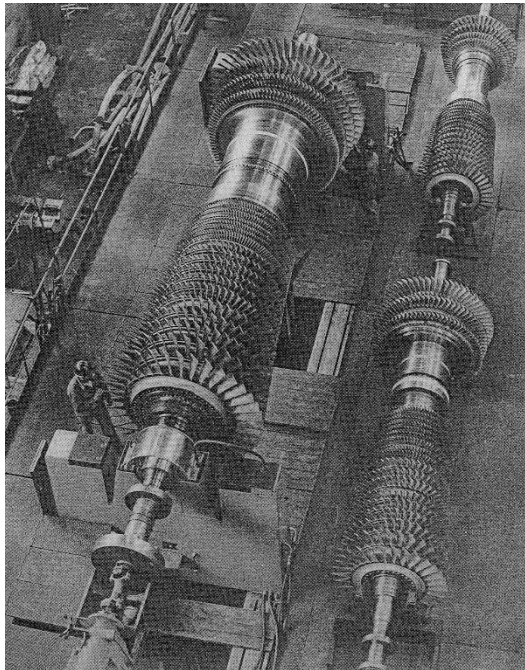


1. BEVEZETÉS

1.1. Az áramlástan mérés célja

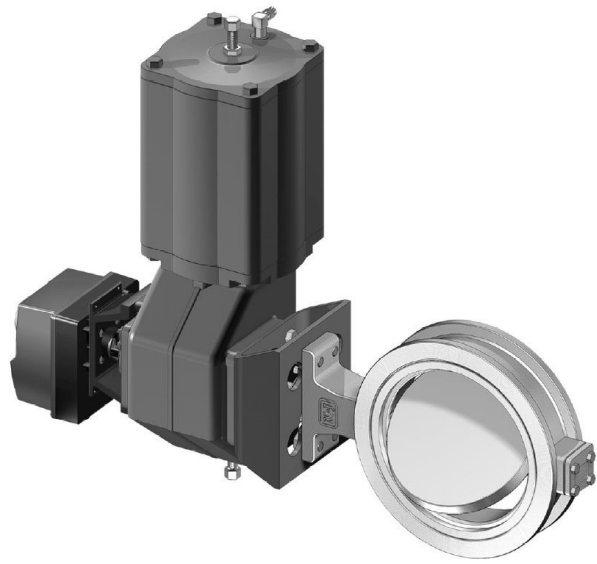
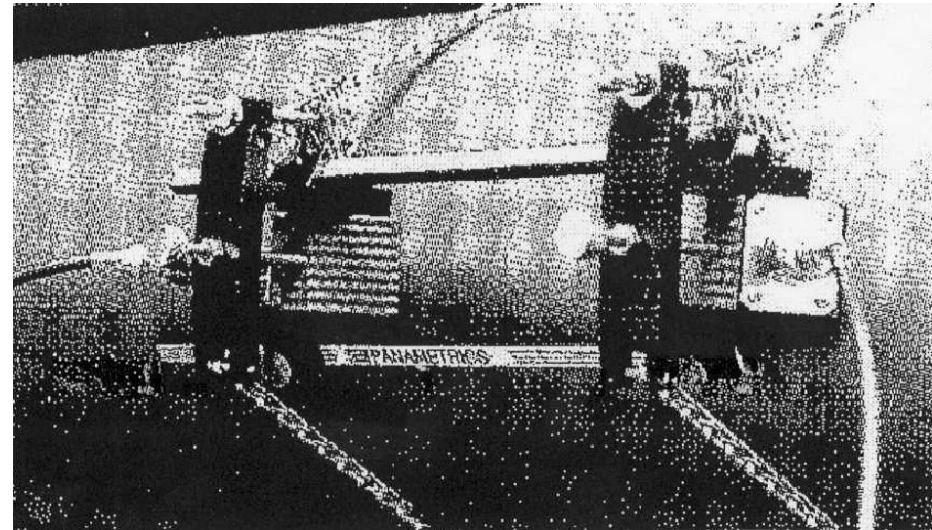
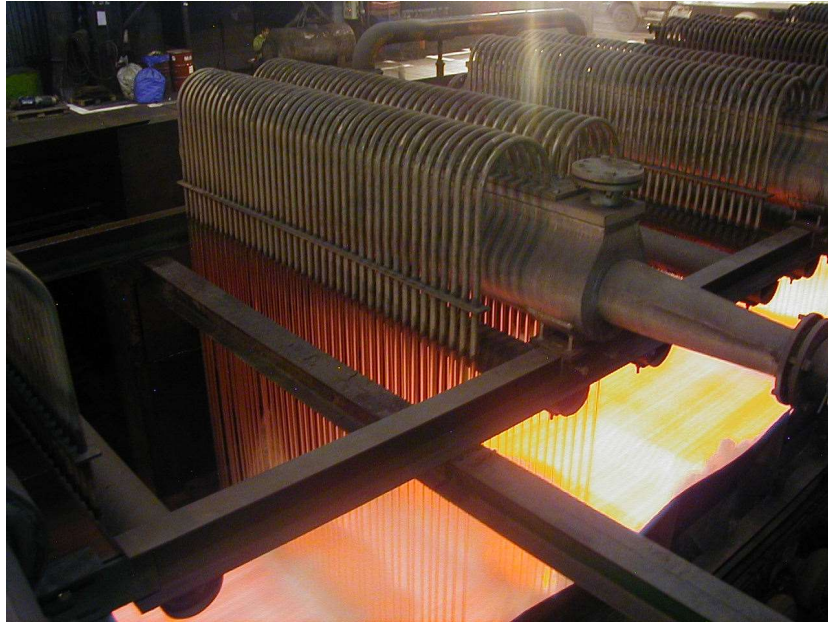
1.1.1. Globális (integrál) jellemzők

Áramlástechnikai gépek és a csatlakozó rendszer üzemének általános megítélése, hibafeltárás (eseti vizsgálatok)



Tömegáram: $q_m = \int_{A_{duct}} \rho \underline{v} \cdot \underline{dA} \approx \rho \sum_{i=1}^n v_{\perp i} \Delta A_i$

Dr. Vad János: Áramlástan mérés technika



Mérési adatok biztosítása
folyamatirányításhoz és automatizáláshoz

Térfogatáram:

$$q_V = \int_{A_{duct}} \underline{v} \underline{dA}$$

Dr. Vad János: Áramlástan mérés technika

1.1.2. Lokális jellemzők, az áramlás részleteinek jellemzése

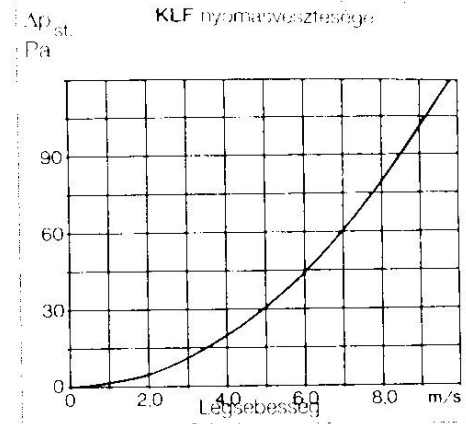
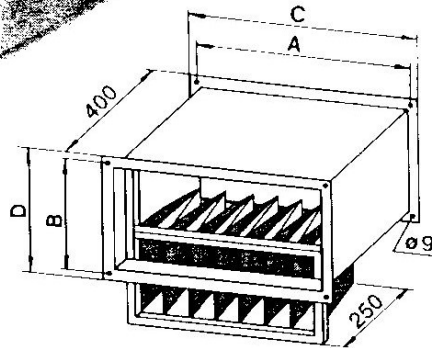
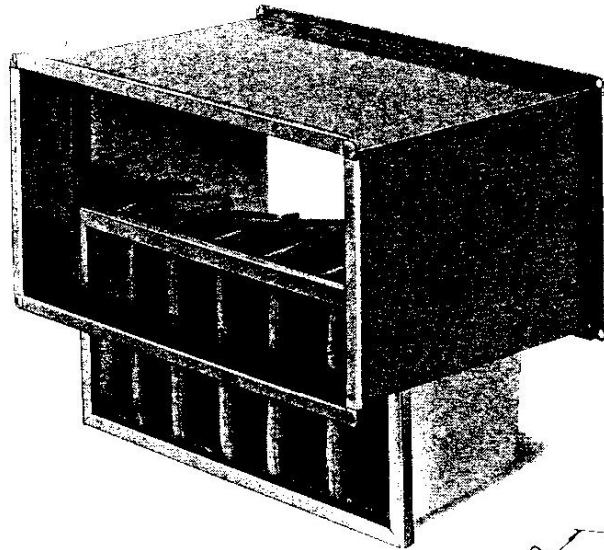
Hibafeltárás; üzemállapot ellenőrzése



Dr. Vad János: Áramlástan mérés technika

Mérési adatok biztosítása ipari folyamatirányításhoz

KLF



□ Nyomásvesztés KLF-nél

A légszűrő tiszta állapotban a fenti diagram szerint nyomásvesztést okoznak. Ezt a ventilátor kiválasztásánál figyelembe kell venni.

■ Tartozék

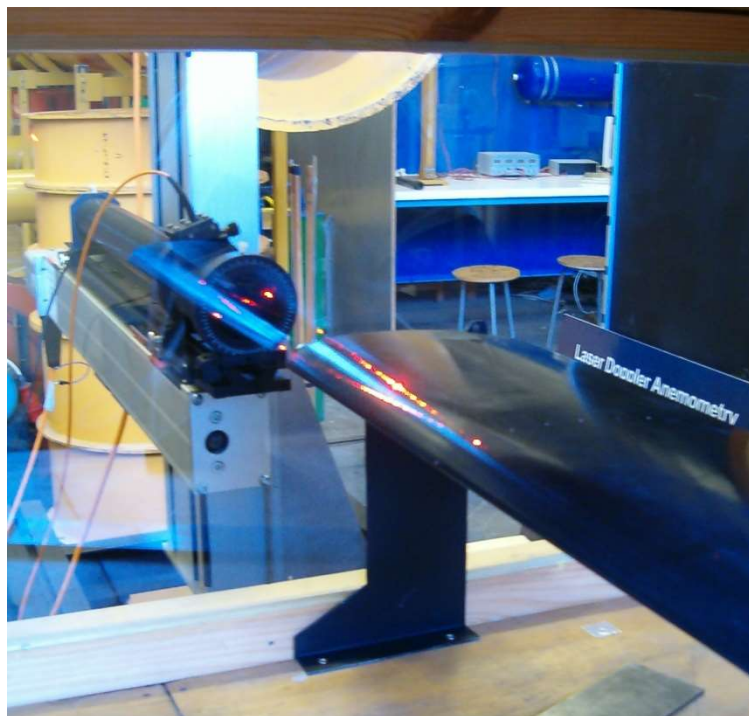
Nyomáskülönbőség kapcsoló

DDS

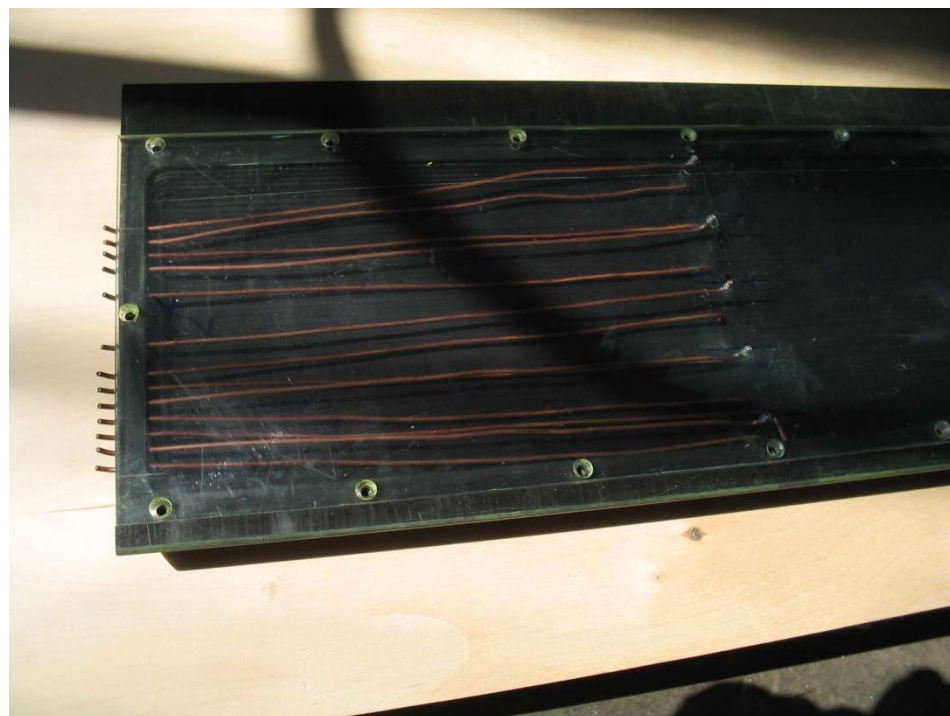
Rend.szám 0445

Légszűrők felügyeletét szolgáló komplett mérő-kapcsoló egység: mérési tartomány 100-1000 Pa-ig.

