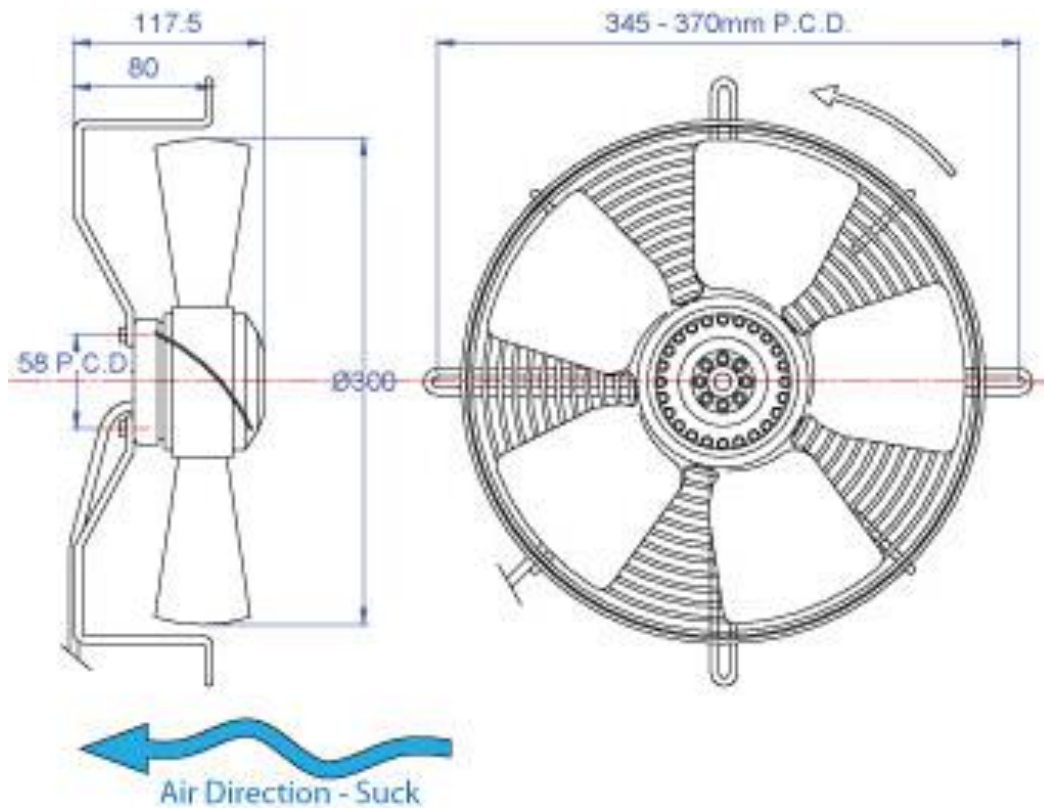
# 1. Ventilátorok





# 1. Ventilátorok

## 1.2 Axiális ventilátor





## 2. Fúvók

- A nyomáskülönbség, ami ellenében dolgoznak tipikusan:  
 $0,05 \text{ bar} < p < 2 \text{ bar}$
- A szállított közeg összenyomódása és fölmelegedése számottevő
- Nyomáskülönbség helyett gyakran nyomásviszonnyal ( $\varepsilon$ ) jellemzik

