



Áramlástan
Tanszék



AM02 – Műszaki áramlástan I.

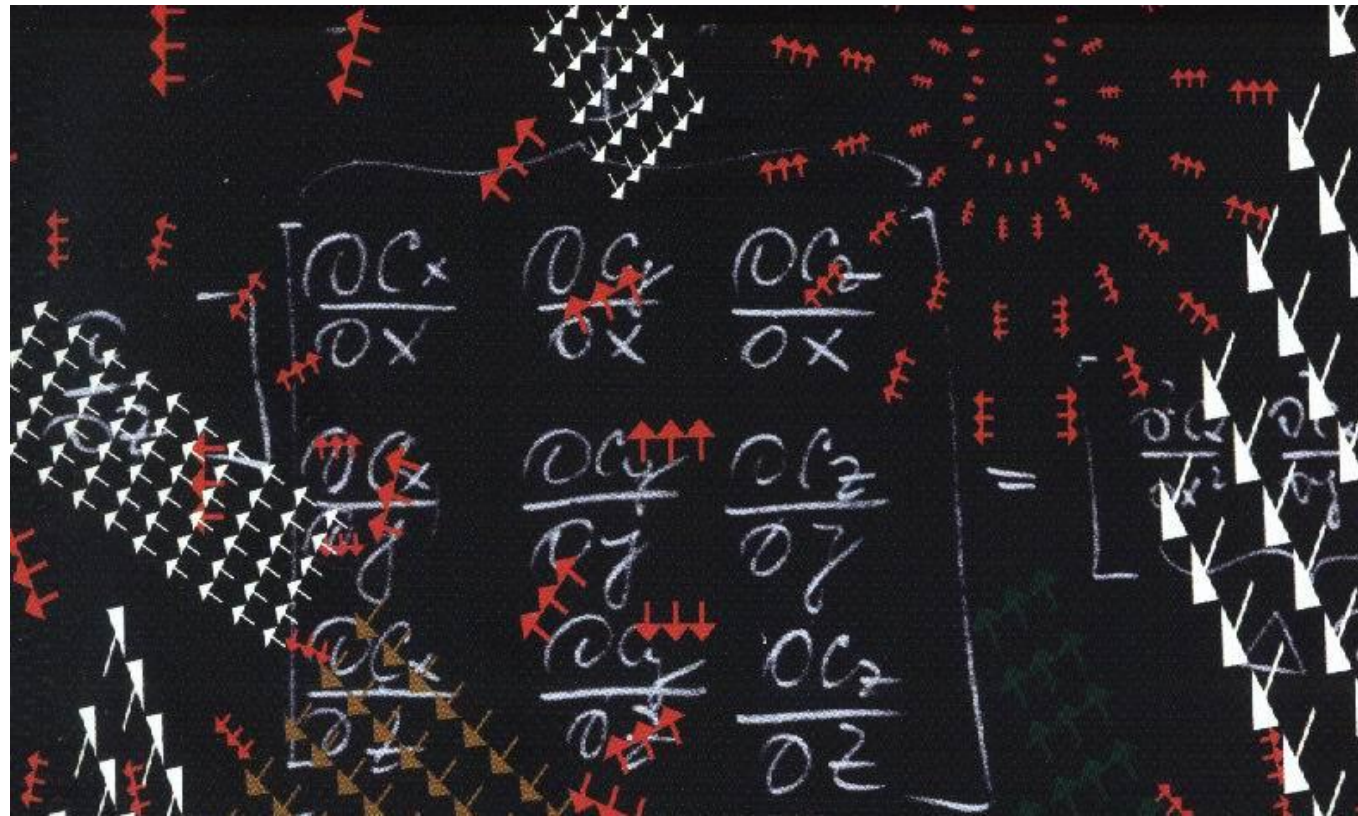
11.: Ipari légtechnika

Dr. Szente Viktor

adjunktus

szente@ara.bme.hu

Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Áramlástan Tanszék



Különleges ventilátorok: ipari légtechnika

Alkalmazási területek:

- **Normális üzemi körülmények**
- **Különleges üzemi körülmények**
 - Szennyezett anyag szállítása
 - Hőterhelés
 - Alacsony hőmérséklet



Szilárd szennyezők

A veszteségek általában nagyok: radiálventilátor.

Koptató hatás: a forgórész kopása kiegyensúlyozatlansághoz, meghibásodáshoz vezethet.

Radiálventilátor: térfogatáram kisebb \rightarrow áramlási sebesség kisebb \rightarrow koptató hatás kisebb.

A közeg iránytörése hátrahajló lapátozásnál a legkisebb (a radiálventilátorok között).

Optimális térfogatáramon működő gépek: a kopás legkisebb.
A kilépőél közelében, a nyomott oldalon kagylós kopás.

Nagyobb térfogatáram: a szilárd részecskék lesodródhatnak a belépő közeg áramvonalairól, a hátlapnak ütődnek, onnan lepattanva a belépőél hátlaphoz közeli részét is koptatják.