Mérés-alapú kutatás-fejlesztés (K+F)

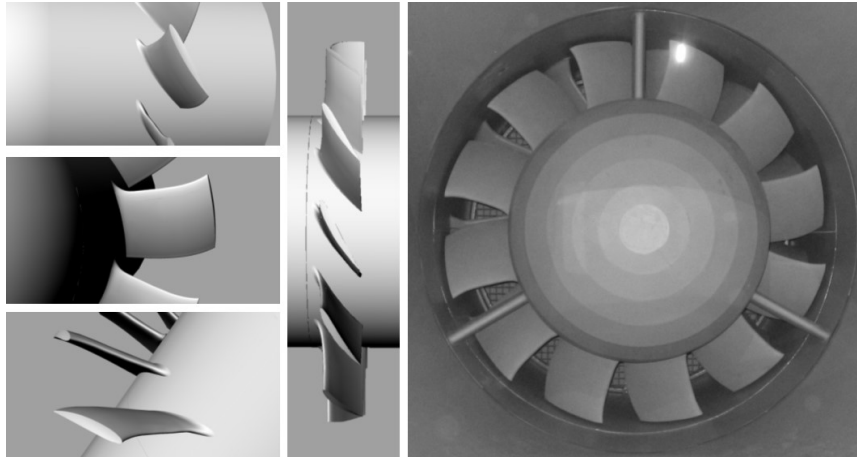


Lézer Doppler sebességmérő (LDA)
(0,1 mm mérőtérfogat, hiba < 1%)

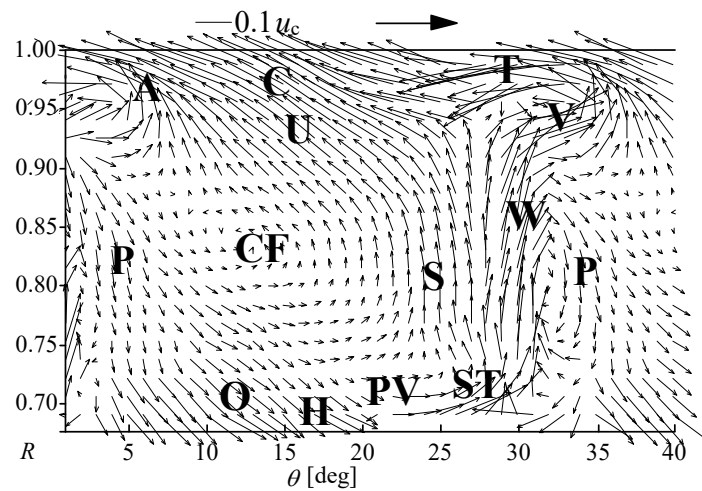


Statikus nyomás-megcsapolások

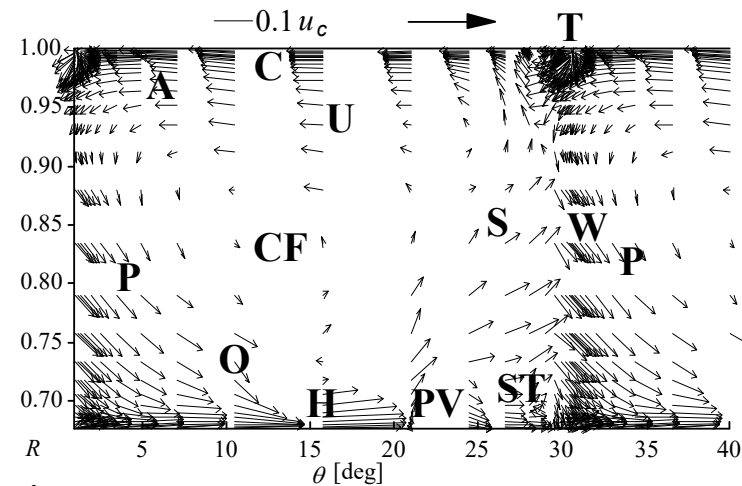
Numerikus áramlástan (Computational Fluid Dynamics, CFD) eszközök mérési validációja



LDA:



CFD:



Dr. Vad János: Áramlástan mérés-technika

1.2. Tárgyalt mennyiségek

Ipari alkalmazásokhoz és K+F-hez kötődően:

Globális jellemzők:

- Térfogatáram
- Tömegáram

Lokális jellemzők:

Skalárjellemzők:

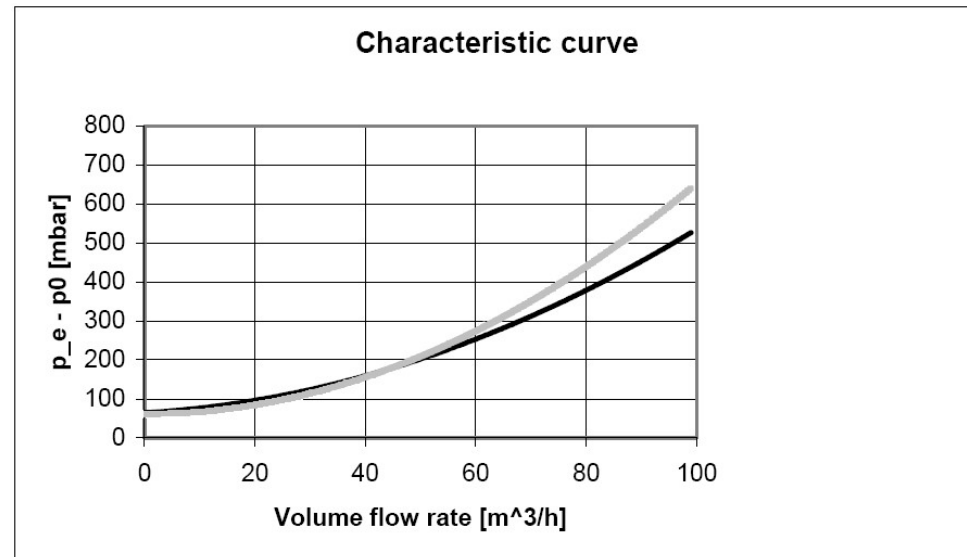
- Nyomás (időben átlagolt, időben változó)
- Hőmérséklet

Vektorjellemzők:

- Sebesség (időben átlagolt)

Paradoxon: „Tudnunk kell az eredményt, mielőtt nekikezdünk.”

“Elmélet nélkül hallgatnak a tények.”



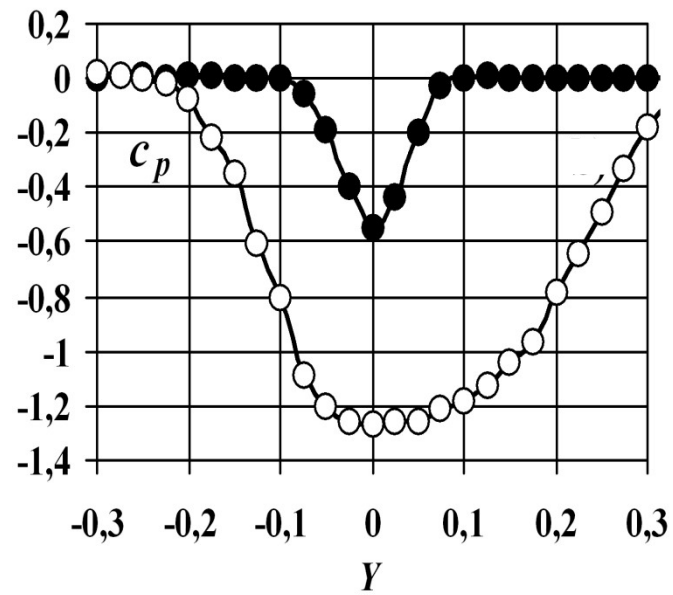
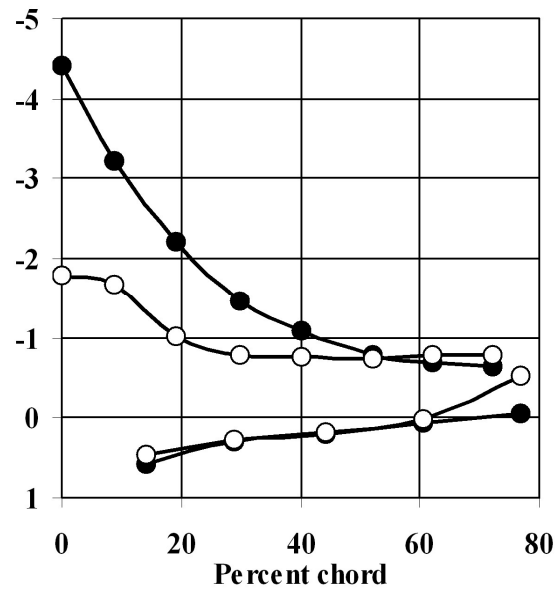
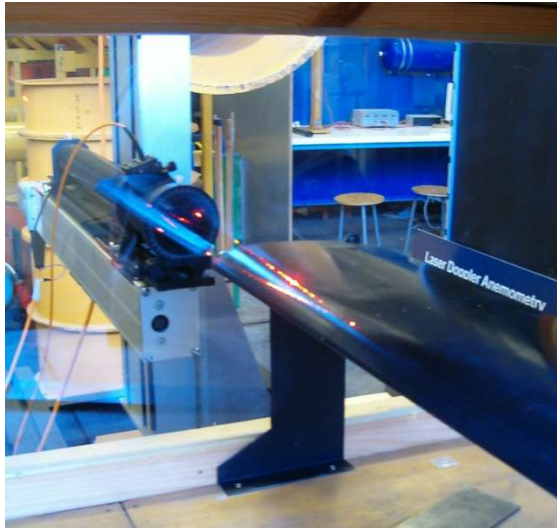
2. IDŐBELI ÁTLAGNYOMÁS MÉRÉSE

2.1. Statikus nyomás

A zavartalan áramlásban uralkodó nyomás
– „párhuzamos áramvonalak”

2.1.1. *Gyakorlati alkalmazások: példák*

- Áramlási veszteségek megítélése
- K+F
- A dinamikus nyomás \Rightarrow sebesség meghatározásához



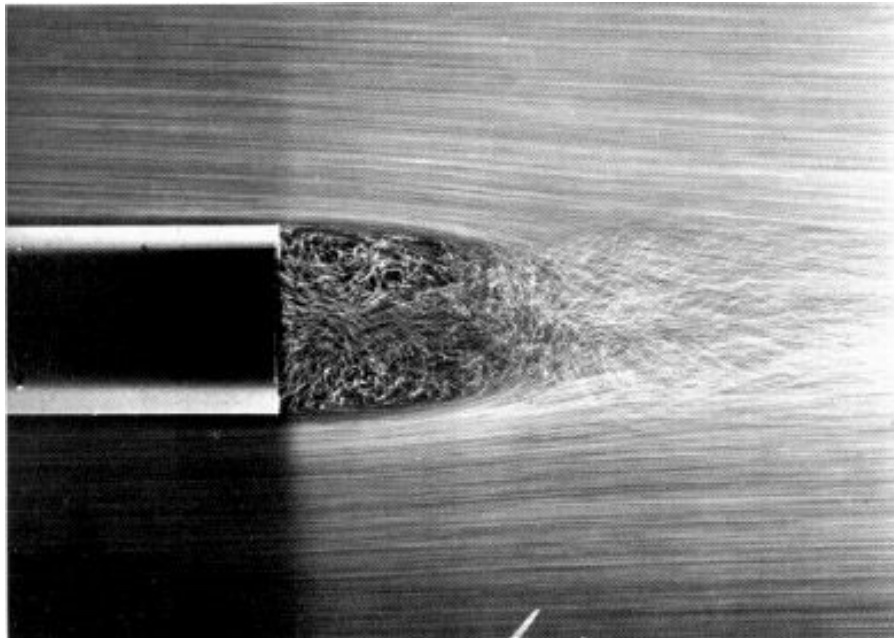
Statikus nyomástényező a húr mentén (b), a nyomban (j)

2.2. Össznyomás

A megállított közeg nyomása (torlóponti nyomás)

2.2.1. ***Gyakorlati alkalmazások: példák***

- Áramlási veszteségek megítélése
- A dinamikus nyomás \Rightarrow sebesség meghatározásához



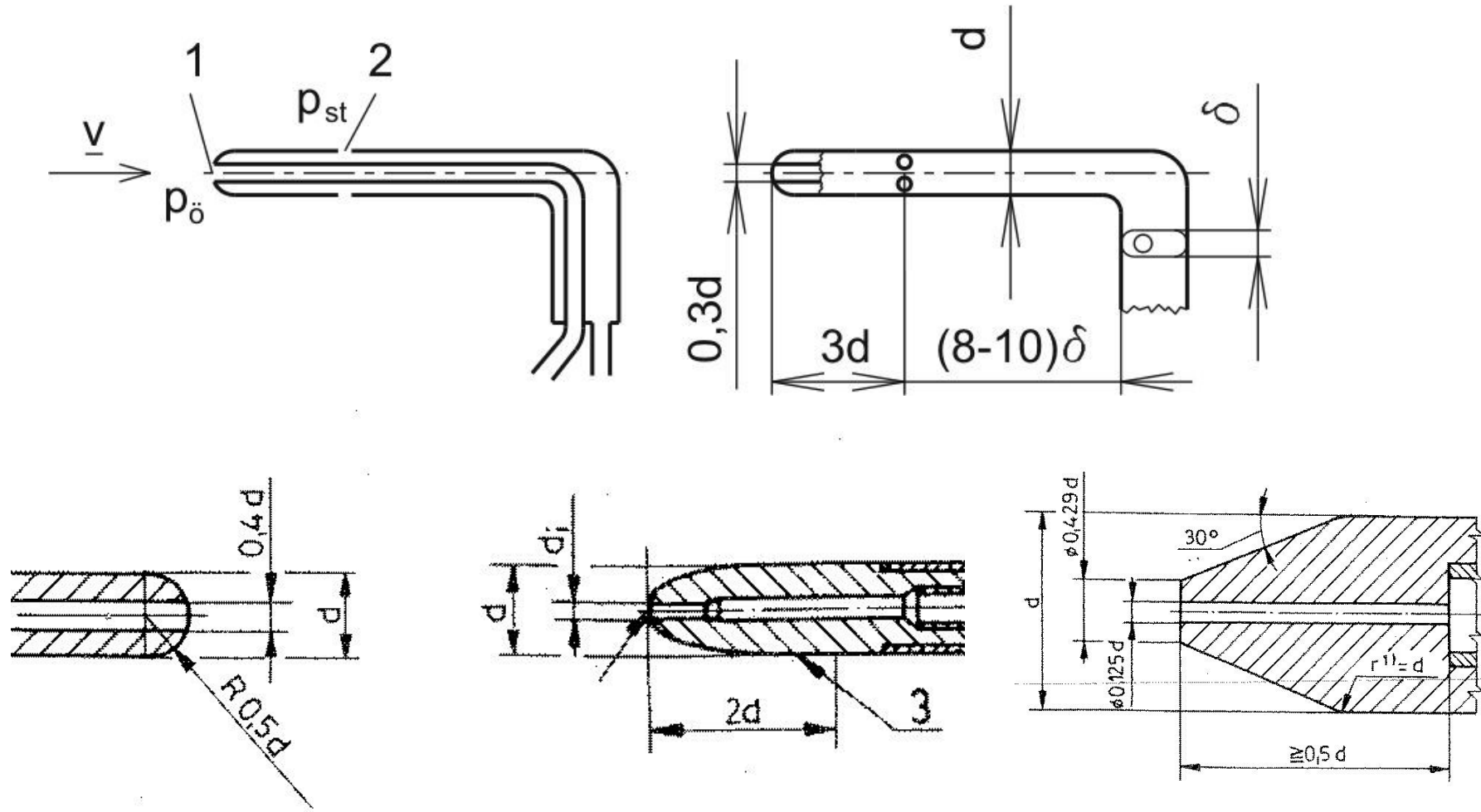
2.3. Dinamikus nyomás

2.3.1. Gyakorlati alkalmazások: példák

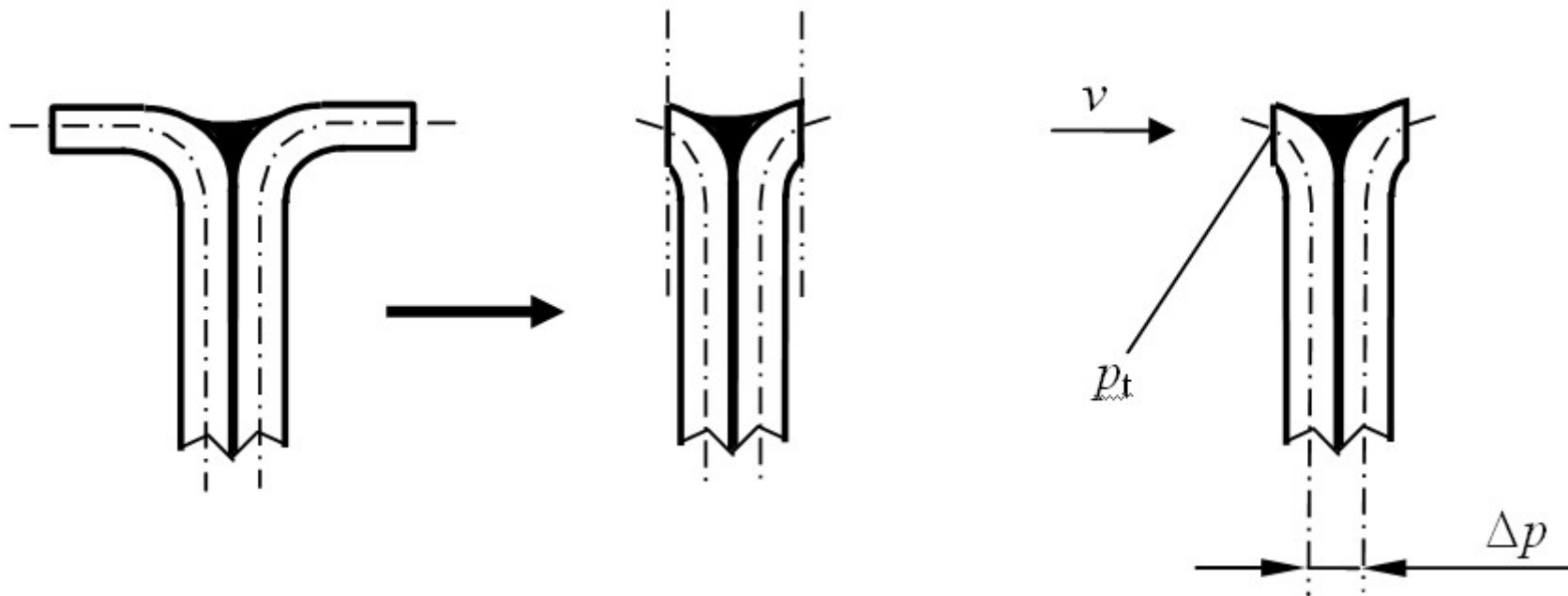
$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_{dynamic})} = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_t - p)} \quad \rho = \frac{p}{RT}$$