$$\varepsilon = \frac{p_2}{p_1}$$

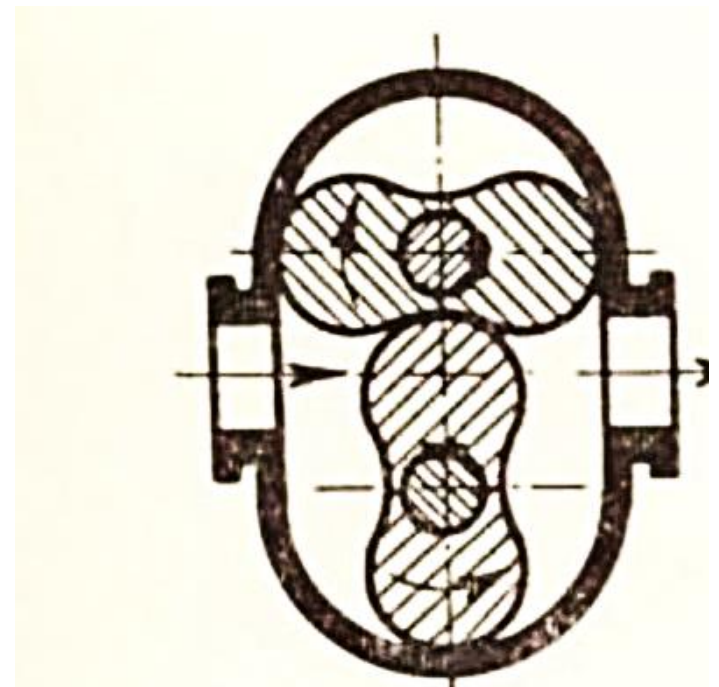
- Fúvók  $\varepsilon \leq 3$



## 2. Fúvók

### 2.1 Root-fúvó (forgódugattyús)

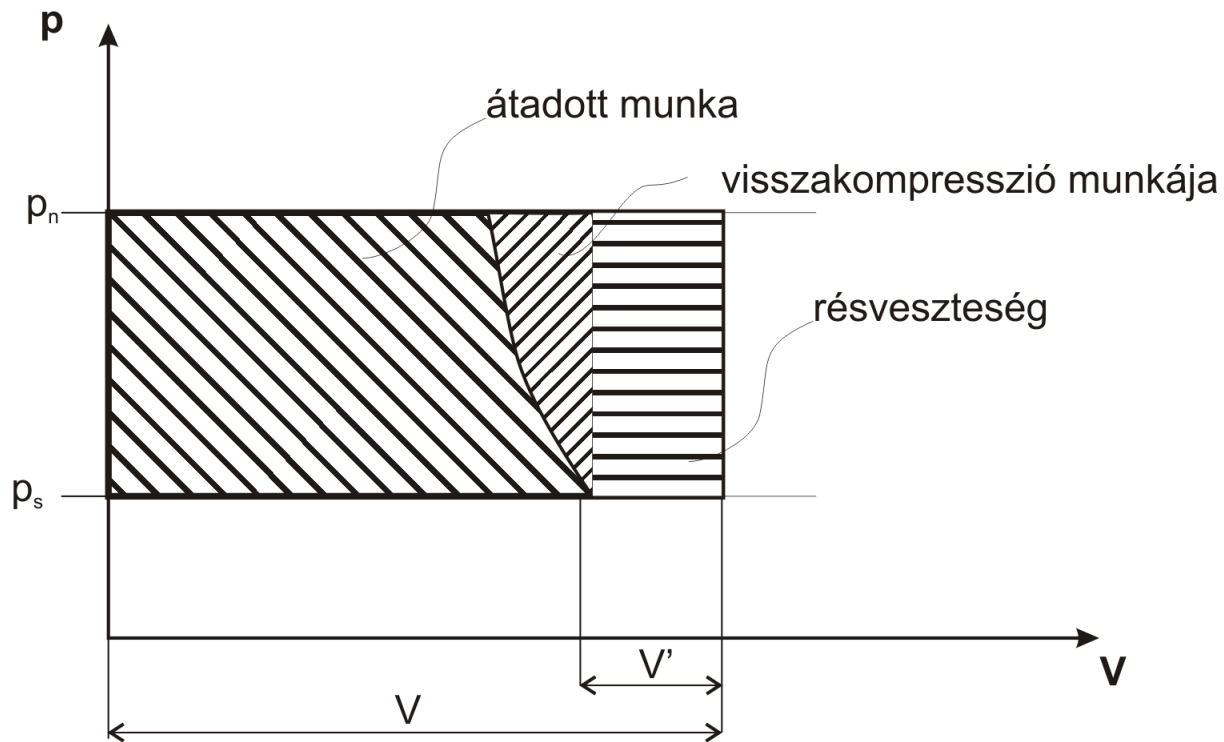
- Kialakításából kifolyólag járókerekei soha nem akadnak össze, ezért
- Nem igényel kenést
- Olajmentes levegőt szállíthat





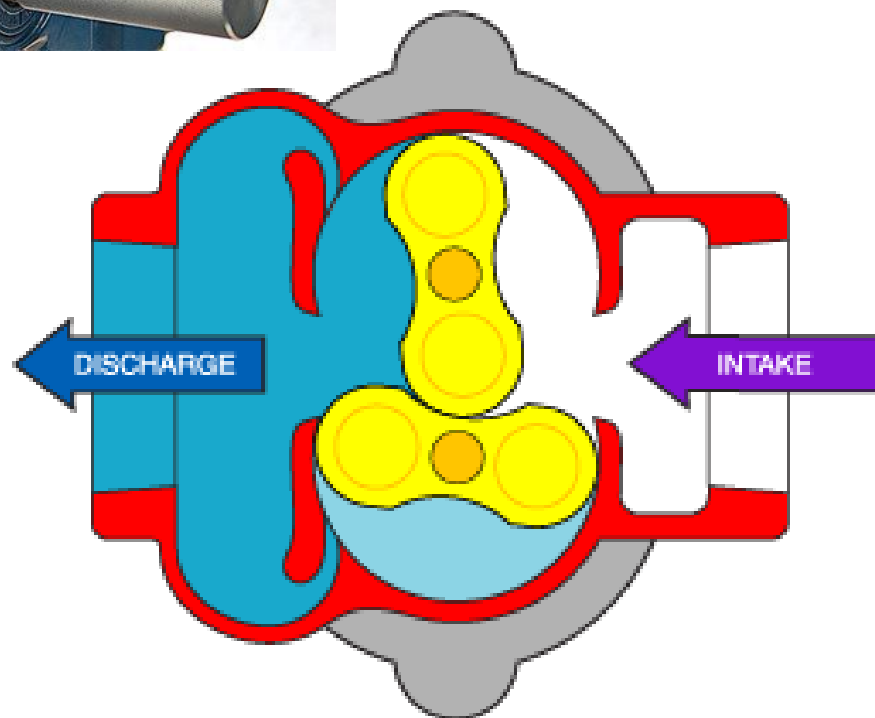
# 2. Fúvók

## Root-fúvó indikátor diagramja





## 2. Fúvók





# 3. Kompresszorok

- Nagy nyomáskülönbség ellenében dolgoznak

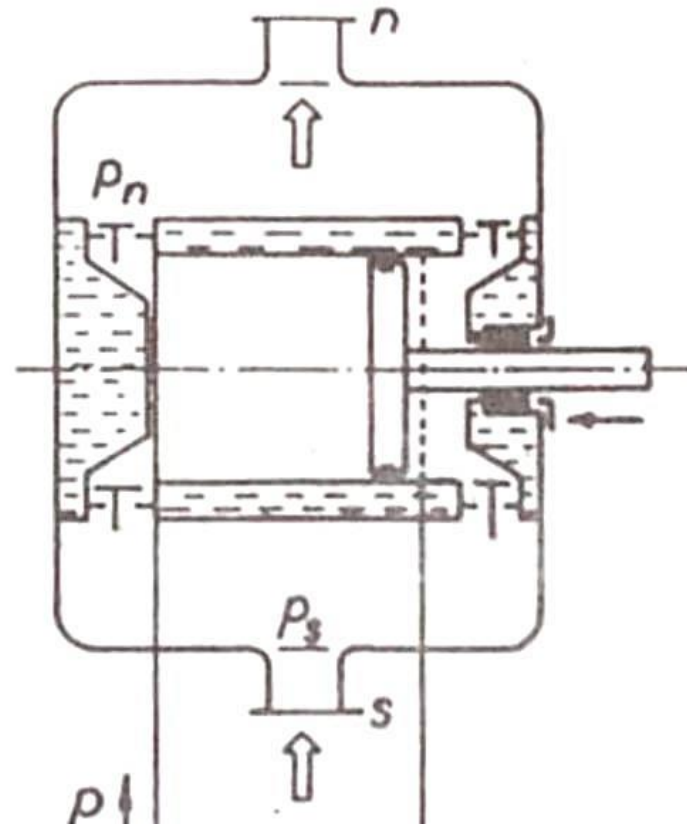
$$p: = 2-5 \text{ bar}$$

- A szállított közeg összenyomódása és fölmelegedése számottevő
- A közeg és a gép hűtéséről külön gondoskodni kell
- Jellemző nyomásviszony:  $\varepsilon > 3$
- 6-os nyomásviszonynál nagyobb nyomáskülönbség több fokozatban valósítható meg