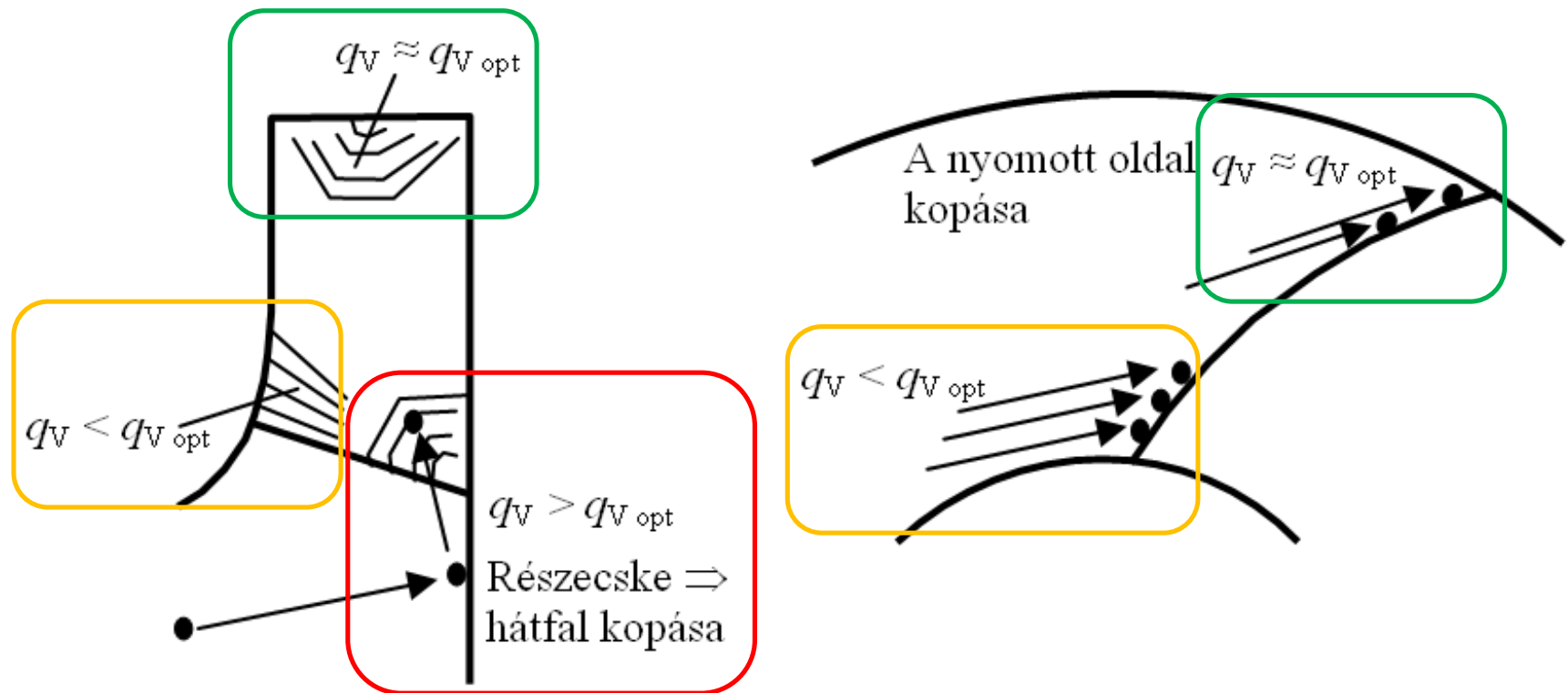
Kisebb térfogatáram: a belépőél közelében a nyomott oldalon lesodródhatnak a részecskék.

SZENNYEZETT ANYAG SZÁLLÍTÁSA

q_v optimális

q_v optimálisnál nagyobb

q_v optimálisnál kisebb





Kopás csökkentése

- Be se engedjük: leválasztók, szűrők alkalmazása
- Elterelés:
 - Előperdítő
 - Lapátalak lekerekítése a hátlapnál sarkos illesztés helyett.
- Előlap elhagyása: nagyobb szilárd anyag beszorulásának elkerülésére (pl. lombszívó).

Rá is tapadhat a lapátra: kiegyensúlyozatlanná válhat a járókerék.

Gáznemű szennyezők

Robbanásveszély. Szilárd szennyeződéseknel is előfordul, pl. kakaópor (megengedett határhőmérséklet 385°C), búzaliszt (320°C), tejpor (265°C), szója (170°C), barnaszén (150°C).

Legveszélyesebb hely: szívókúp és járókerék közti rés.

Rossz illesztés → súrlódás → statikus elektromosság → szikra →

Elkerülése:

- Szívókúp és/vagy előlap elhagyása
- Földelés, antisztatikus anyagok használata.



Helios RRK 250 EX robbanásbiztos csőventilátor



Általában együtt jár a szilárd szennyeződéssel.

- Anyagjellemzők (szilárdság, rugalmasság) romlanak: deformálódás, törés.
- Csapágyak túlterhelése: egyenlőtlen hőtágulás miatt megszorul → plusz hőterhelés.

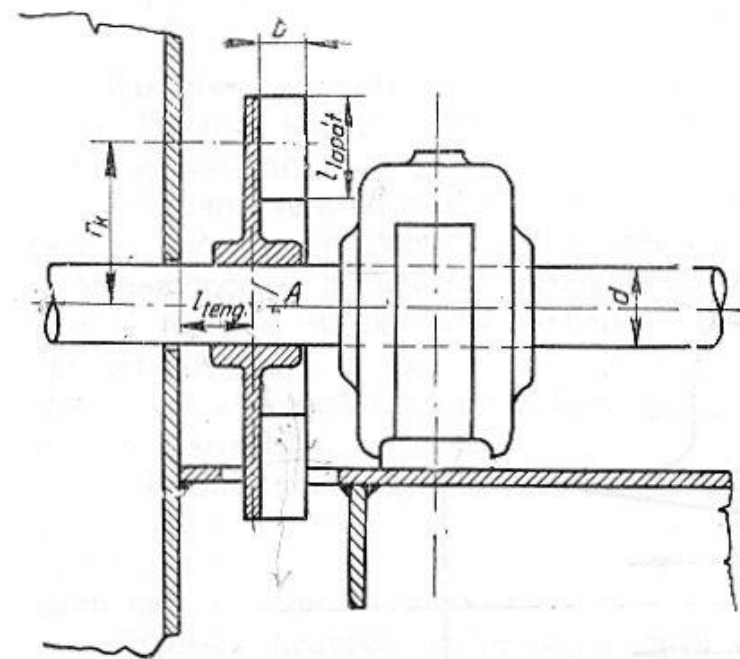
Csapágyak üzembiztos hűtése igen fontos: akár segédventilátor alkalmazásával.

Alacsony hőmérséklet

Pl. hűtőházak.

Anyagjellemzők romlanak: ridegtörés.

Alacsony hőmérsékleten is szívós anyag alkalmazása a berendezésben.



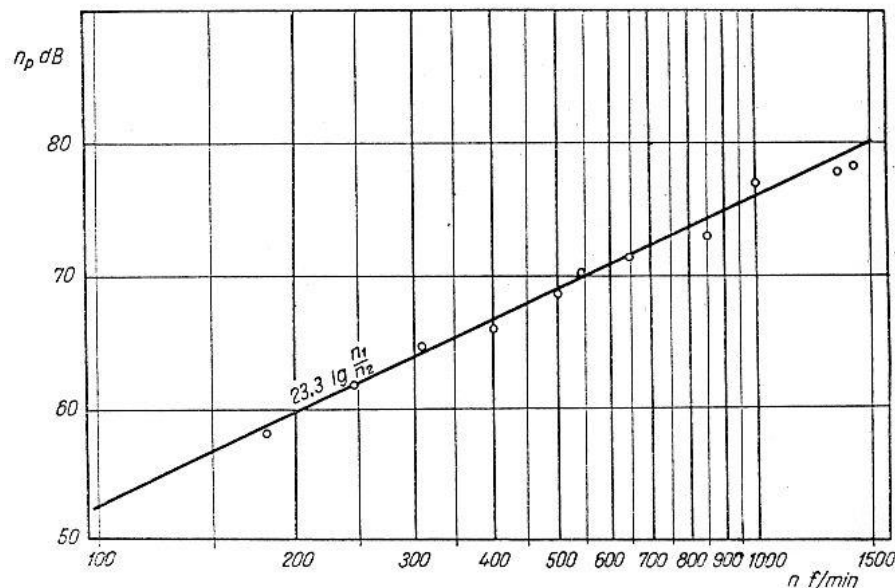
VENTILÁTOROK ZAJA

Mechanikai zaj

Kis sebességű (<25 m/s) ventilátoroknál.