2.3.2. Mérési elv

•Pitot-statikus szonda (Prandtl-cső)



•S-szonda

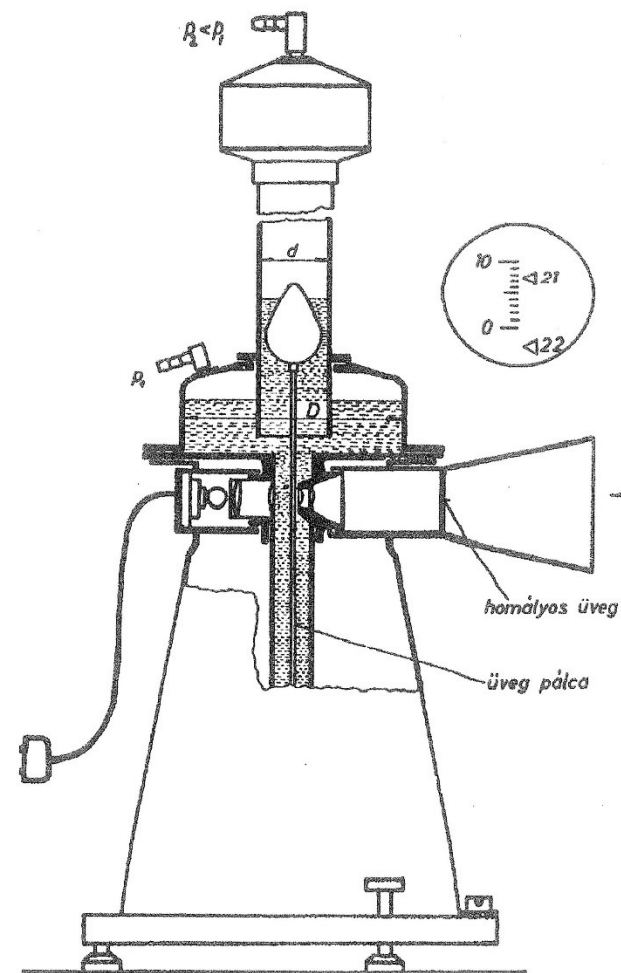


- „Nullázás” → irány
- 90°elfordítás

$$v = k \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

2.4. Nyomáskülönbség-távadók (nyomásszenzorok, manométerek)

- Folyadékös mikromanométerek



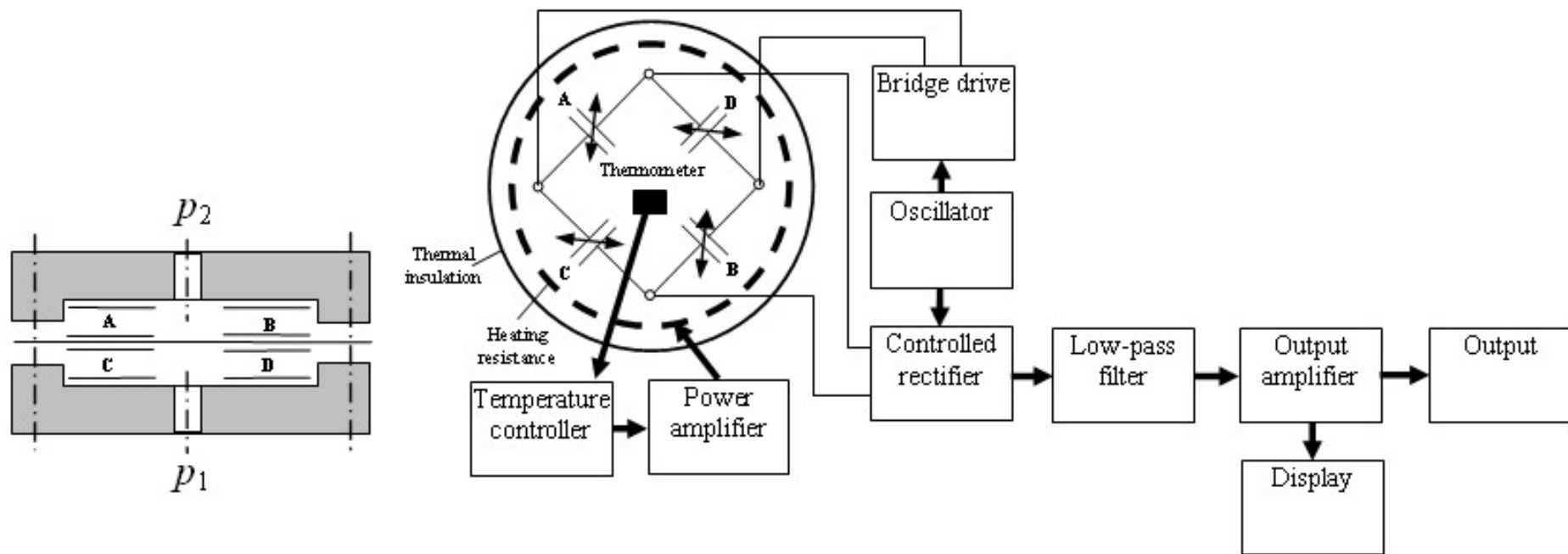
Betz manométer

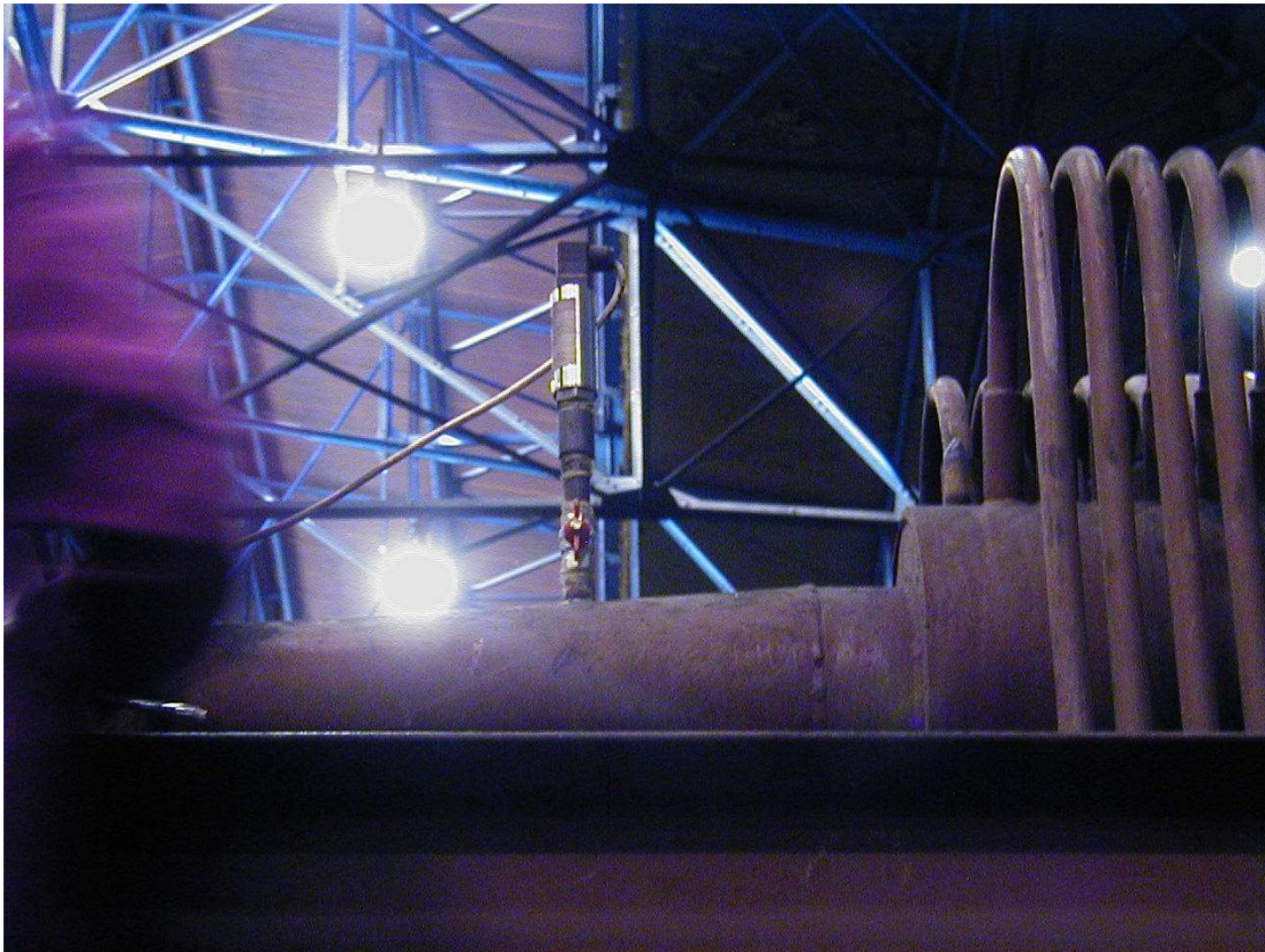
- Membrános manométerek

Villamos kapacitás-elv

NEM KONDENZÁTORMIKROFON! (← időben gyorsan változó nyomás)







Dr. Vad János: Áramlástani mérés technika



Dr. Vad János: Áramlástani mérés technika



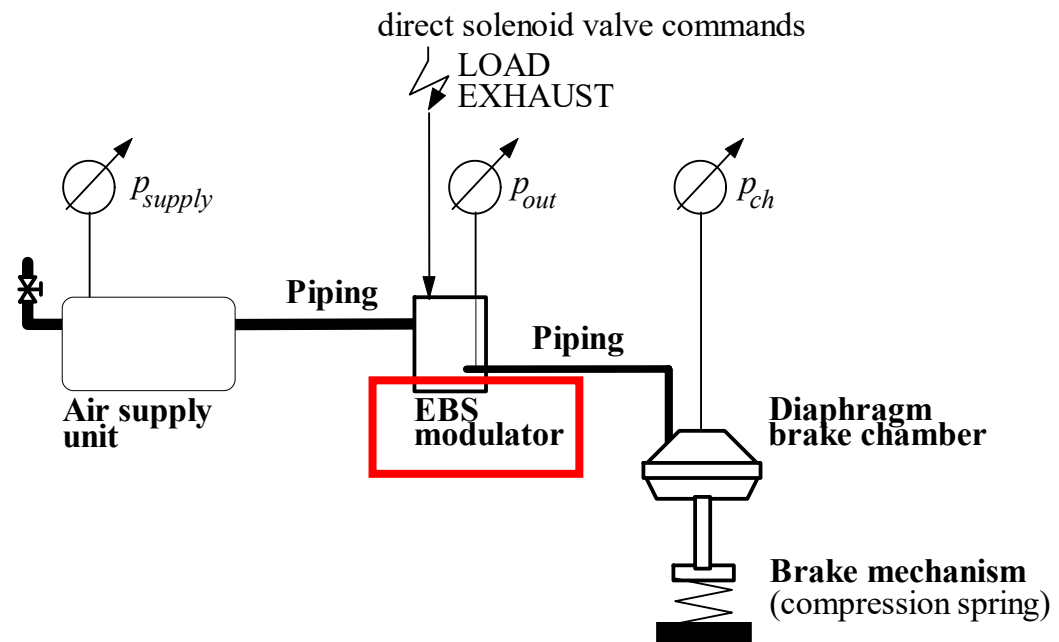
Dr. Vad János: Áramlástani mérés technika