# 3. Kompresszorok

## 3.1 Dugattyús kompresszor (kétszeres működésű)







# 3. Kompresszorok

Dugattyús kompresszor jellemzői

Töltési fok: 
$$\lambda = \frac{V_1}{V_l} = \frac{V_s}{V_l}$$

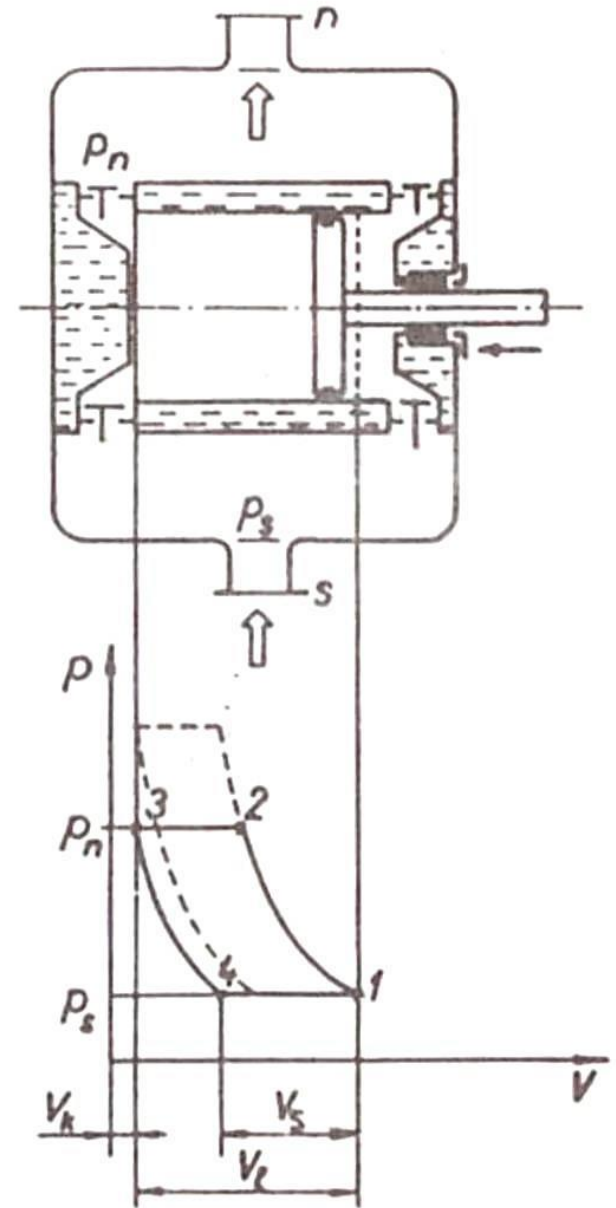
Nyomásviszony:

$$\varepsilon = \frac{p_n}{p_s}$$

3→4 expanzió:

$$p_n V_k = p_s (V_k + V_l - V_1)$$

$$\frac{p_n}{p_s} V_k = V_k + V_l - V_1$$





# 3. Kompresszorok

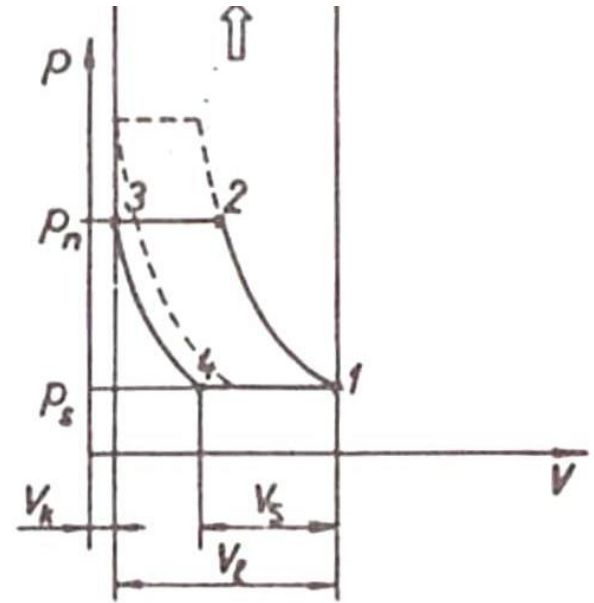
3→4 expanzió:

$$p_n V_k = p_s (V_k + V_l - V_1)$$

$$\frac{p_n}{p_s} V_k = V_k + V_l - V_1$$

Ebből a beszívott levegő térfogata:

$$V_1 = V_l - V_k \left( \frac{p_n}{p_s} - 1 \right)$$





# 3. Kompresszorok

Az indukált munka (a dugattyú által a gázon végzett munka)

$$1 \rightarrow 2 \text{ kompresszió} \quad - \int_1^2 p A ds = - \int_1^2 p dV \quad m = m_1 = m_2$$

**Izotermikus** esetben:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_1}{\rho_1} = \text{áll.}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{p_1}{\rho_1} \frac{1}{p}$$

$$V = \frac{m_1}{\rho} = \frac{p_1}{\rho_1} \frac{1}{p} m$$



# 3. Kompresszorok

$$V = \frac{m_1}{\rho} = \frac{p_1}{\rho_1} \frac{1}{p} m$$

$$\frac{dV}{dp} = m \frac{p_1}{\rho_1} \frac{1}{p^2}$$

$$dV = -m \frac{p_1}{\rho_1} \frac{1}{p^2} dp$$



# 3. Kompresszorok

$$\begin{aligned} -\int_1^2 p dV &= m \frac{p_1}{\rho_1} \int_1^2 \frac{1}{p} dp = m \frac{p_1}{\rho_1} [\ln p]_1^2 = \\ &= m \frac{p_1}{\rho_1} [\ln p_2 - \ln p_1] = m \frac{p_1}{\rho_1} \ln \frac{p_2}{p_1} = \end{aligned}$$

$$= V_1 p_1 \ln \frac{p_2}{p_1}$$



# 3. Kompresszorok

3→4 expanzió Izotermikus esetben

$$\int_3^4 p dV = -m \frac{p_1}{\rho_4} \int_3^4 \frac{1}{p} dp = -m \frac{p_1}{\rho_4} [\ln p]_3^4 =$$

$$= m \frac{p_1}{\rho_4} [\ln p_3 - \ln p_4] = m \frac{p_1}{\rho_4} \ln \frac{p_3}{p_4} =$$

$$= V_4 p_1 \ln \frac{p_3}{p_4}$$



# 3. Kompresszorok

Indukált izotermikus munka:

$$W_{iiz} = -\int_1^2 p dV - \int_3^4 p dV = p_1(V_1 - V_4) \ln \frac{p_2}{p_1}$$

Izotermikus hasznos teljesítmény (i: működés, n: löketség):

$$P_{iiz} = inW_{iiz} = inp_1V_{besz} \ln \frac{p_2}{p_1} = p_s q_s \ln \frac{p_n}{p_s}$$