- Kiegyensúlyozatlan forgó elemek: merev járókerék és ház, rugalmas alapozás.
- Csapágyak: a golyóscsapágy zajosabb a siklócsapágnál. Csendes gép csak utóbbival.

Kisugárzott hangteljesítmény: a fordulatszám $7/3$ hatványával arányos (mérések alapján).

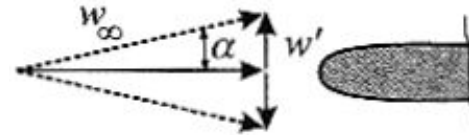




Örvényzaj

- Turbulens hozzááramlás hatása: pillanatnyi megfúvási sebesség (megfúvási szög) ingadozik.

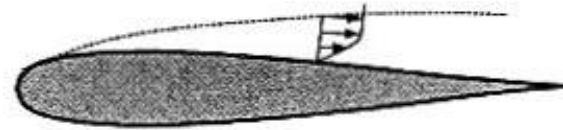
$$P_{th} \sim v^4 \overline{w'^2} \ell^2$$



v : megfúvási sebesség, w' : megfúváásra merőleges turbulens ingadozó sebességkomponens, ℓ : lapáthúrhossz.

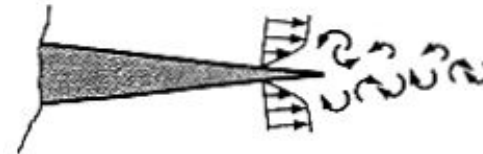
- Határréteg-zaj: a lapátokon lévő turbulens határréteg. Leggyengébb.

$$P_{hz} \sim v^6 \ell^2$$



- Nyomzaj: kilépőél mögötti örvényleválás. Legerősebb.

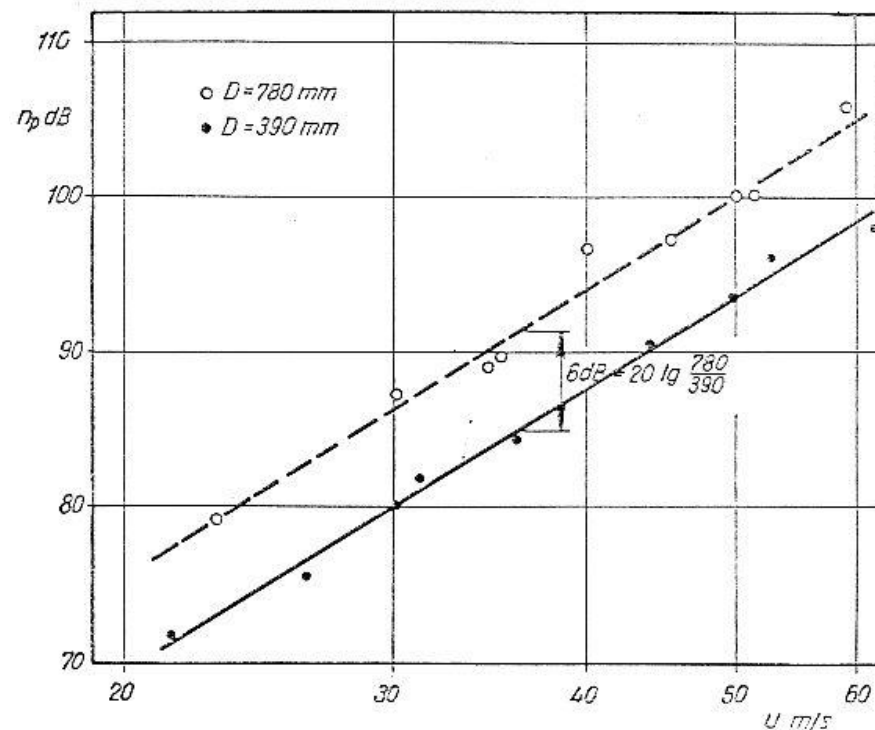
$$P_{nyom} \sim v^6 \text{Re}^{-0.4} \ell^2 \quad \text{ahol } \text{Re} = v\ell/\nu$$



GEOMETRIAI MÉRETEK HATÁSA A ZAJRA

Nagyobb méretek → nagyobb lesugárzó felület → fokozott zajkibocsátás.
Nagy fajlagos teljesítményű (=kisebb méretű) gépek alkalmazása a zajkibocsátást is csökkentheti.

Jobb hatásfokú gépekben a leválások (=veszteségek) is várhatóan kisebbek → kisebb zajkibocsátás.