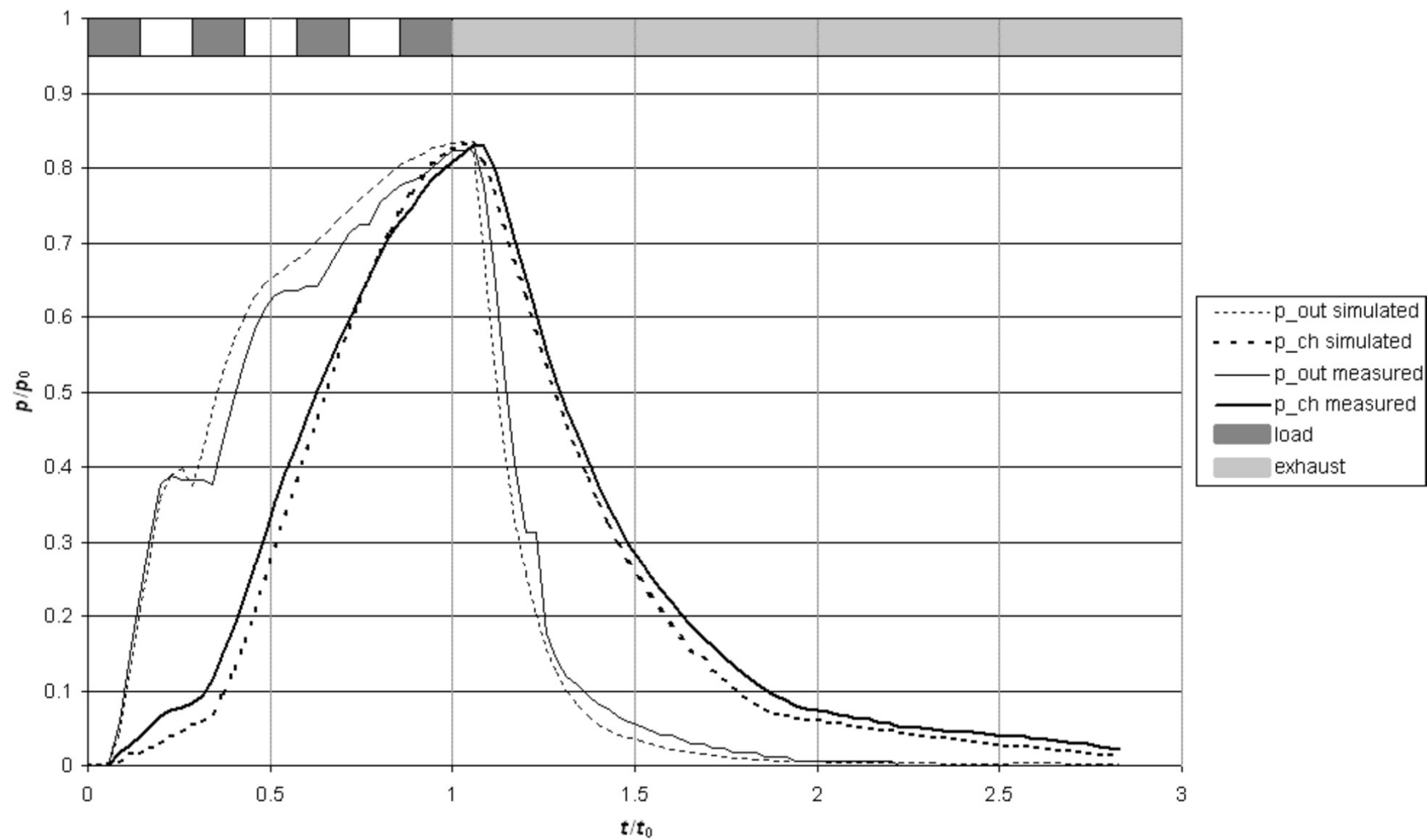
3. IDŐBEN VÁLTOZÓ NYOMÁS MÉRÉSE

3.1. Gyakorlati példák

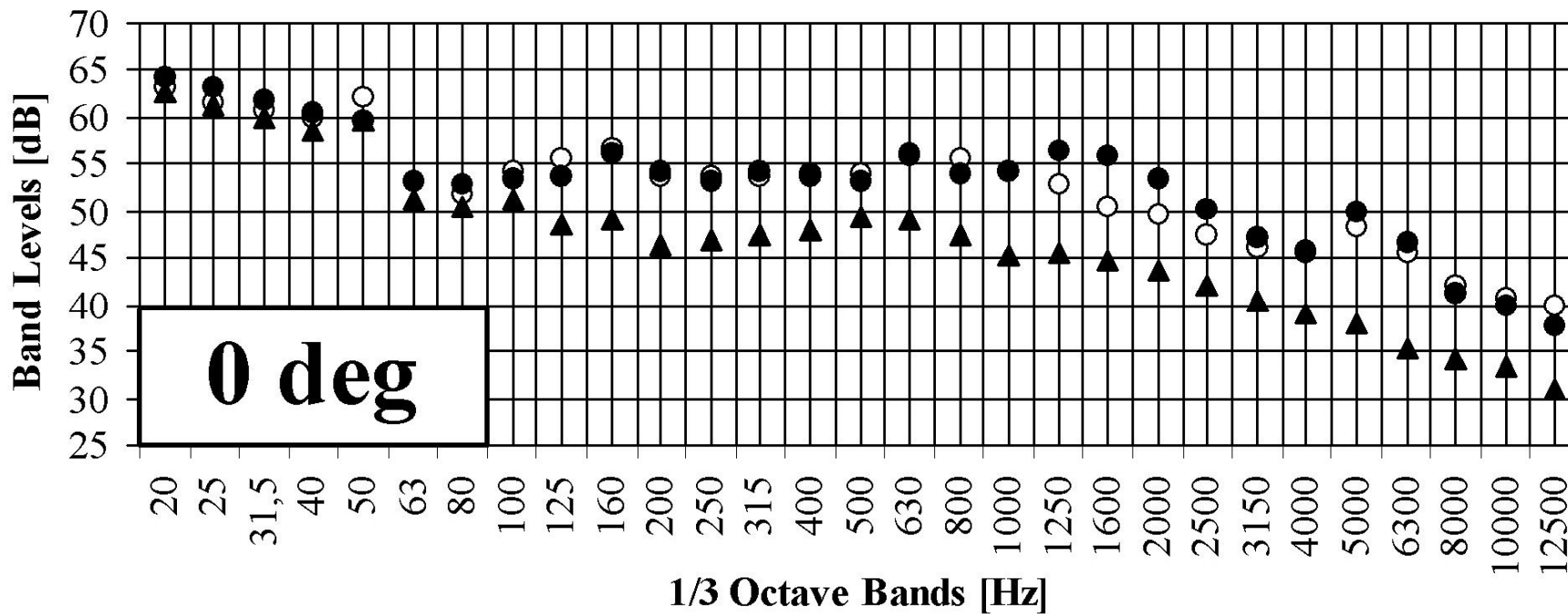
- Időben jelentősen változó technológiai v. egyéb ipari áramlási folyamatok szabályzásában

Nehézgépjárművek elektro-pneumatikus fékrendszerei





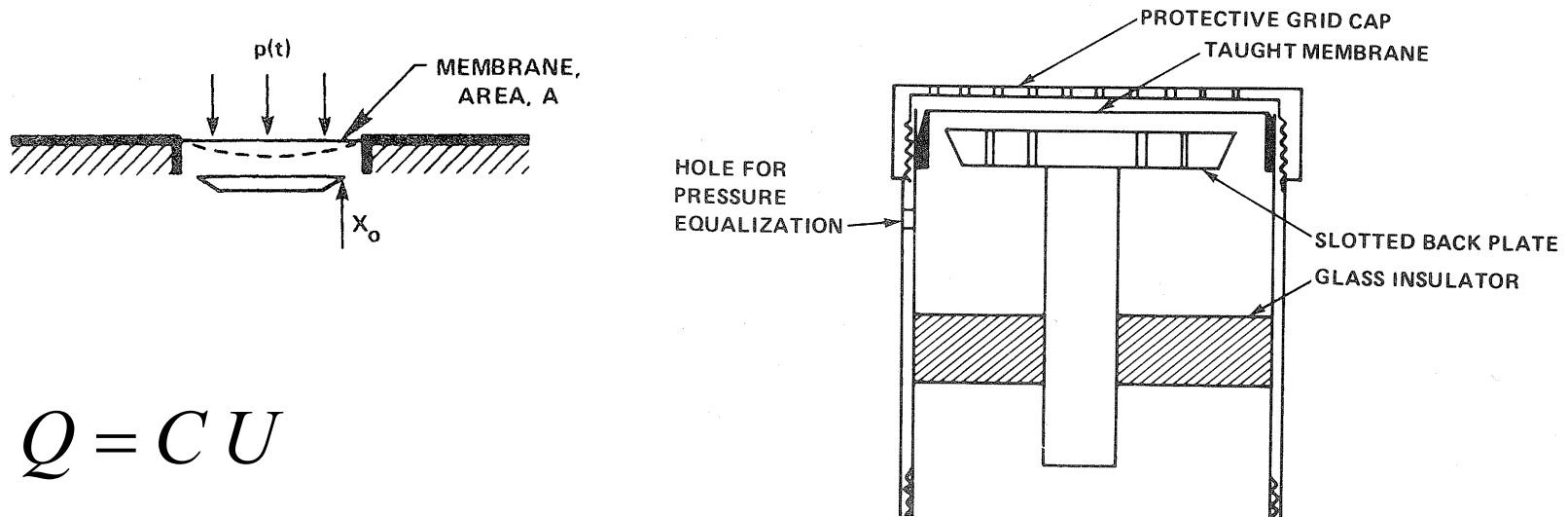
- Akusztika, hangnyomásszint-mérések, hangnyomás spektrális eloszlása



3.2. Műszerek

3.2.1. Kondenzátor-elv (kondenzátor-mikrofon)

NEM MEMBRÁNOS MANOMÉTER! (← időben átlagolt nyomás)



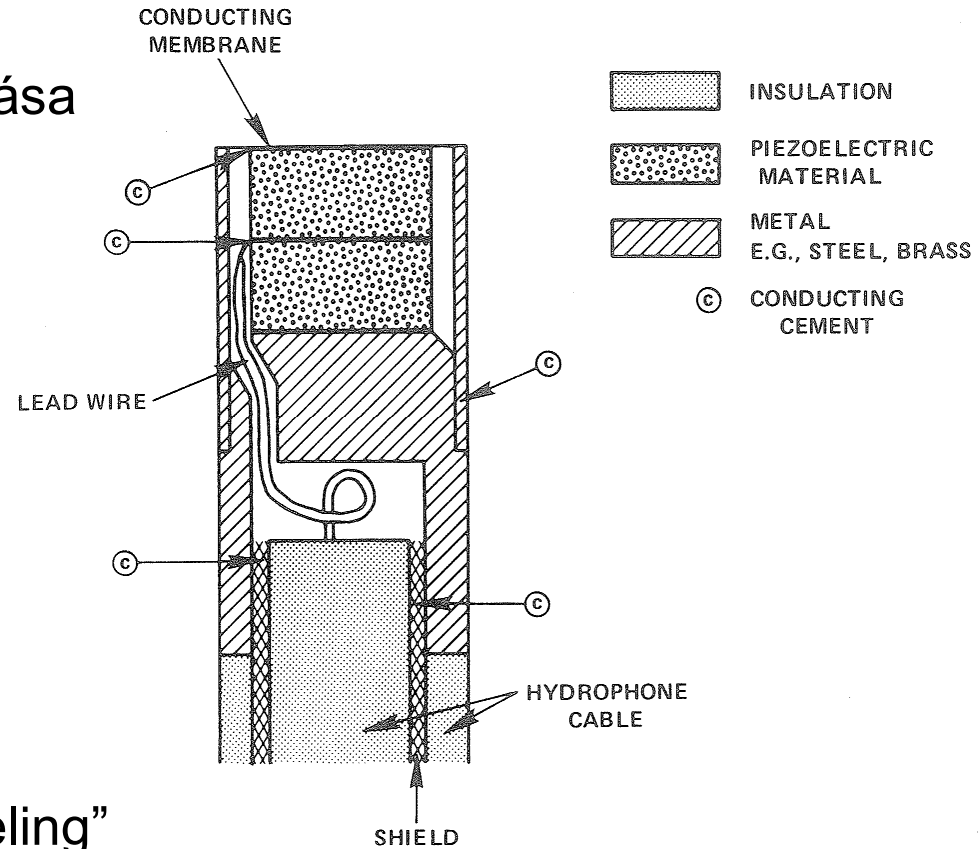
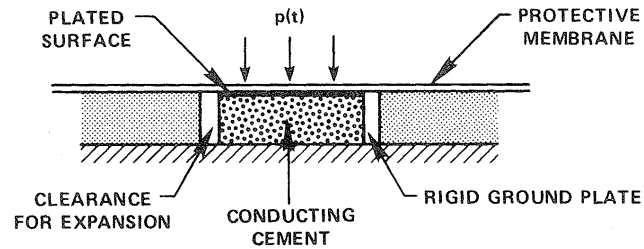
$$Q = C U$$

$$L = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

0 ÷ 120 dB: 6 nagyságrend!

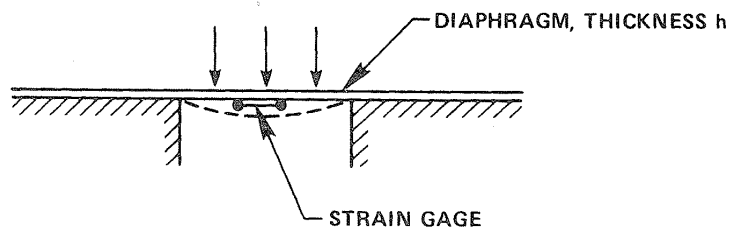
3.2.2. Piezo-induktív elv

- Hidrofonok
- Belsőégésű motorok indikálása

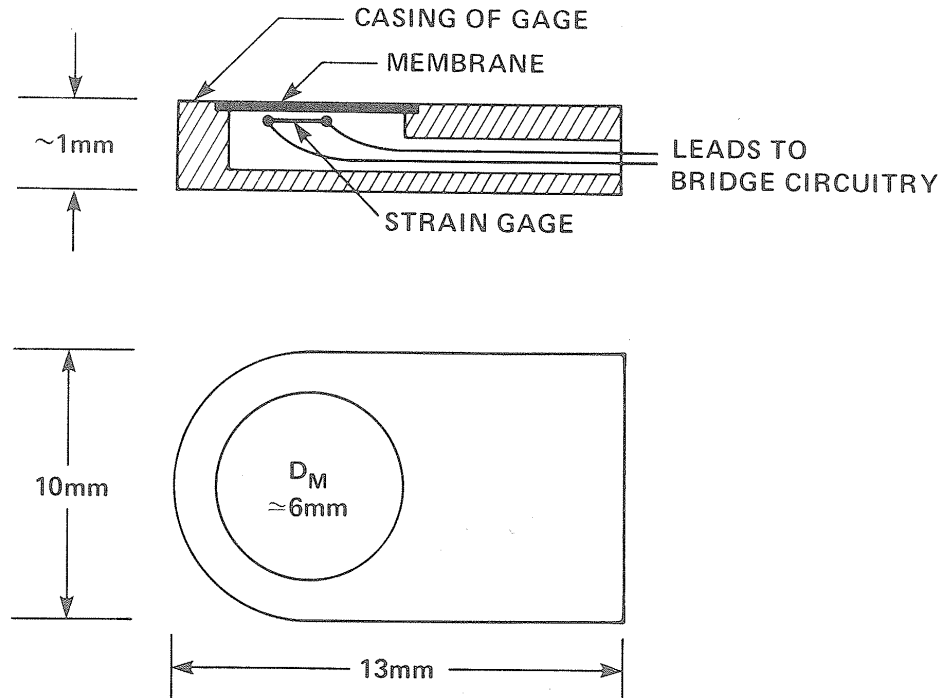


2 kristály: „acceleration canceling”
(mechanikai „sokk” hatásának kiiktatása)
⇔ 1 kristály: gyorsulásmérő!