Izotermikus hatásfok

$$\eta_{iz} = \frac{P_{iiz}}{P_b} = \frac{p_s q_s \ln \frac{p_s}{p_n}}{M\omega}$$



# 3. Kompresszorok

Az indukált munka **adiabatikus** esetben:

$$\frac{p}{\rho^\kappa} = \frac{p_1}{\rho_1^\kappa} = \text{áll.}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \frac{1}{p^{\frac{1}{\kappa}}}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \frac{1}{p^{\frac{1}{\kappa}}} m$$





# 3. Kompresszorok

$$V = m \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \frac{1}{p^{\frac{1}{\kappa}}}$$

$$\frac{dV}{dp} = m \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \left( -\frac{1}{\kappa} p^{-1-\frac{1}{\kappa}} \right)$$

$$dV = m \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \left( -\frac{1}{\kappa} p^{-1-\frac{1}{\kappa}} \right) dp$$



# 3. Kompresszorok

$$\begin{aligned} -\int_1^2 p dV &= \int_1^2 m \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \left( \frac{1}{\kappa} p^{-\frac{1}{\kappa}} \right) dp = m \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \frac{1}{\kappa} \int_1^2 p^{-\frac{1}{\kappa}} dp = \\ &= m \frac{p_1^{\frac{1}{\kappa}}}{\rho_1} \frac{1}{\kappa} \frac{\kappa}{\kappa-1} \left[ p^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \right]_1^2 = \frac{m}{\rho_1} p_1^{\frac{1}{\kappa}} p_1^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \frac{1}{\kappa-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right] \end{aligned}$$

$$= V_1 \frac{1}{\kappa-1} p_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$



# 3. Kompresszorok

Az előzőhöz hasonlóan levezethető az expanzió adiabatikus esetben:

$$\int_3^4 p dV = V_4 \frac{1}{\kappa - 1} p_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right]$$



# 3. Kompresszorok

Indukált adiabatikus munka:

$$W_{iad} = -\int_1^2 p dV - \int_3^4 p dV = p_s (V_1 - V_4) \frac{1}{\kappa - 1} \left[ \left( \frac{p_n}{p_s} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

Adiabatikus hasznos teljesítmény:

$$P_{iad} = \dot{m} W_{iad} = \dot{q}_s p_s \frac{1}{\kappa - 1} \left[ \left( \frac{p_n}{p_s} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

Adiabatikus hatásfok

$$\eta_{ad} = \frac{P_{iad}}{P_b}$$



# 3. Kompresszorok

Dugattyús kompresszor szabályozása:

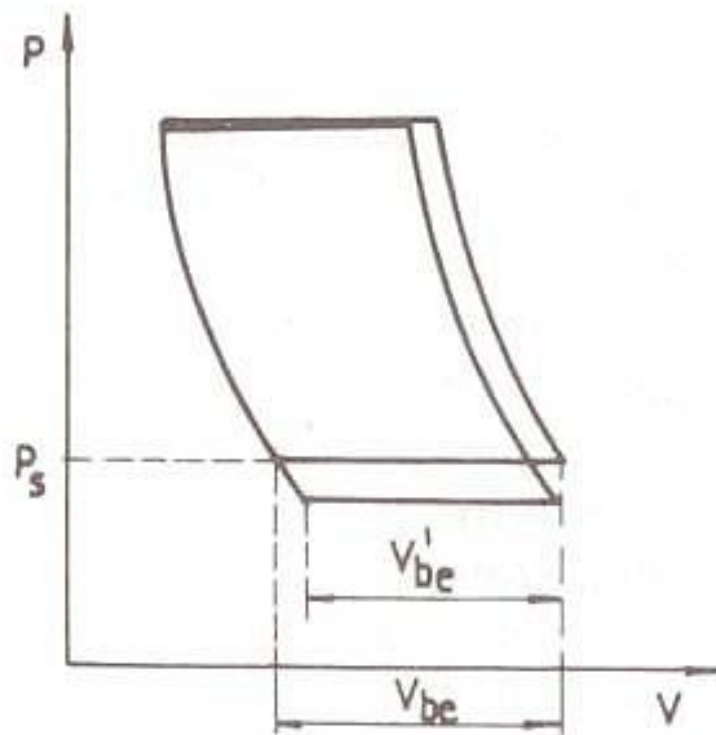
Általános: kompresszoroknál a szállított térfogatáramot a beszívott térfogatáram szabályozásával állítják be, nyomóoldali fojtással nem szabályoznak!

1. Időszakos üzemmód (légtartályba szállít, kikapcsolt esetben a fogyasztót a légtartályból szolgálják ki)
2. Szívóvezeték fojtása
3. Szívószelep kitámasztása
4. Pótkárostér beiktatása
5. Megkerülő vezeték