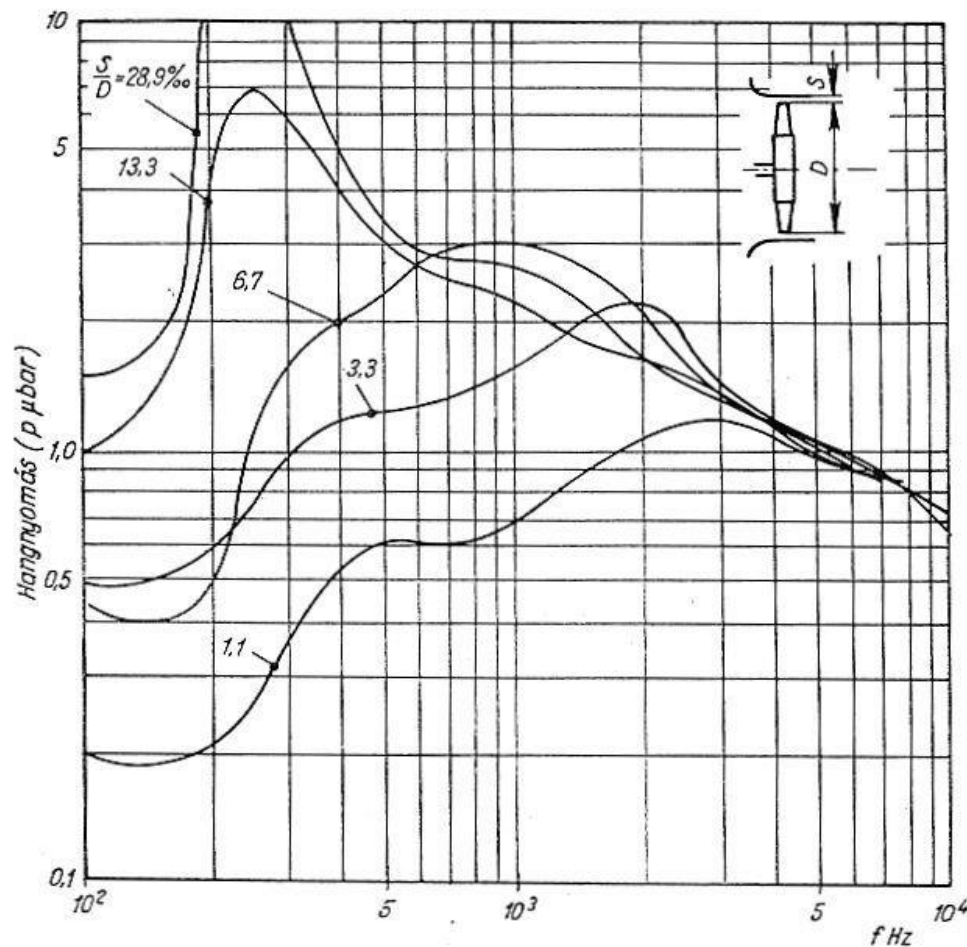


FORGÁSI ZAJ

Lapátok elhaladása a csatornafal előtt: nyomásingadozás.

Légréteg mérete fontos (zajszint és spektrum).

Klasszikus szemléletmódban axiálventilátoroknál nincs számottevő szerepe.





A forgó járókerék közelében levő álló tárgy körül időben periodikusan változó áramlás.

Tisztahang-spektrum: jelentős, kellemetlen érzet.

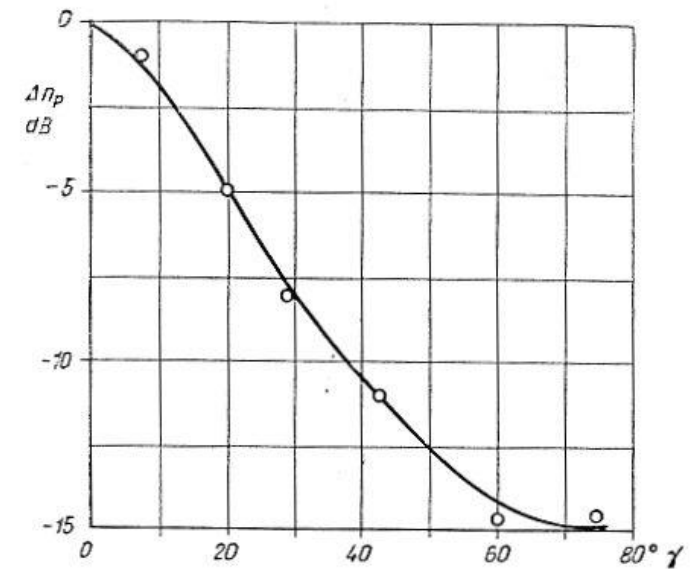
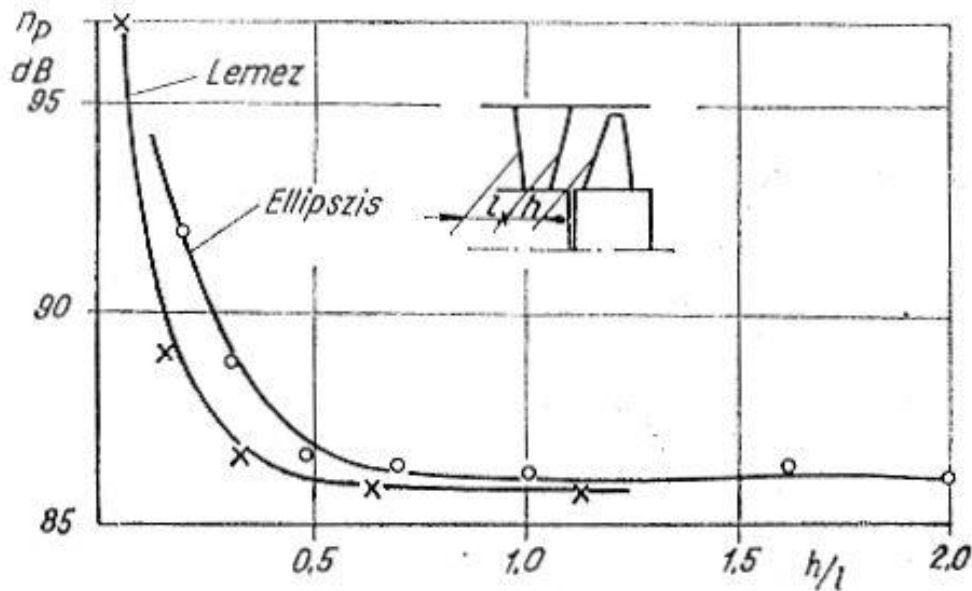
Terelőlapátos axiálventilátor esetén:
$$f = \frac{N_{tl} N_{jk} n}{k}$$

ahol N_{tl} a terelőlapátosítás, ill. N_{jk} a járókerék lapátszáma, n [1/s] a fordulatszám, k a lapátszámok legnagyobb közös osztója.

Várhatóan felharmonikusok is megjelennek.

EGYMÁSRAHATÁS-ZAJ CSÖKKENTÉSE AXIÁLVENTILÁTORNÁL

- Lapátszámoknak relatív prímelek választása: egyszerre 1-nél több lapátpár ne hasson egymásra. Ez az ingadozó mechanikai terhelést is csökkenti.
- A terelő- és járókerék-lapátozás közötti távolságot legalább 0.5 lapáthúrhossznyira célszerű venni.
- Terelő- vagy járókeréklapátok nyílazása, ferdítése.





A járókerék és a nyelv egymásrahatása: $f = N_{jk}n$

Csökkentése: a járókerék és a nyelv közötti hézagot legalább 1/8 járókerék-átmérőnyire célszerű venni.

Nem rontja jelentősen a hatásfokot.

Zajcsökkentés vagy hatásfok növelés?



Klasszikus, közelítő jellegű empirikus modell.