3.2.3. Piezo-rezisztív elv



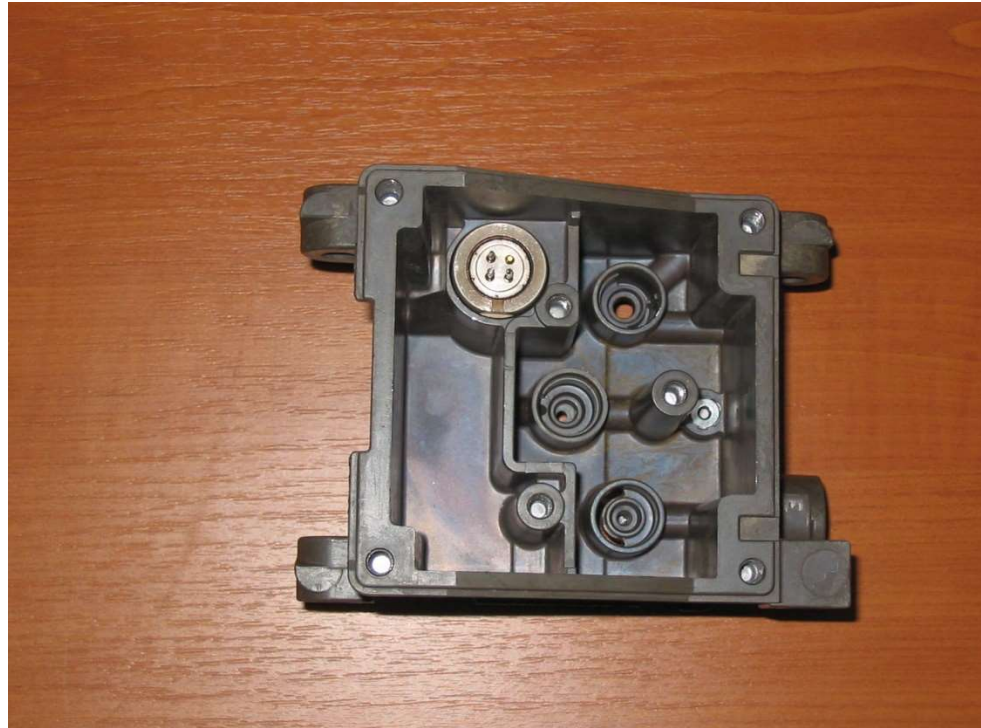
„Nyúlásmérő bélyeg”





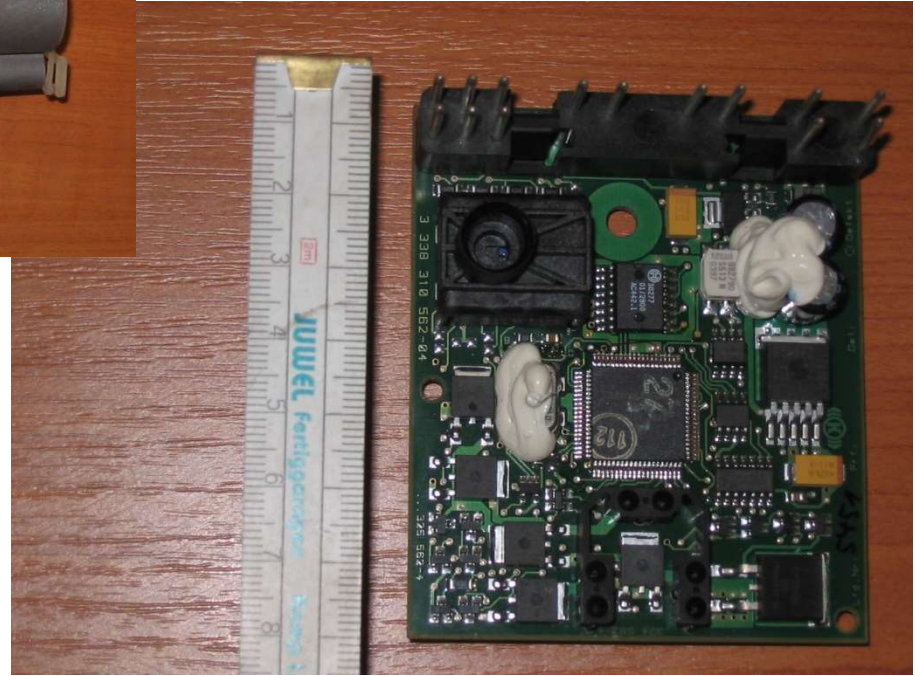
Kulite szenzor

Dr. Vad János: Áramlástartani mérés technika



- EBS modulátorok



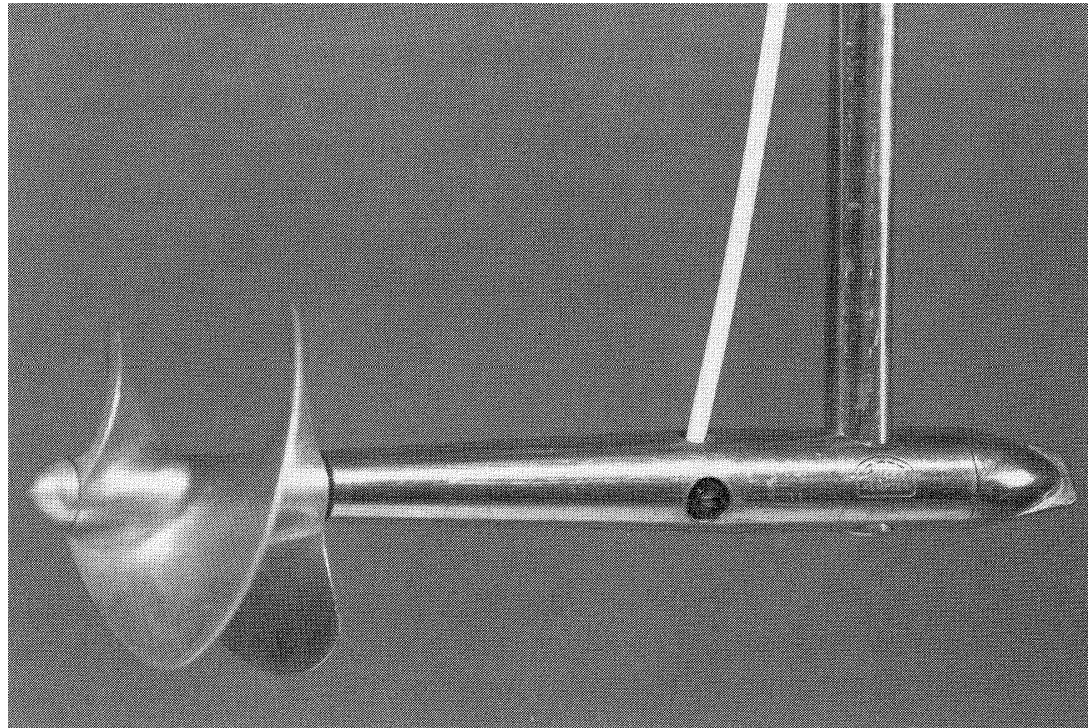


Dr. Vad János: Áramlástan mérés-technika

4. SEBESSÉGMÉRŐK

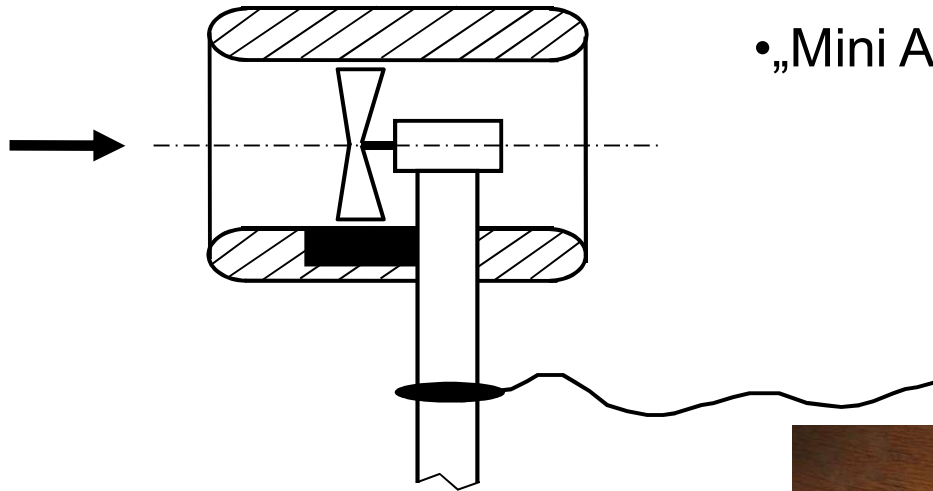
4.1. Turbinás sebességmérők

Cseppfolyós közegre



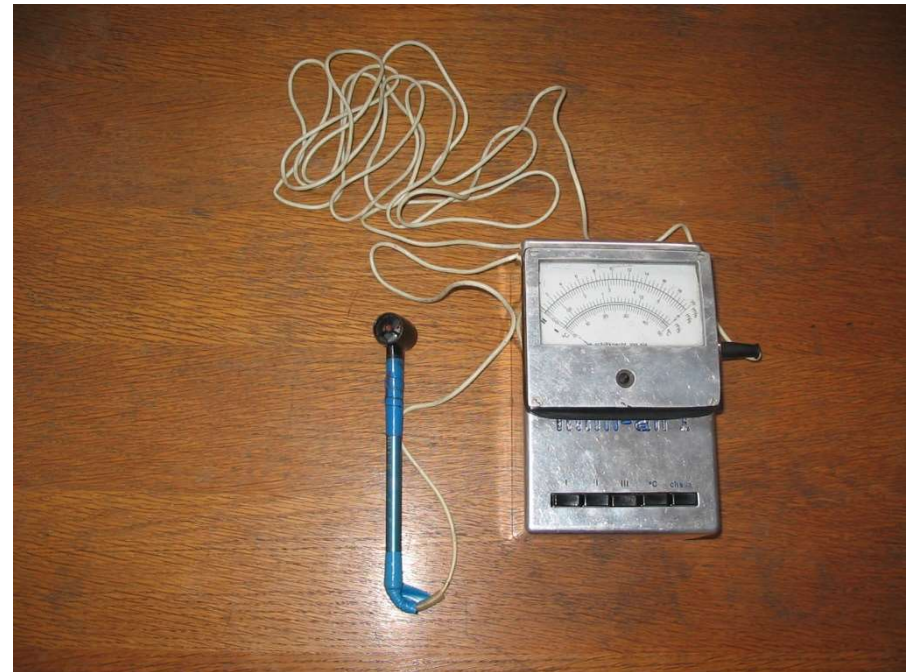
Gáz közegre: **anemométerek**

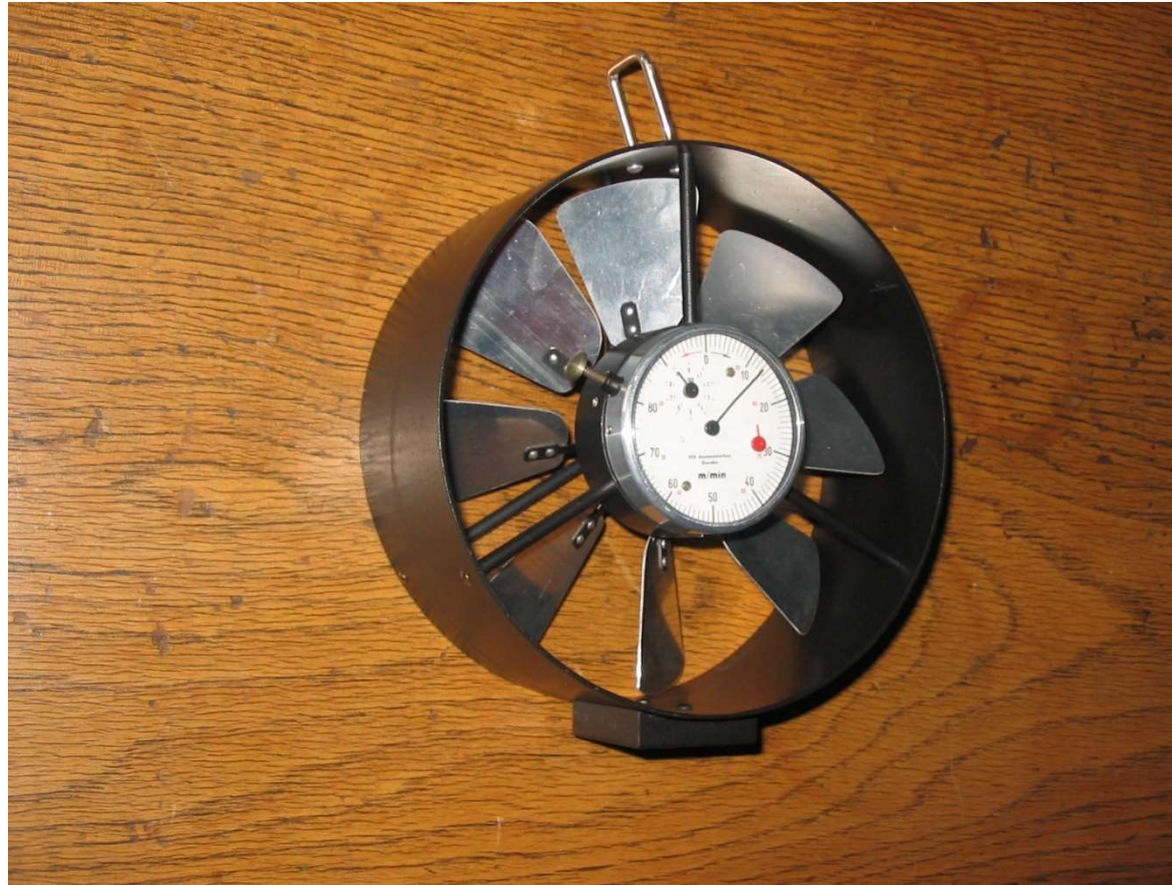
4.1.1. Turbinás (szárnylapátos) anemométer (vane anemometer)



• „Mini Air” – **HELYI SEBESSÉG!**

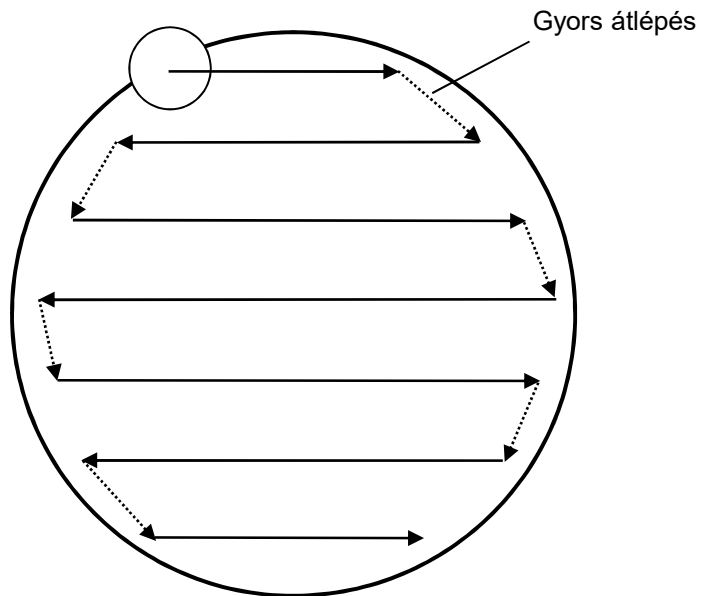
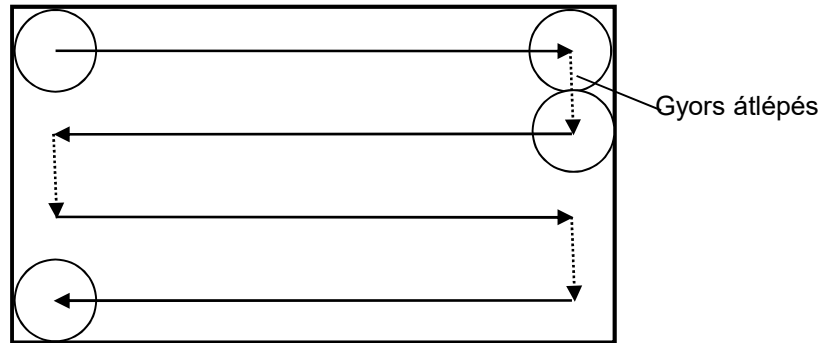
NEM TURBINÁS ÁRAMLÁSMÉRŐ!
(← térfogatáram)