# 3. Kompresszorok

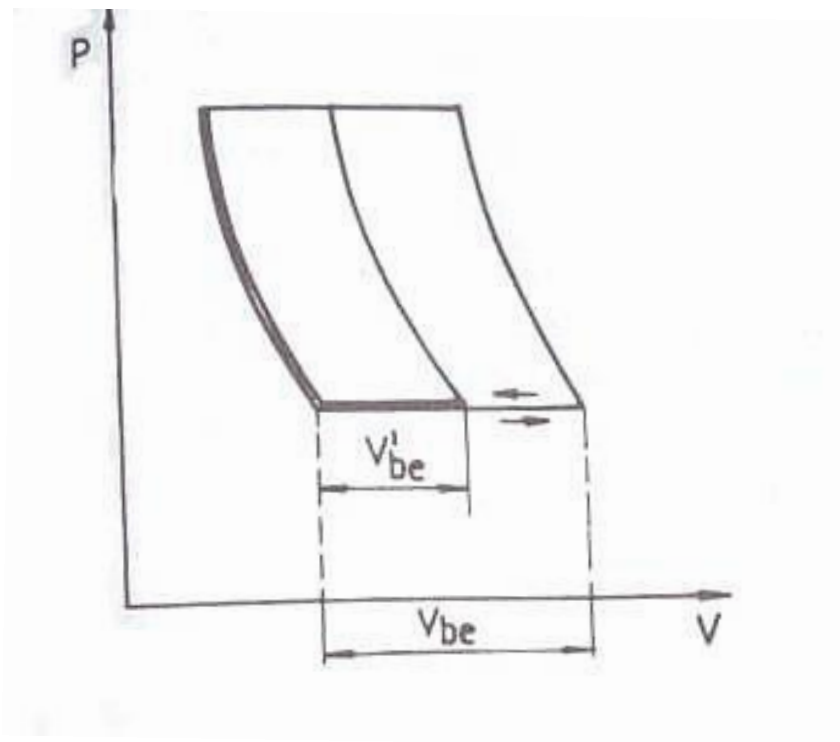
## 2. Szívóvezeték fojtása





# 3. Kompresszorok

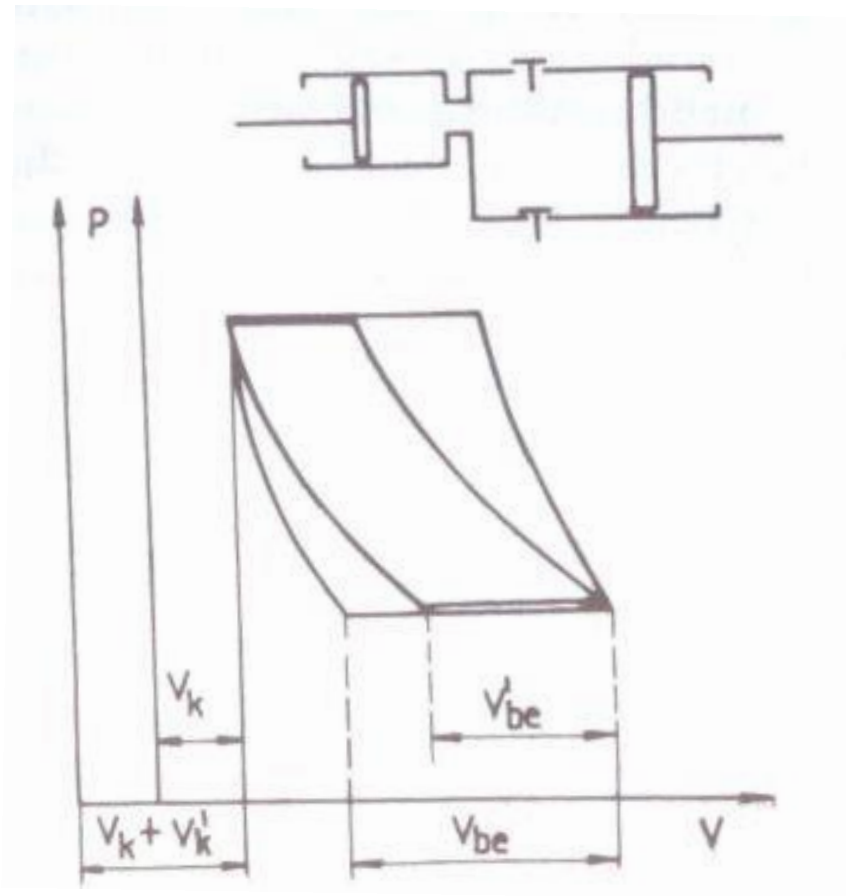
## 2. Szívószelep késleltetett zárása (kitámasztása)