A legjobb hatásfokú pont közelében:
$$L_w \approx L_{w0} + 10 \lg \frac{q_V}{q_{V0}} + 20 \lg \frac{\Delta p_{\ddot{o}}}{\Delta p_{\ddot{o}0}}$$

ahol $L_{w0} = 40 \pm 4 \text{ dB}$ $q_{V0} = 1 \text{ m}^3 / \text{s}$ $\Delta p_{\ddot{o}0} = 1 \text{ Pa}$

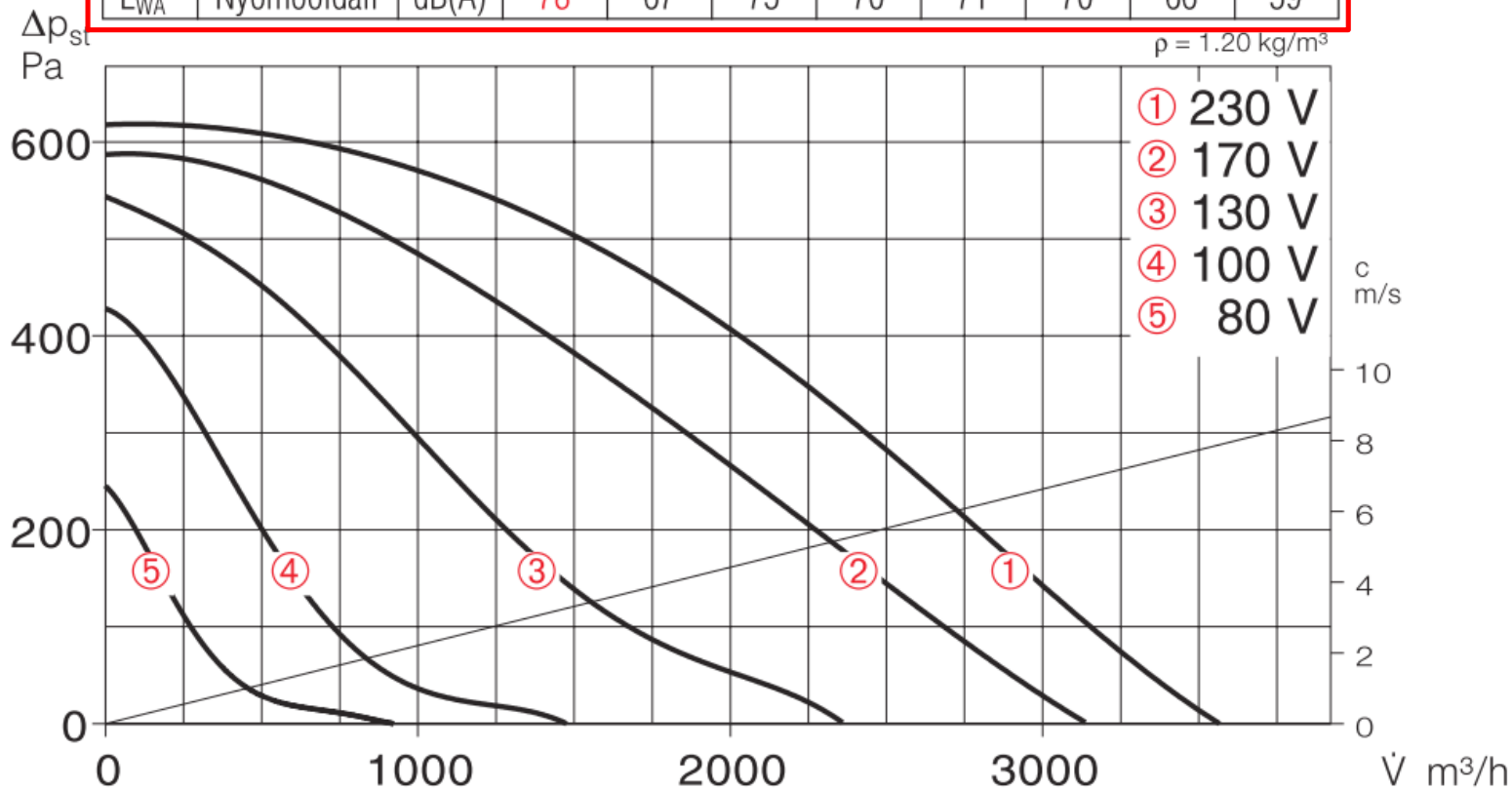
A szívott és nyomott oldalakon közelítőleg azonos a kisugárzott hangteljesítmény.

Katalógus: rendszerint teljes üzemállapotra, spektrális eloszlással.



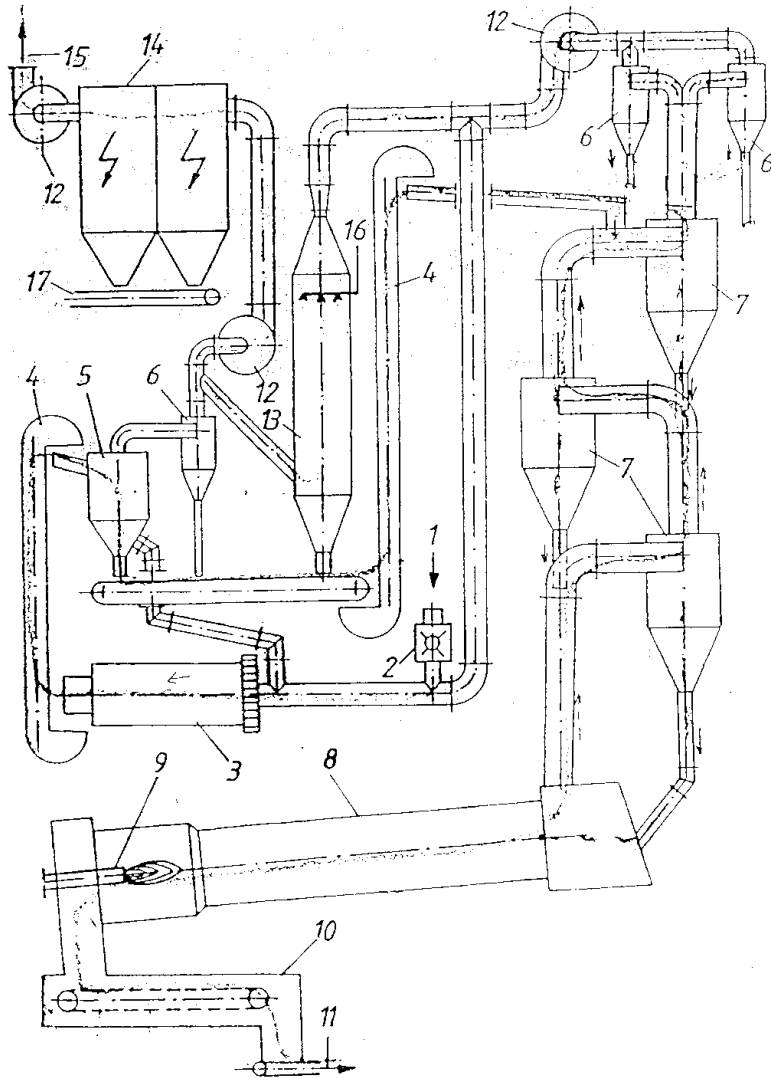
MBW 400/4

Frekvencia		Hz	Össz.	125	250	500	1k	2k	4k	8k
L _{WA}	Lesugárzott	dB(A)	58	47	55	50	51	50	46	39
L _{WA}	Szívóoldali	dB(A)	76	65	73	68	69	68	64	57
L _{WA}	Nyomóoldali	dB(A)	78	67	75	70	71	70	66	59