**4.1.2. Szárnykerekes anemométer – NAGYOBB FELÜLETEN
ÁTLAGOLT SEBESSÉG!**

Dr. Vad János: Áramlástan mérés technika

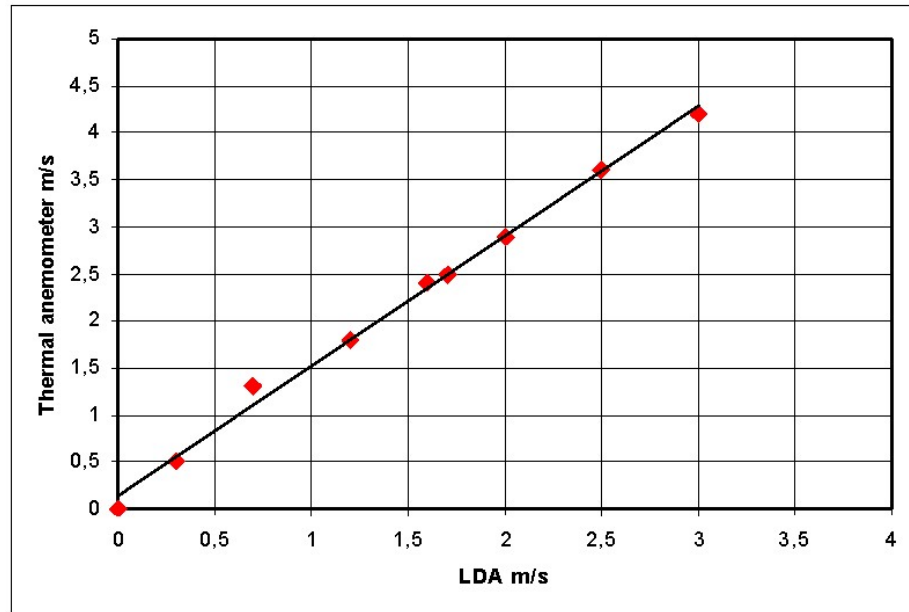


4.2. Termikus anemométerek

Hőgömbös anemométer

(→ gáz-tömegáram mérési elv: termikus áramlásmérők)





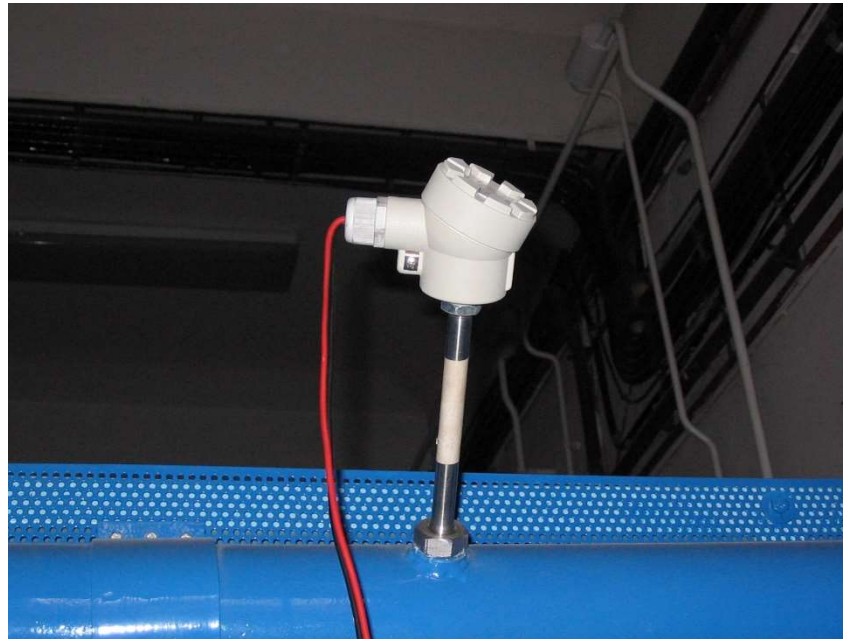
Dr. Vad János: Áramlástani mérés technika

5. HŐMÉRSÉKLETMÉRÉS

5.1. *Példák ipari alkalmazásokra*

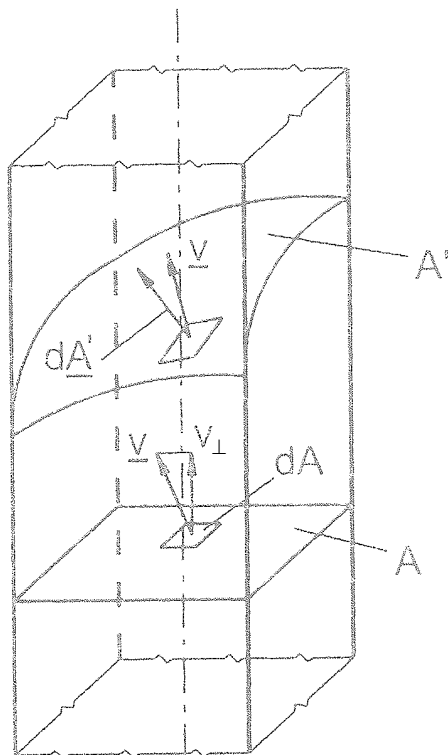
- Áramlási folyamatok jellemzése: ipari technológia, K+F
- Sűrűségmérés számításának alapja: közegek jellemzése, sebesség számítása dinamikus nyomásból

5.2. *Jellegzetes mérési elvek és kivitelek*



Dr. Vad János: Áramlástan mérés technika

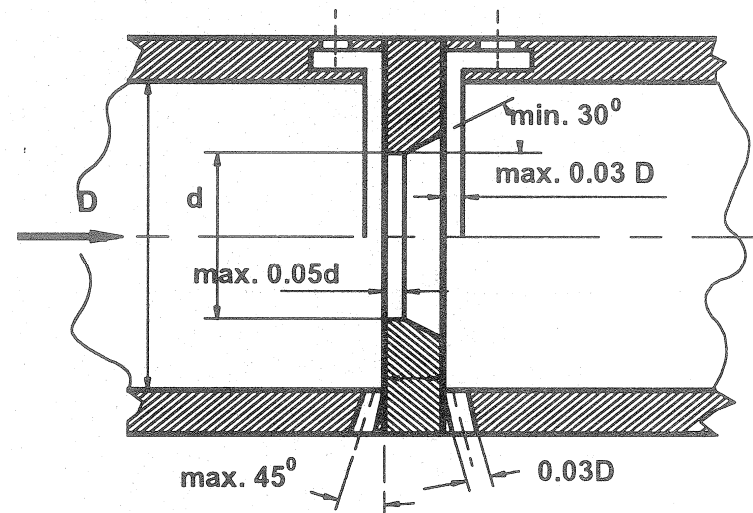
6. Térfogatáram hagyományos mérése - ismétlés



Sebességmérésre visszavezetve

$$q_V = \int_A \underline{v} \underline{dA} \approx \sum_{i=1}^n v_{\perp i} \Delta A_i$$

Alkalmi (esettanulmány-jellegű) mérések, durva becslés (hibafeltárás, állapotfelmérés)



Szűkítőelemes

$$q_V = \alpha \varepsilon \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_m}$$

nagy pontosságú, folyamatos, jogilag védhető mérések (elszámolási mérések, folyamatirányítás stb.)

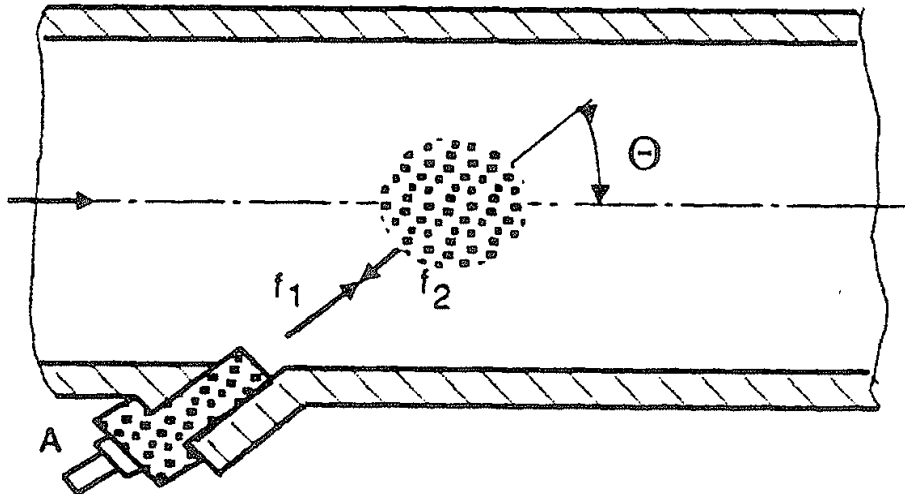
7. „KÜLÖNLEGES” IPARI ÁRAMLÁSMÉRŐK („ÁTFOLYÁSMÉRŐK”): q_v , q_m mérése - PÉLDÁK

7.1. Ultrahangos áramlásmérők

7.1.1. Alkalmazási példák: gázkút, revés víz

7.1.2. Működési elvek

$$f_1 - f_2 = 2 \bar{v} f_1 \frac{\cos \theta}{a}$$

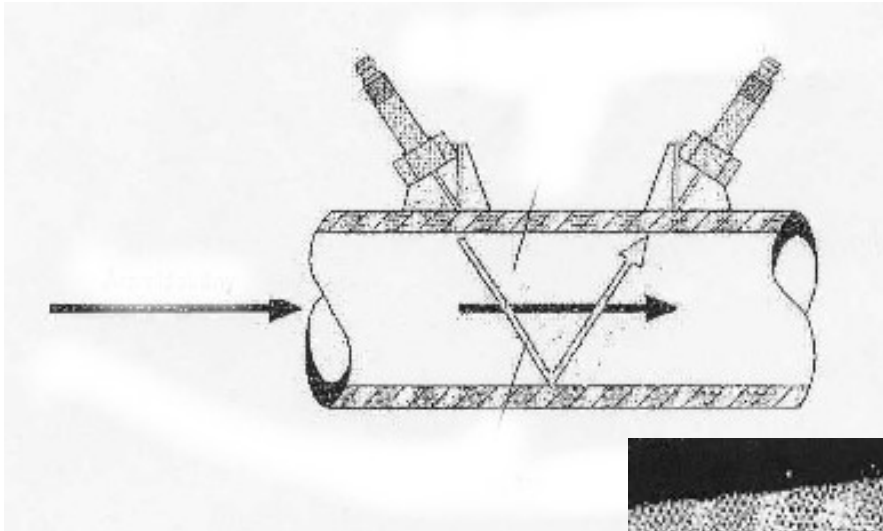


$$\frac{f_1 - f_2}{f_1} \ll 1$$

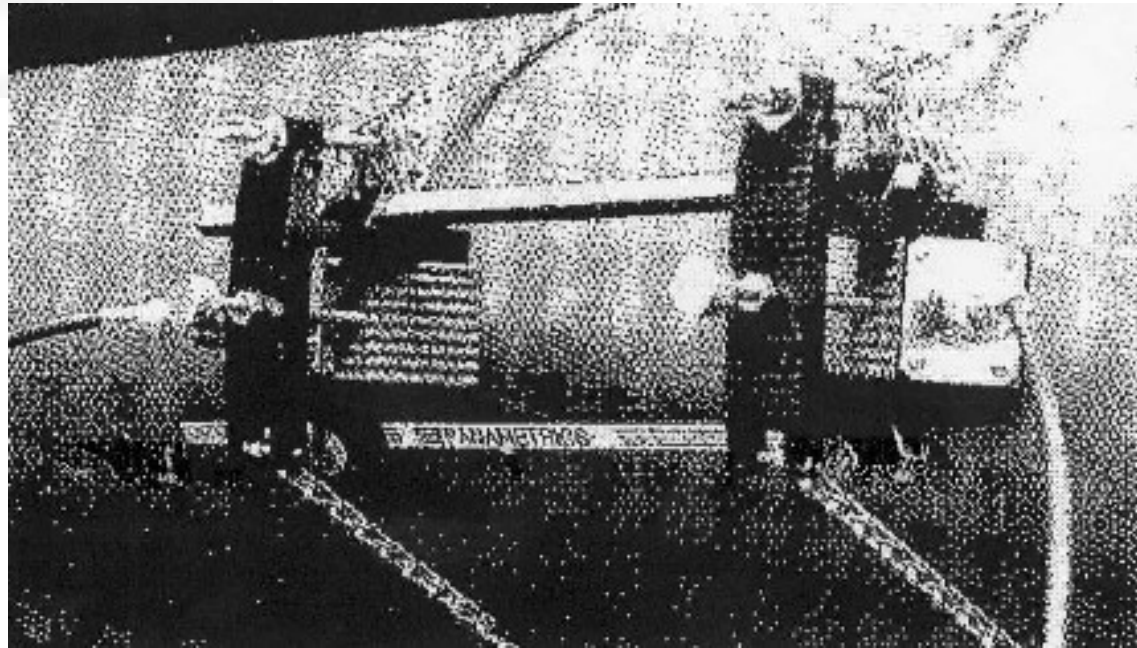
$$q_v = \bar{v} A$$

Pl. Doppler elv

Acélipari alkalmazás (revés víz mérése)



Pl. áthaladási idő mérése oda-vissza



Dr. Vad János: Áramlástan mérés technika

FŐ ELŐNYÖK:

- Érintésmentes
- Nincs nyomásesés
- Hosszú élettartam
- Utólagosan beépíthető
- A mérési elv független a közegsűrűségtől

FŐ KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:

„Egyenes útvonalon átlagol sebességet” → A relatív mérési hiba nagyságrendje néhány (1 – 2) % vagy még több lehet

⇔ Több szenzor a keresztmetszetben

A közeg akusztikai „átláthatósága” szükséges

További különleges áramlásmérők (pl.):

Magneto-induktív (MHD)

Kapacitív keresztkorrelációs

Örvényhagyó (vortex)

Coriolis

Lebegőtestes (rotaméter)

Turbinás

Volumetrikus

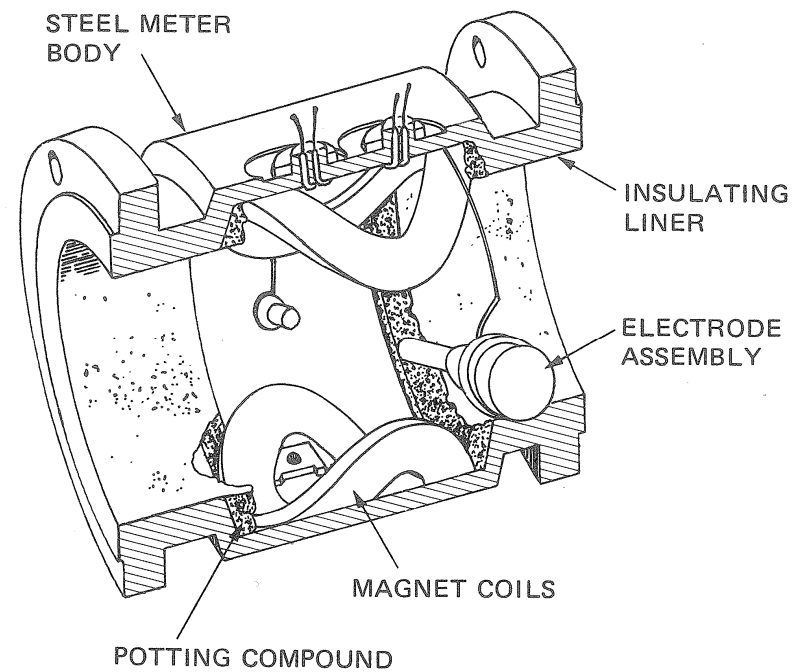
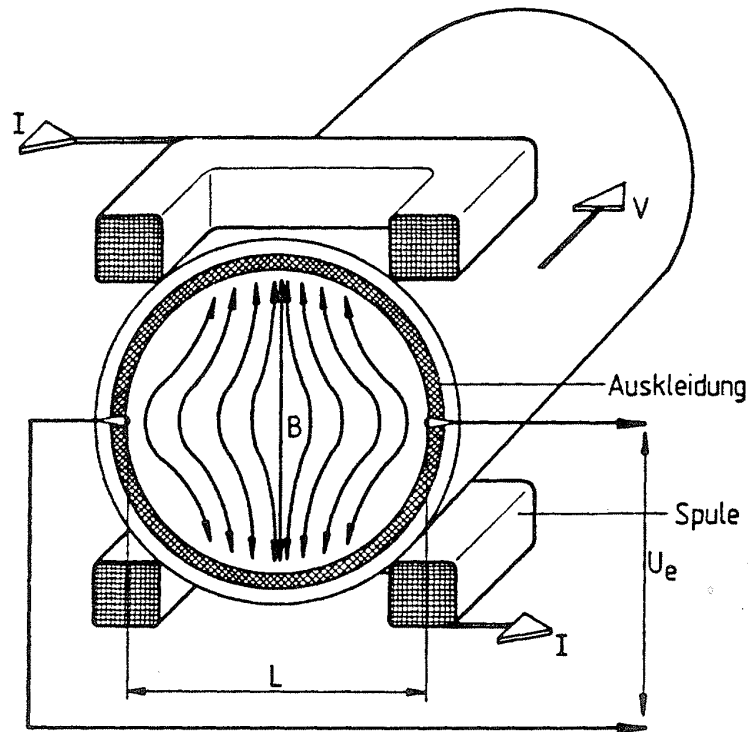
7.2. Magneto-induktív (magneto-hidrodinamikus, MHD) áramlásmérők