# 3. Kompresszor

## 4. Pótkárostér beiktatása

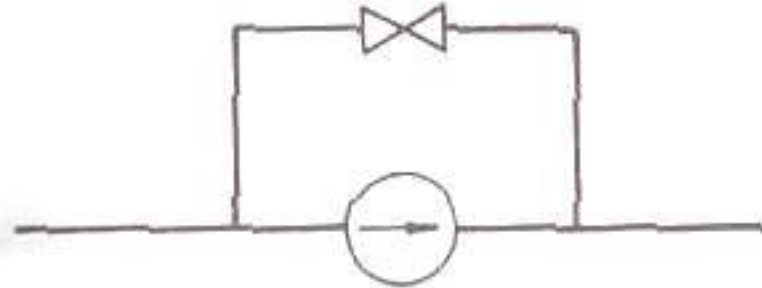






# 3. Kompresszorok

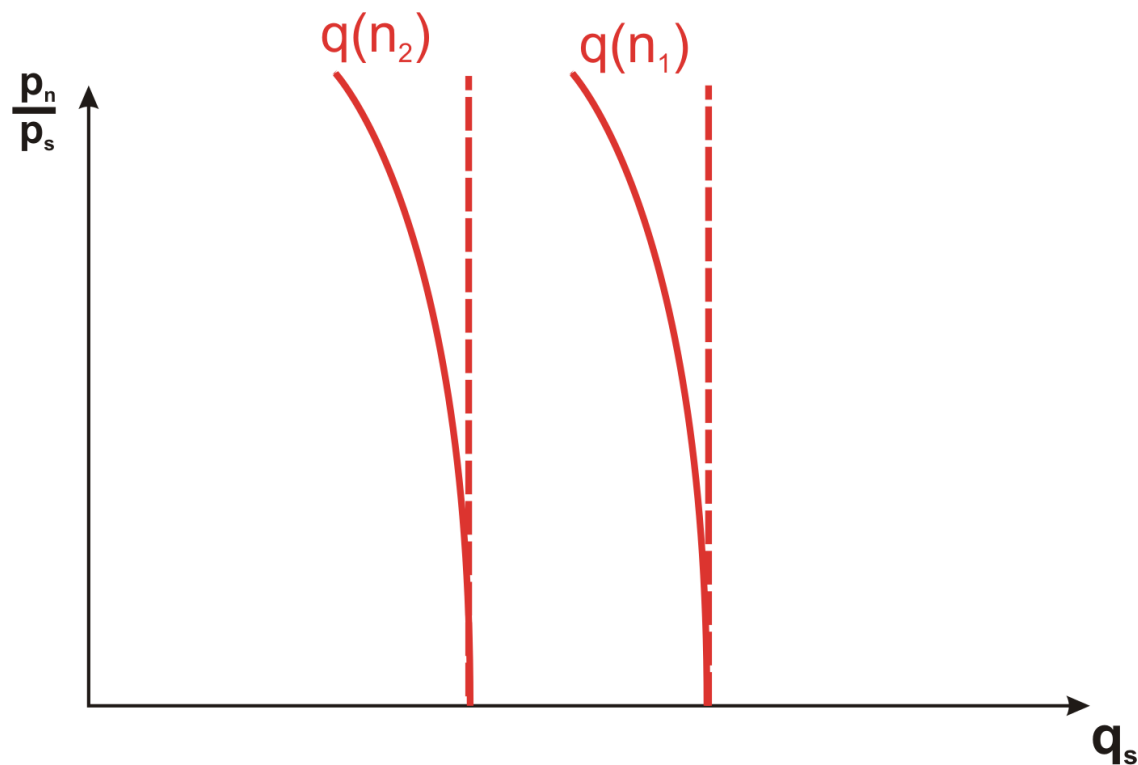
## 5. Megkerülő vezeték beépítése





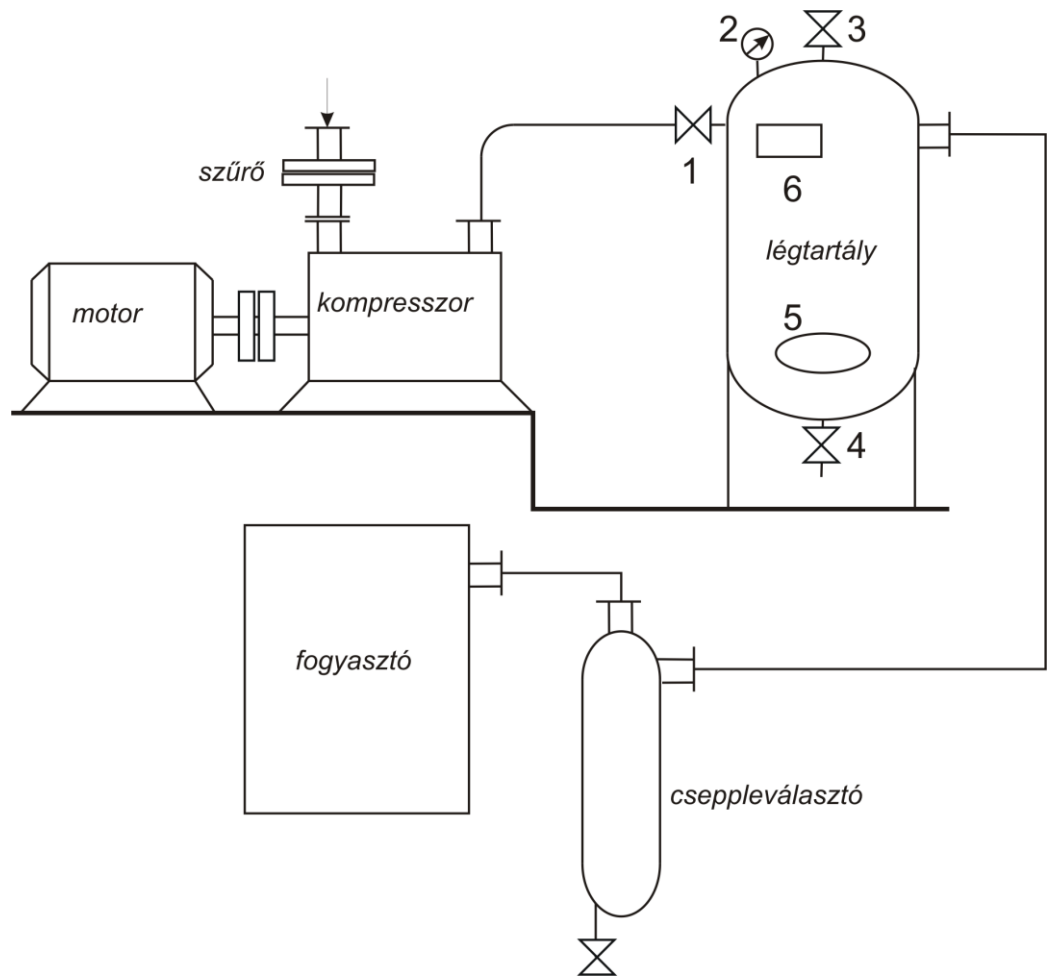
# 3. Kompresszorok

Dugattyús kompresszor jelleggörbéje



# 3. Kompresszorok

## Kompresszorállomás segédberendezésekkel



1. Szelep
2. Manométer
3. Biztonsági szelep
4. Vízevezető szelep
5. Szerelő nyílás
6. Adattábla



# 3. Kompresszorok

Vegyipari kompresszorok kenése:

- Nitrogénre                    levegő kenés
- Oxigénre                    glicerin kenés
- Klórgázra                    tömény kénsav kenés
- Szén-dioxidra            növényi olaj kenés

Olajmentes kompresszorok tömítési lehetősége:

- Labirinttömítés

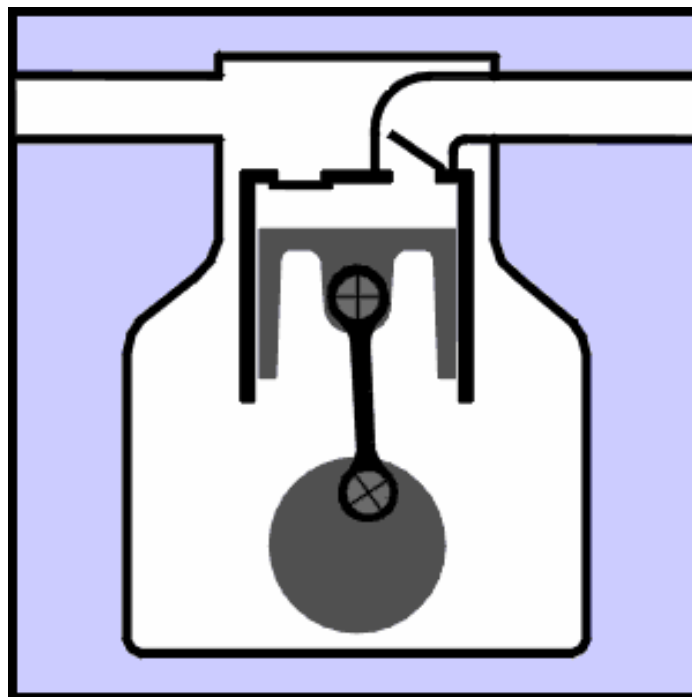
vagy

- Membránkompresszor alkalmazása



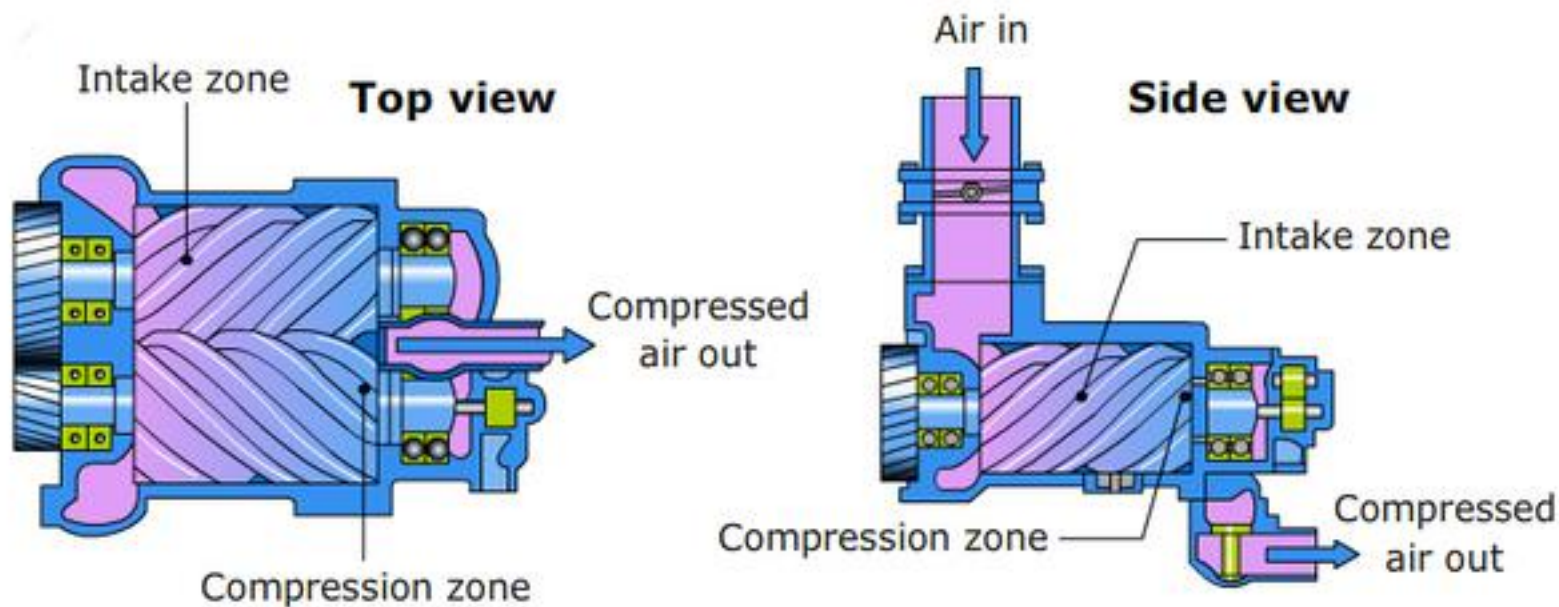
# 3. Kompresszorok

## Dugattyús kompresszor működése



# 3. Kompresszorok

## 3.2 Csavarkompresszor





# 3. Kompresszorok

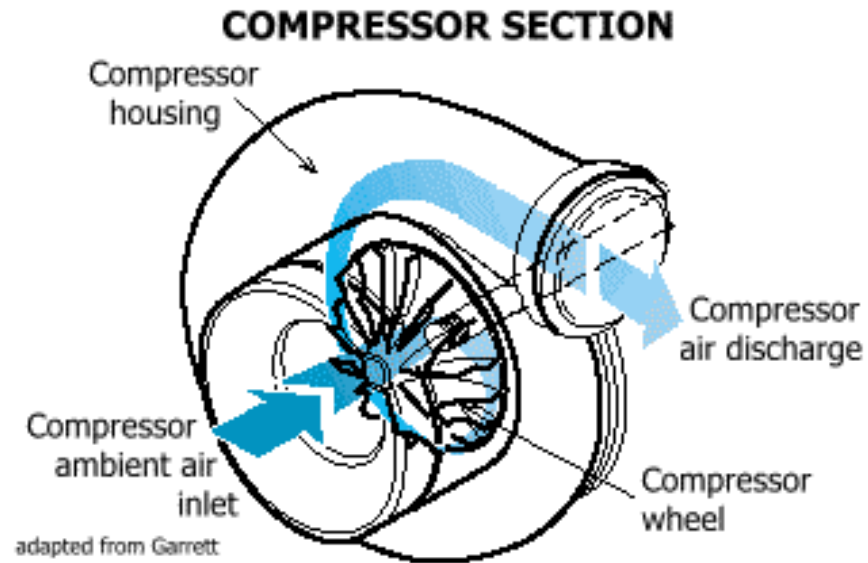
## Csavarkompresszor:

- Szerkezeti felépítése a csavarszivattyúhoz hasonló
- A gázszállítást a forgó csavarorsók végzik
- A gáz az orsók hossz tengelye mentén halad a szívótérből a nyomótérbe
- 2-5 bar nyomáskülönbségen működik
- Megcsapolható



# 3. Kompresszorok

## 3.3 Turbo kompresszor





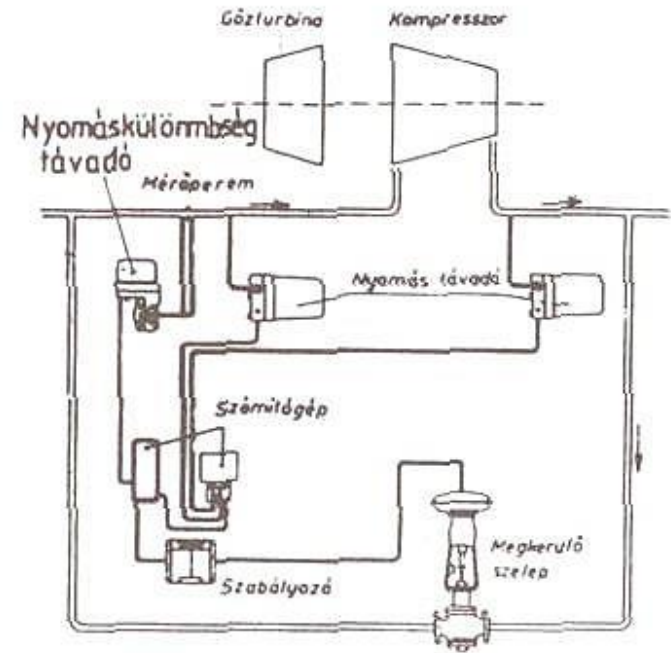
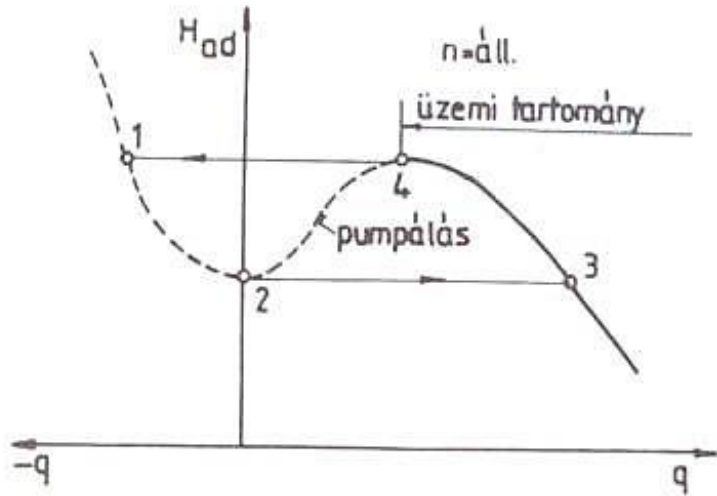