Helios MBW 400/4 ventilátor

http://www.helios.hu/ujlap/files/Helios_fokat_2005_2006.pdf



Cementipari füstgázvezeték

A cement alapanyagát, a klinkert földgáztüzeléssel, csőkemencében (Humboldt-kemence) égetik ki. Az égetés során keletkező füstgáz és a klinker alapanyagául szolgáló nyersliszt ellenáramban halad. A nyerslisztet előmelegítő ciklonrendszerben adják fel, amelyben a kemencéből származó füstgáz előmelegíti azt. A ciklonrendszerből távozó (ventilátorral segített áramlású) poros füstgázt nedvesítés után elektrofilterbe vezetik, ahol portartalmát a küszöbérték alá csökkentik. A pormentesített füstgázt ventilátor segítségével kéményen keresztül a szabadba küldik.

SZÁRAZ RENDSZERŰ CEMENTGYÁRTÁS FOLYAMATÁBRÁJA

- | | | | |
|--|------------------|---------------------|------------------|
| 1.nyeraanyagbeadás | 2.törő | 3.nyersmalom | 4.elevátor |
| 5.osztályozó | 6.porteválasztó | 7.hőserelő | 8.kemence |
| 9.égőfej | 10.klinkerhűtő | 11.klinkerszállítás | 12.ventilátor |
| 13.hűtőtorony | 14.elektrofilter | 15.kémény | 16.vízporlasztás |
| 17.leválasztott por elszállítása (cementsilóba vagy a technológiai folyamatba) | | | |



Humboldt-kemence, előmelegítő ciklonrendszer, további elemek a kéménnyel



A füstgáz gázállandója $260 \text{ J}/(\text{kgK})$, főképpen nitrogénből, ezen felül oxigénből, vízgőzből és szén-dioxidból áll (nem tér el jelentősen a levegőtől).



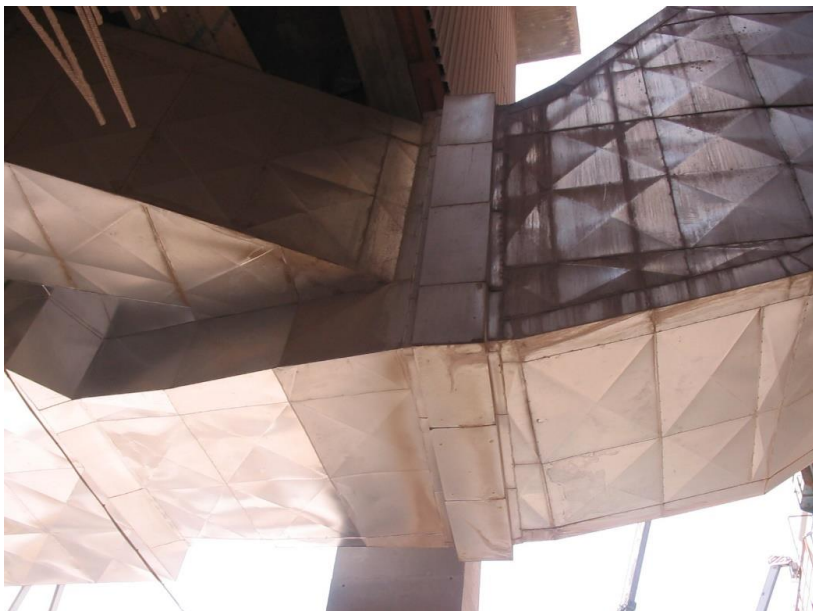
A kéményen távozó füstgáz által keltett zaj olyan erős volt, hogy zavarta a környéken lakók nyugalma. A zaj csökkentése érdekében az üzemeltető a füstgázz szállító ventilátor után hangtompító beépítését tervezte.

Annak érdekében, hogy a hangtompító áramlási veszteségei ne okozzanak meglepetést a technológiai folyamat szempontjából, az üzemeltető kérte a hangtompító gyártójától a veszteségi jellemzőket. Névleges üzemállapotként a következő jellemzőket adta meg:

- A füstgáz összetétele: megegyezik a levegőével
- A füstgáz névleges hőmérséklete: T_N
- A füstgáz névleges térfogatárama: Q_N

Ezek mellett a hangtompító gyártója megadta a hangtompító névleges nyomásesését: Δp_N

Ezt az értéket az üzemeltető elfogadta. A hangtompítót megrendelte és beépíttette.





A hangtompító sikeresen lecsökkentette a zajt. Azonban az üzemeltető tapasztalata szerint a hangtompítón a nyomáscsökkenés a Δp_N értéknél jelentősen nagyobbak adódtak. Ez a gyártás folyamatirányítása és így a technológia szempontjából kedvezőtlen jelenség.

A helyzet tisztázására a hangtompító gyártója az alábbiak mérését kérte:

- A füstgáz T hőmérséklete
- A hangtompítón áthaladó Q térfogatáram
- A hangtompítón jelentkező Δp statikus nyomásvesztés









A mért adatok, a gyártó által megadott névleges adatokkal összehasonlítva (tájékoztató adatok):

Hőmérséklet:	$T = 0.85 T_N$
Térfogatáram:	$Q = 1.95 Q_N$
Nyomásesés:	$\Delta p = 4.2 \Delta p_N$

A nyomásesés valóban többszörösen meghaladja a névleges értéket. De ez nem meglepő, hiszen a térfogatáram és így az átlagsebesség is jelentősen nagyobb a névlegesnél!

KÉRDÉS: Hogyan lehet megmutatni még ettől a névlegestől jelentősen eltérő üzemállapotban is, hogy a hangtompító hidraulikai viselkedése megfelel-e a gyártó által megadottnak?



VÁLASZ:

A hangtompítóban turbulens áramlás alakul ki: az áramlási veszteségek arányosak a térfogatáram négyzetével.

A névleges munkaközeg (levegő) és a füstgáz gázállandójából valamint a hőmérsékletekből számolható a kétféle közeg sűrűsége (a nyomást közelítőleg légkörinek vehetjük).