7.2.1. Alkalmazási példák: iszap, papírpép

$$u = B L v \qquad q_V = \frac{u D \pi}{4 B}$$

7.2.2. Mérési elv és kivitel

Faraday effektus





Integral Flowmeter

Karimás



Remote Flowtube

„Szendvics”

FŐ ELŐNYÖK:

- Adott vezetőképességi határ felett a mérési elv NEM függ a közeg vezetőképességétől
- A mérési elv független a közegnyomástól, sűrűségtől, hőmérséklettől, kinematikai viszkozitástól
- Minimális függés a sebességprofiltól \Rightarrow erősen zavart áramlások mérése
- Nincs nyomásveszteség, érintésmentes
- Nagy, szavatolt pontosság (relatív hiba 0.2 - 1 %)

FŐ KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:

Elektromos vezetőképesség szükséges \Rightarrow csak cseppfolyós közegek, kivéve petrokémiai termékeket (olaj, gázolaj, stb.)

7.3. Örvényhagyó (Vortex) áramlásmérők

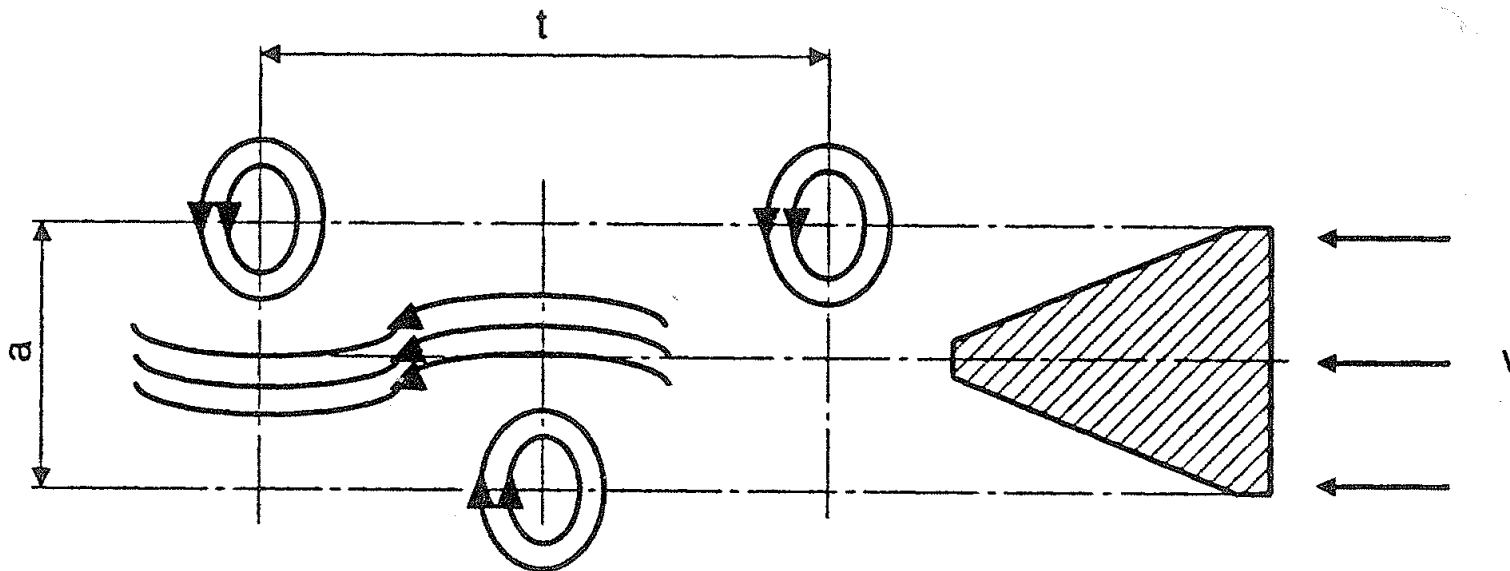
7.3.1. Alkalmazási példák: tiszta gáz, gőz

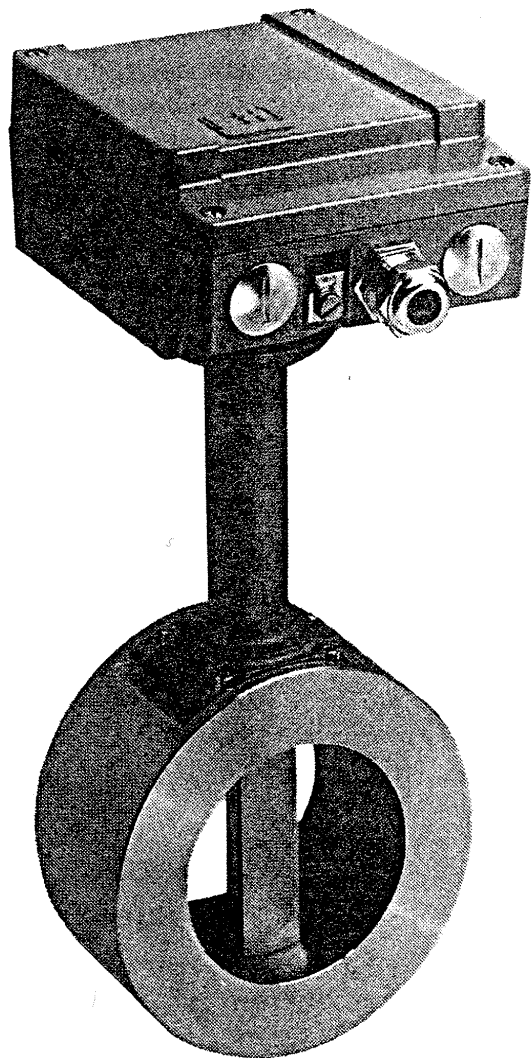
7.3.2. Mérési elv

$$Str = \frac{f \cdot d}{\nu}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

$$v = \frac{d}{Str} \cdot f$$





Dr. Vad János: Áramlástani mérés technika

FŐ ELŐNYÖK:

- A sűrűségnek és kinematikai viszkozitásnak közvetlen hatása nincs
- Mérsékelt beruházási költségek
- Mérsékelt hiba (1 % alatt)
- Kis nyomáscsökkenés

FŐ KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:

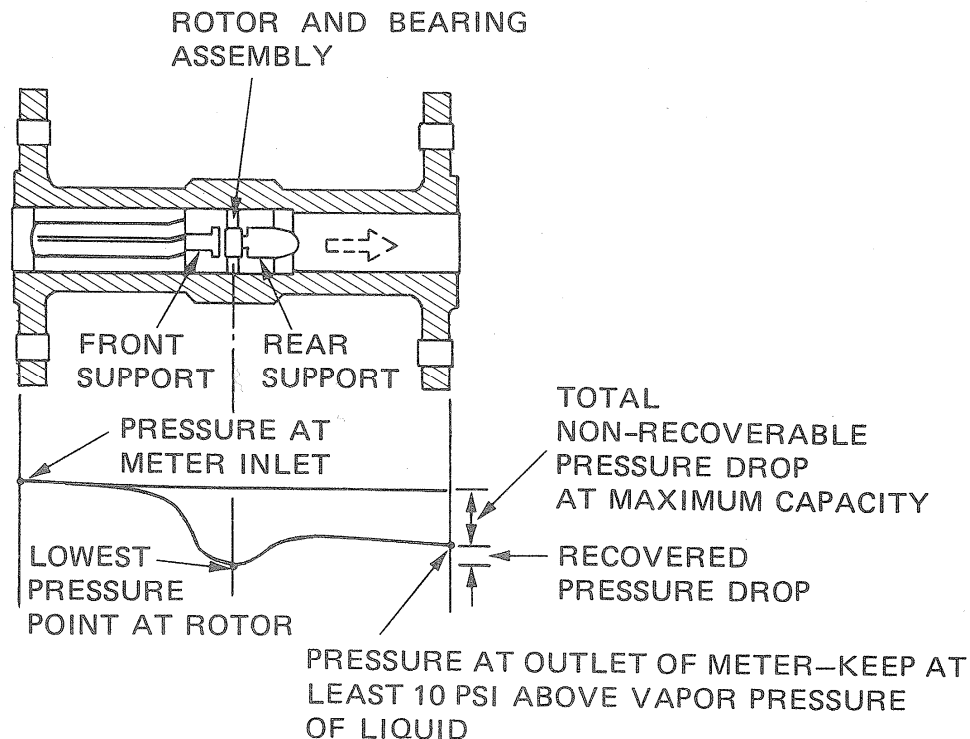
- Ha nincs örvényleválás, nincs mérés \Leftrightarrow Szűkítés
- Egyfázisú áramlás szükséges
- Függés a sebességprofiltól \Leftrightarrow Bevezető szakasz

7.4. Turbinás áramlásmérők

7.4.1. Alkalmazási példa: petrokémiai ipar, kőolajtermékek

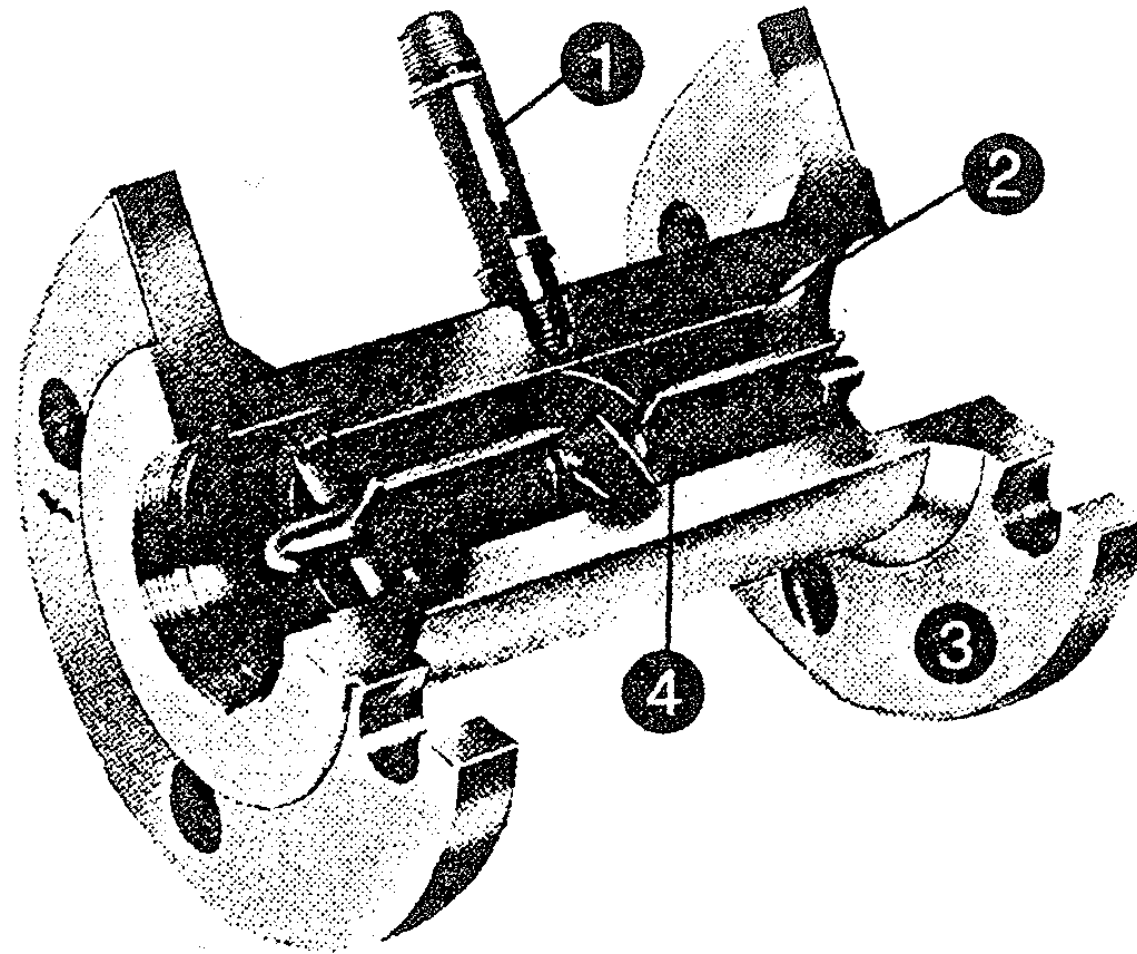
NEM TURBINÁS SEBESSÉGMÉRŐ! (← helyi ill. felületen átlagolt sebesség)

7.4.2. Elv



$$v = 2 r \pi n c t g \alpha$$

Korrekción, kalibráció



Dr. Vad János: Áramlástani mérés technika

FŐ ELŐNYÖK:

- Nagy pontosság adott viszkozitásra
- Nagy rendszernyomásokra
- Elektromosan szigetelő közegekre
- Széles térfogatáram-mérési tartomány

FŐ KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:

A súrlódás hatásának ismerete szükséges \Leftrightarrow Kalibráció

Zavartalan egyenes bevezető csőszakasz szükséges

Nem alkalmazható perdületes áramlásra \Leftrightarrow egyenirányító

Nem alkalmazható szilárd részecskéket tartalmazó közegre

7.5. Coriolis áramlásmérők

7.5.1. Alkalmazási példák: vegyipar

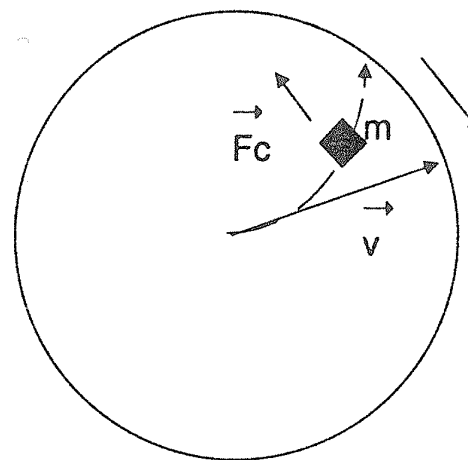
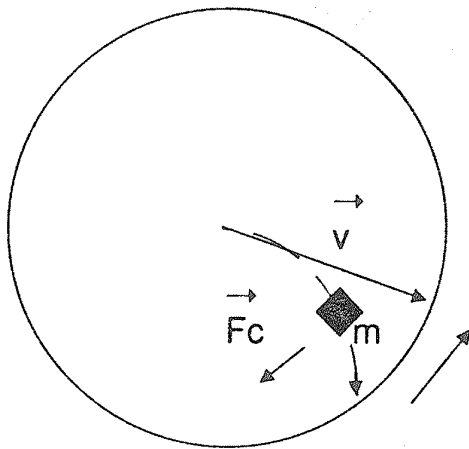
7.5.2. Mérési elv és kivitelek