# 3. Kompresszorok

## Turbo kompresszor:

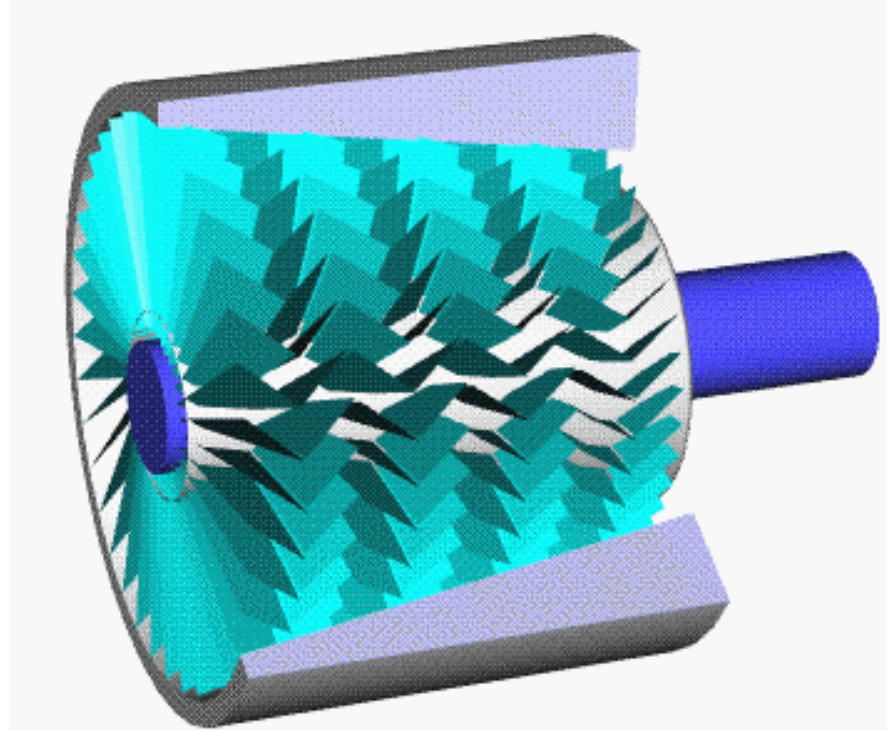
- Működési elve az örvényszivattyúkéhoz hasonló
- Megkülönböztetünk centrifugális és axiális kompresszorokat
- A járókerék megnöveli a rajta átáramló gáz nyomását és sebességét
- Az axiális gép előnye a centrifugállal szemben: jobb hatásfok
- Az axiális gép hátránya a centrifugállal szemben: meredekebb jelleggörbe miatt szűkebb üzemi tartomány
- Működési korlát: pumpálási jelenség elkerülése

# 3. Kompresszorok





# 3. Kompresszorok





# 4. Vákuumszivattyúk

- Légekörinél kisebb nyomású térből szív
- Közepes vákuumot létesítő szivattyú
- Vákuum:

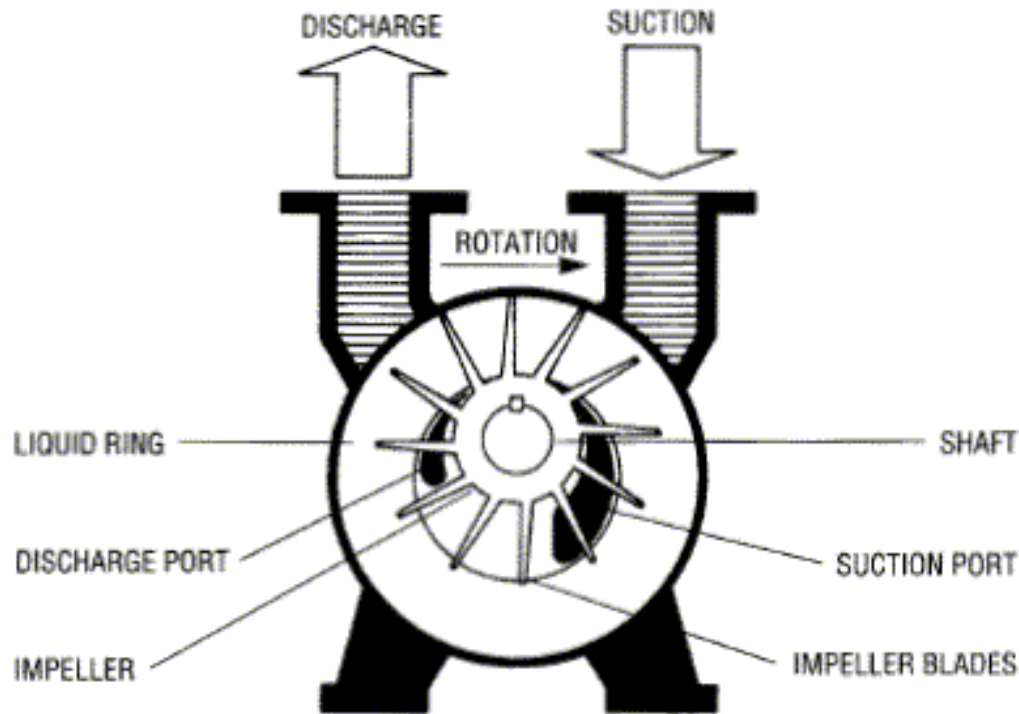
$$v = \frac{p_0 - p}{p_0} 100[\%]$$

- Finom vákuum: 0,1-100 Pa
- Kis vákuum: 20 kPa
- Közepes vákuum: 8-20 kPa
- Nagy vákuum



# 4. Vákuumszivattyúk

4.1 Vízgyűrűs vákuumszivattyú (víz utánpótlásról gondoskodni kell)





Kérdések, észrevételek:  
[tillsara@hds.bme.hu](mailto:tillsara@hds.bme.hu)