Ezzel és a kétféle sebességgel számolható a kétféle üzemállapotra a jellemző dinamikus nyomás, amellyel osztva a nyomásveszteségeket, megkapjuk a hangtompító veszteségtényezőjét.

A gyártó által megadott névleges értékekből a veszteségtényező 2.0.
A mérési eredményekből számított veszteségtényező 1.7.



A megadott és a számított veszteségtényezők közti eltérés oka feltehetően:

- mérési bizonytalanság
- a mért üzemállapotban a hőmérséklet és így a kinematikai viszkozitás is jelentősen kisebb. Ez nagyobb Reynolds-számot és így a súrlódási veszteségek mérsékeltebb érvényesülését jelenti a mért esetben, ami a veszteségtényező csökkenéséhez vezet.

A hangtompító tehát a gyártó által megadott hidraulikai jellemzőknek megfelelően viselkedik.

Az üzemeltető elfogadta a mérés és kiértékelés bizonyító erejét. Úgy módosította a technológiai folyamatot, hogy a jelentős nyomásesés ne okozzon technológiai problémát, illetve ne álljon elő, pl. térfogatáram-csökkentés a ventilátor fordulatszámának csökkentésével.



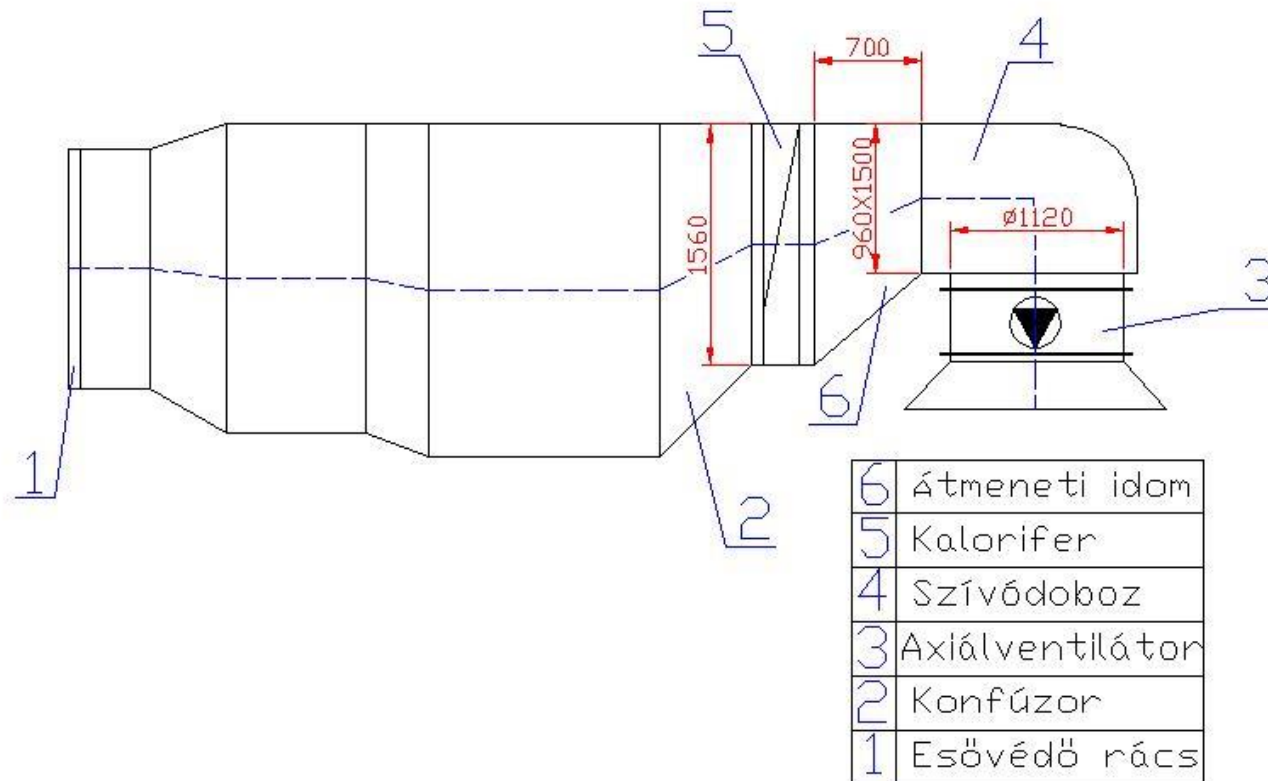
Gázmotor levegőellátás

Biogáz gázmotort hajt meg:
elektromos energia termelés
+füstgáz elég meleg fűtéshez.





Levegőellátás





Probléma: próbaüzem során rövid idő alatt sorozatos lapáttörések.



Lehetséges okok:

- drasztikus iránytörések, belengésre hajlamos belső terek, nem kellő merevségű gépkeret
- eltérő teljesítményű gépek párhuzamos kapcsolása, indítás zárt zsaluzattal, nem egyidejűleg
- eltérő méretek, de azonos beépítési hely: a legnagyobb teljesítményű gépek szívódobozai erősen torzultak

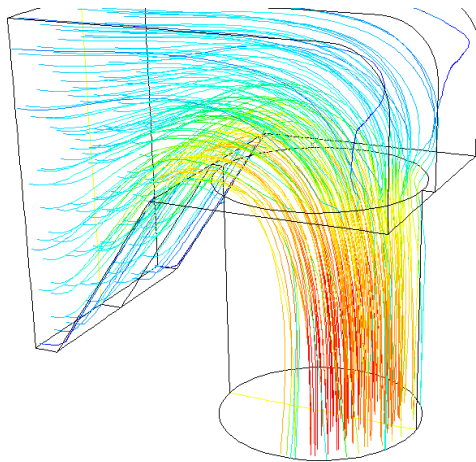
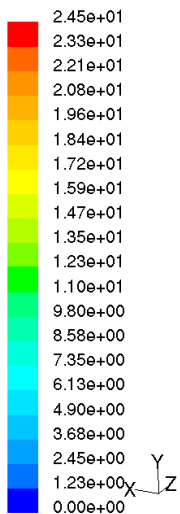


A kivitelező a tervező által megadott helyett más axiálventilátorokat épített be, más csatlakozó méretekkel. Emiatt torzultak a szívódobozok.