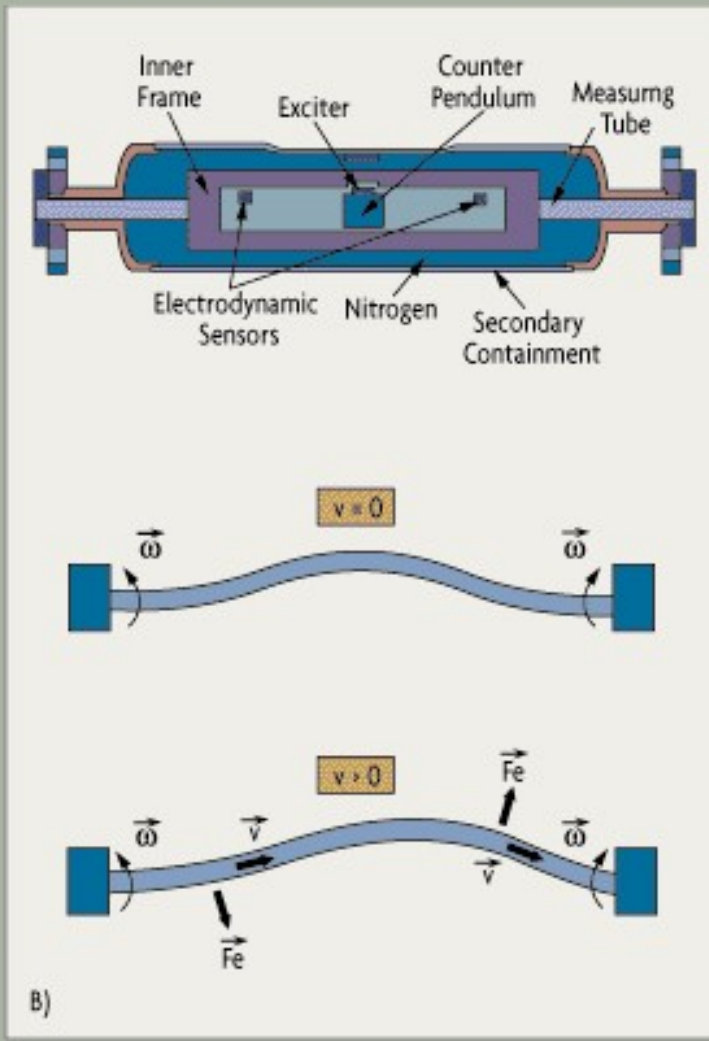
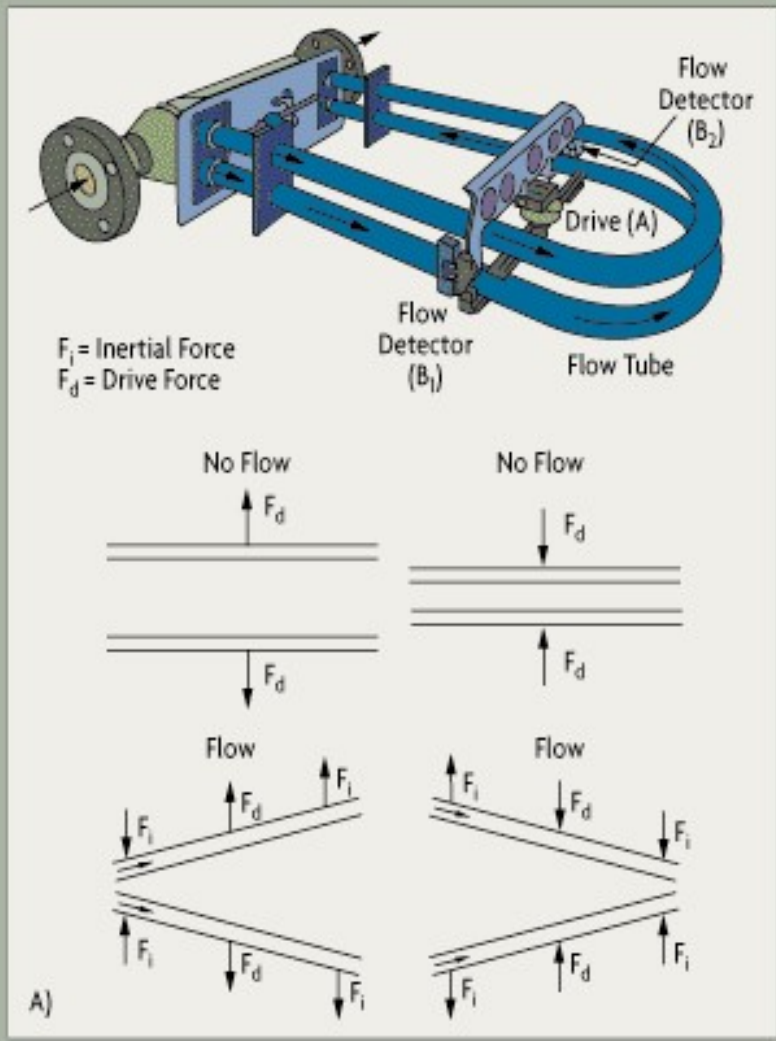
$$\underline{F}_C = m \cdot 2\underline{v} \times \underline{\omega}$$

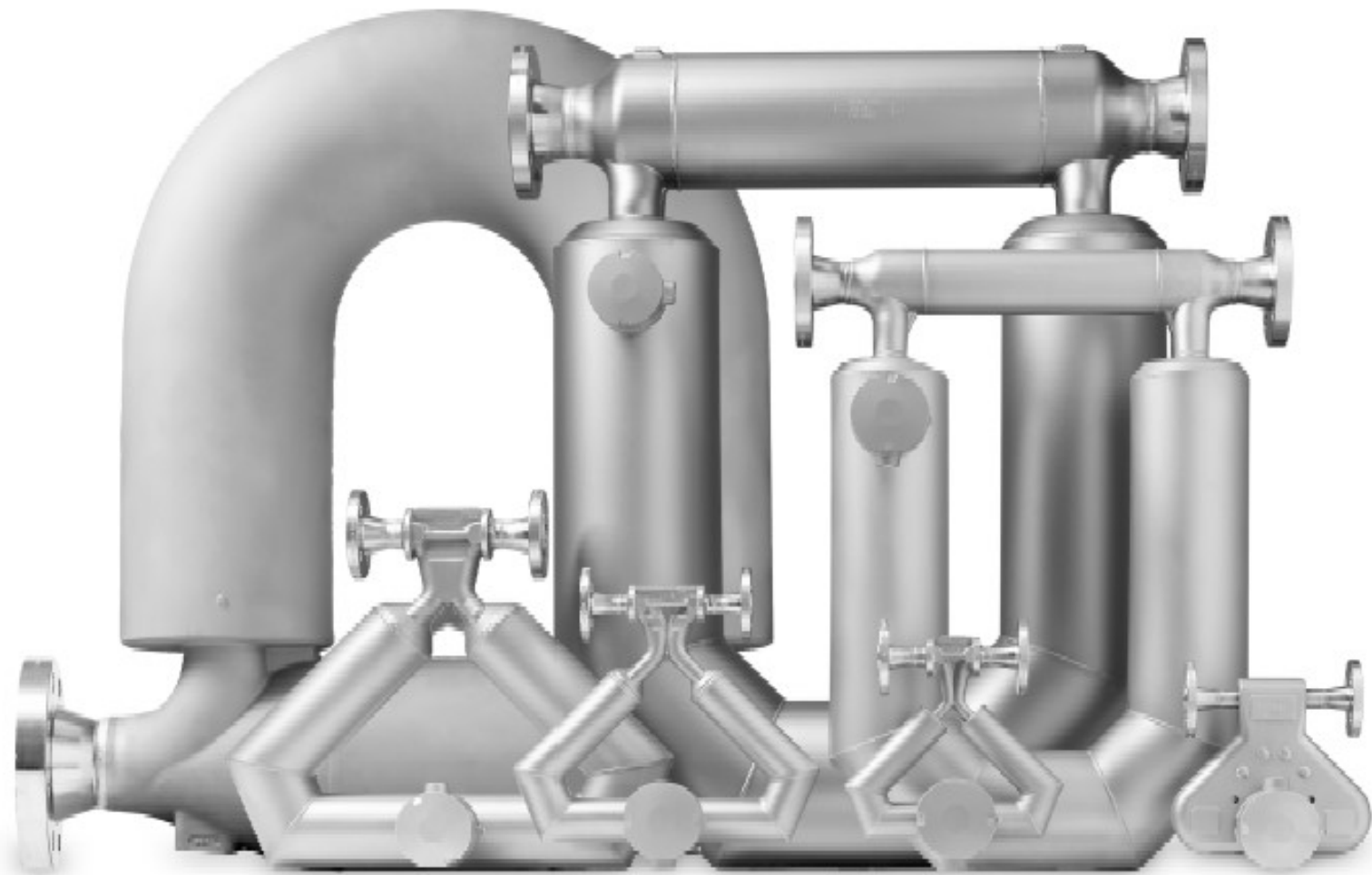
$$m \sim \rho A$$

$$\underline{F}_C \sim \rho A \underline{v} \times \underline{\omega}$$

$$|\underline{F}_C| \sim q_m \omega$$







Dr. Vad János: Áramlástani mérés technika

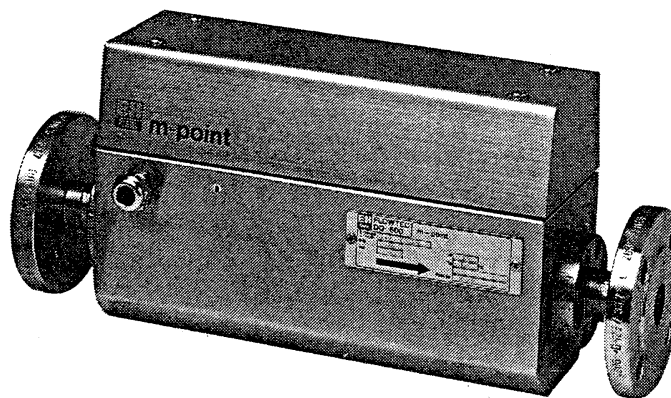
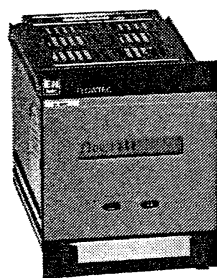
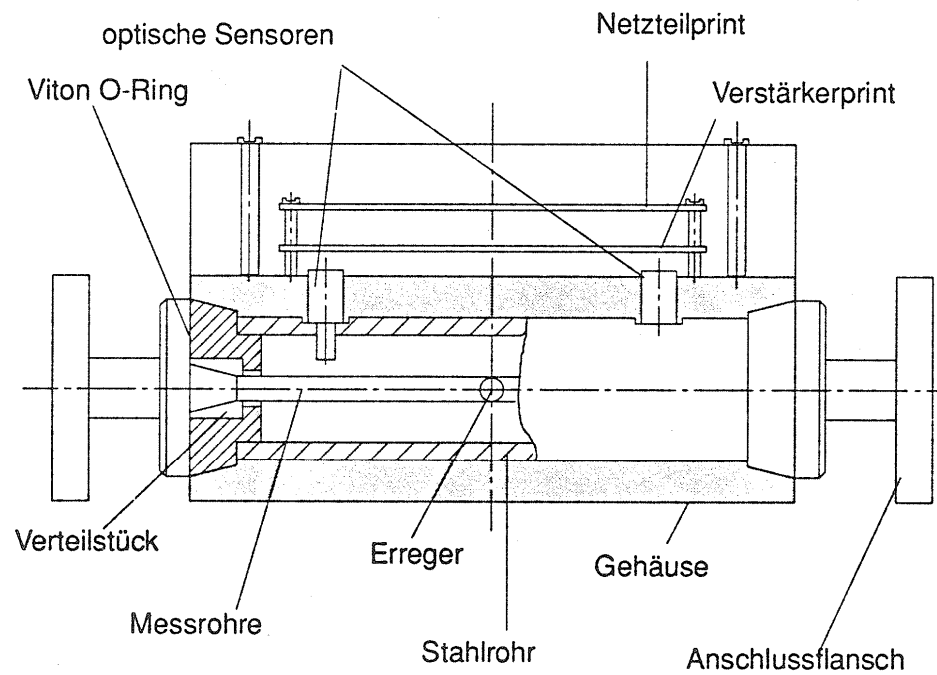
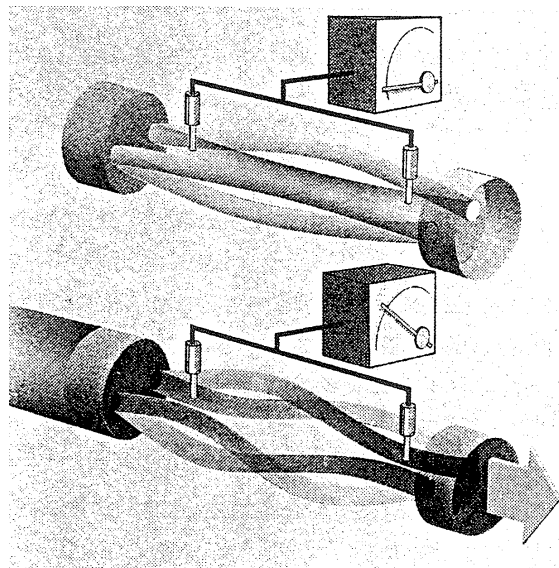
Az U (vagy Delta) elrendezés előnyei:

- Fokozott csődeformáció \Rightarrow mérhetőség

Korlátok / hátrányok:

- Kis sajátfrekvencia (~ 100 Hz)
- Korlátozott időbeli felbontás
- Fokozott helyigény
- Fokozott nyomásesés
- Mérsékelt viszkozitásra

Egyenes elrendezés: előnyök az előbbiekkal szemben



Dr. Vad János: Áramlástan mérés technika

ELŐNYÖK:

- A tömegáram közvetlen mérése
- Sűrűségmérésre is alkalmas
- Egyszerű csőelrendezés, mérsékelt helyigény lehetséges
- Az elv nem függ a viszkozitástól
- Bizonyos korlátok között többfázisú áramlások
- Nem függ a sebességprofiltól
- Nagy pontosság (~ 1 % a leolvasott tömegáram bizonytalansága)

KORLÁTOK / HÁTRÁNYOK:

- Cseppfolyós közegek (+ fokozott sűrűségű gázok)
- Viszonylag költséges
- Rezgésérzékenység \Leftrightarrow fokozott költségekkel megoldható
- Gázbuborékok \Rightarrow gyengítik a rezgést
- Gázdugók esetén nincs mérés
- Szilárd részecskék: a cső koptatása
- Kavitációs veszély
- Részleges kitöltöttség esetén nincs mérés
- Magasabb hőmérsékletekre nem alkalmazható