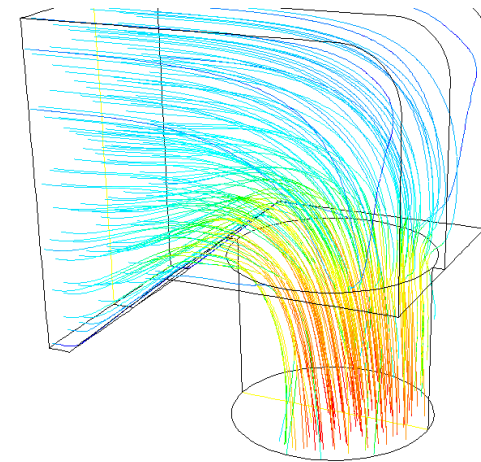
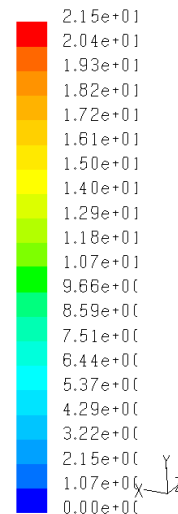
A tervező szerint az eredeti szívódobozokkal a pangó zónák elkerülhetők lettek volna.

Ellenőrzés CFD szimulációval:

Beépített:

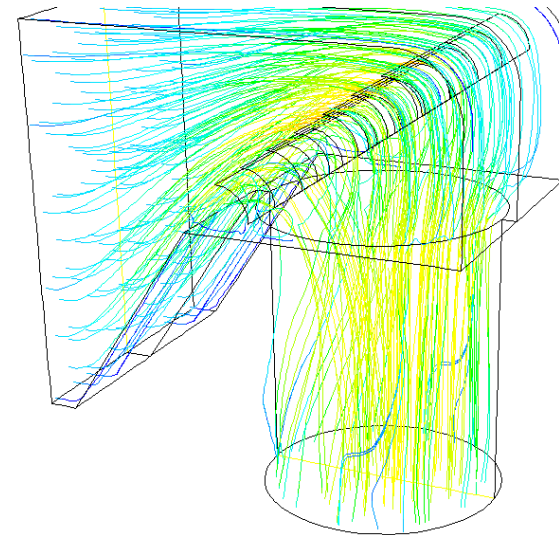
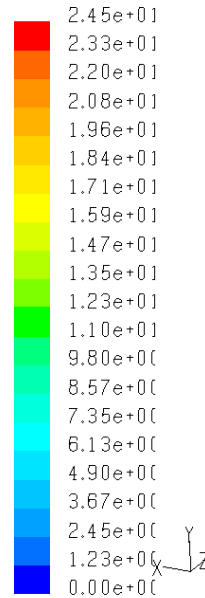


Eredeti:



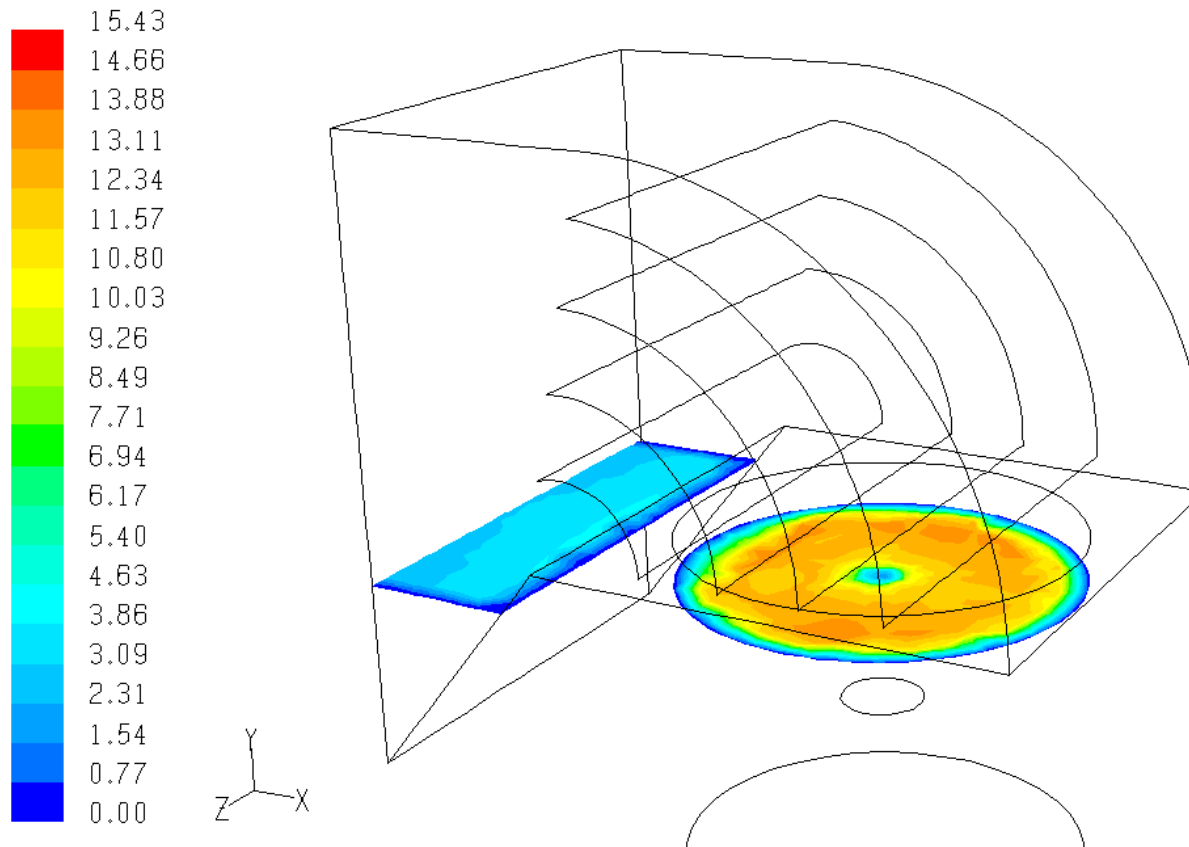


Megoldás 1: ipari gyakorlatnak megfelelő, negyedkörös, azonos osztású terelőlemezek beépítése.





Megoldás 2: terelőlemezek tervezése a legnagyobb teljesítményű gépek torz szívódobozához.





Fennmaradó probléma: Az egyik torz szívódobozú gép néhány heti üzem után ismételt törést szenvedett.

Helyszíni mérés: egyenletes belépő sebesség igazolva.

Rezgésmérés:

- nyitott és csukott zsaluzattal a rezgés spektruma gyakorlatilag megegyezik: tehát a rezgés oka nem áramlási eredetű
- a legnagyobb intenzitású csúcs a rezgési teljesítményspektrumban a forgási frekvencián jelentkezik

Tehát a rezgés a járókerék kiegyensúlyozatlanságából adódik az azt befoglaló mechanikai rendszerben (járókerék, tengely, csapágyazás, motor, motortartó bak, motortartó keret).

Megoldás: alumíniumöntvény helyett a könnyebb műanyag lapátozás.