

8. VENTILÁTOROK ÜZEMELTETÉSE

8.1. A ventilátorhoz csatlakozó rendszer jelleggörbéje (terhelési görbe), rendszerelemek

Általánosan a rendszer terhelési görbéje az alábbi módon jellemezhető:

$$\Delta p_r = A + B q_V + C q_V^2 \quad (8.1)$$

Ahol

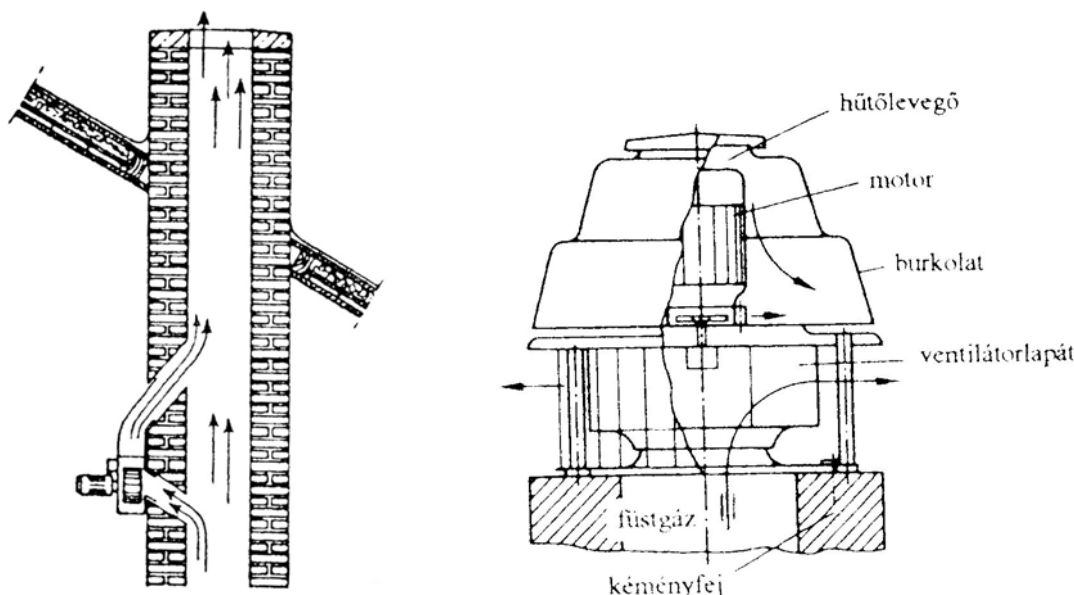
A: a térfogatáramtól független tag. Megfelel a szivattyúk statikus szállítómagasságából [1] számítható nyomáskülönbségek. A továbbiakban statikus nyomáskülönbségnek nevezzük, nem keverendő össze a ventilátor által megvalósított statikus nyomásnövekedéssel. Többnyire a szállított és a környezeti közeg sűrűségkülönbsége miatti felhajtóerő miatt jelentkezik.

- Értéke negatív, ha

a környezetéhez képest kisebb sűrűségű közeget felfele (pl. tüzelésből származó forró füstgáz elszívása a kéményre rásegítő ventilátorral, **8.1. ábra**, vagy meleg üzemcsarnokból származó elhasznált levegő elszívása függőleges csatornán), vagy a környezetéhez képest nagyobb sűrűségű közeget lefele (pl. hűtőlevegő leáramoltatása mélyhűtő alagútba) kell szállítani. Akkor is létrejön áramlás a rendeltetésszerű szállítási irányban, ha a ventilátor nem működik: természetes konvekció.

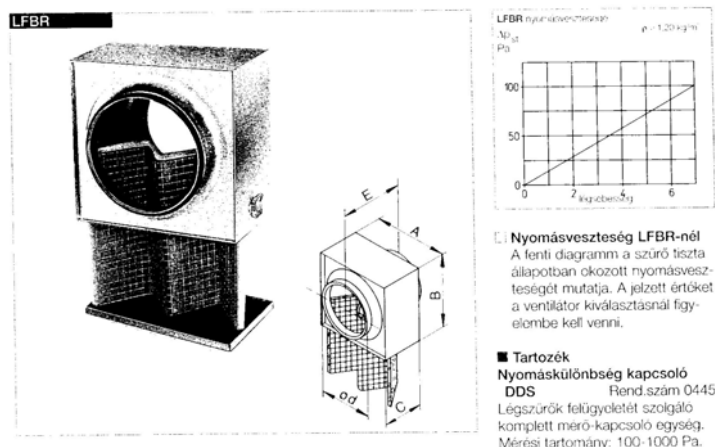
- Értéke pozitív, ha

a környezetéhez képest kisebb sűrűségű közeget lefele (pl. halastavak oxigénellátásának javítása levegő bebuborékolásával [29], vagy a környezetéhez képest nagyobb sűrűségű közeget felfele (pl. hűtőlevegő elszívása mélyhűtő alagútból) kell szállítani.



8.1. ábra. Huzatfokozó ventilátor [29]. A rossz huzatú kéményeknél füstgázelszívó ventilátorokat alkalmaznak. A füstgáz egy részét a ventilátor injektorszerűen fújja be a kéménybe. A ventilátor automatikusan kapcsol be a füstgáz hőmérsékletét érzékelő termosztát vagy egy szívónyomás-finomszabályzó segítségével [29]. Másik beépítési példa a jobb oldali ábrán látható, **kéményfejre helyezett ventilátor [29].**

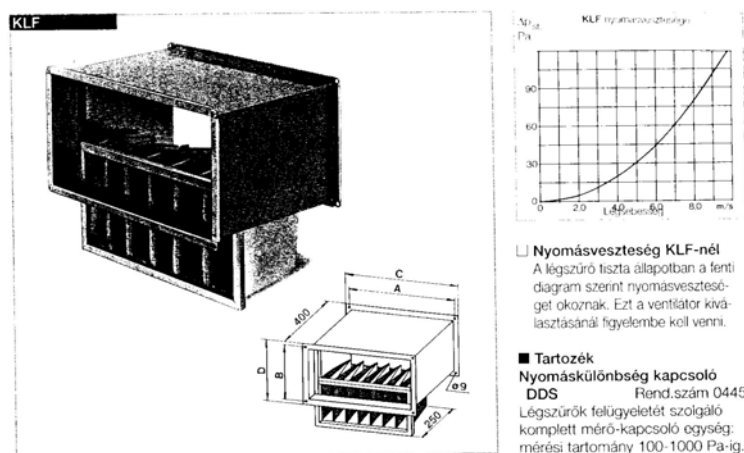
$B q_V$: A térfogatárammal egyenesen arányos tag. Lamináris áramlást jellemez, pl. szűrőszövetek (8.2. ábra).



8.2. ábra. LFBR szűrődoboz [6]

$C q_V^2$: A térfogatáram négyzetével arányos tag. A légtechnikai rendszerekben leginkább jellemző.

Általában a C tényező (\sim veszteségtényező) Reynolds-szám függő. A veszteségek azonban légtechnikai elemekben többnyire kötődnek a leválási jelenségekhez (pl. lamellák, zsaluzat). Ha már levált az áramlás, kevésbé érzékeny a veszteségtényező a Reynolds-számmra. Ezért C értékét jó közelítéssel állandónak tekinthetjük adott elemre. Pl. lamellás szűrők (8.3. ábra).



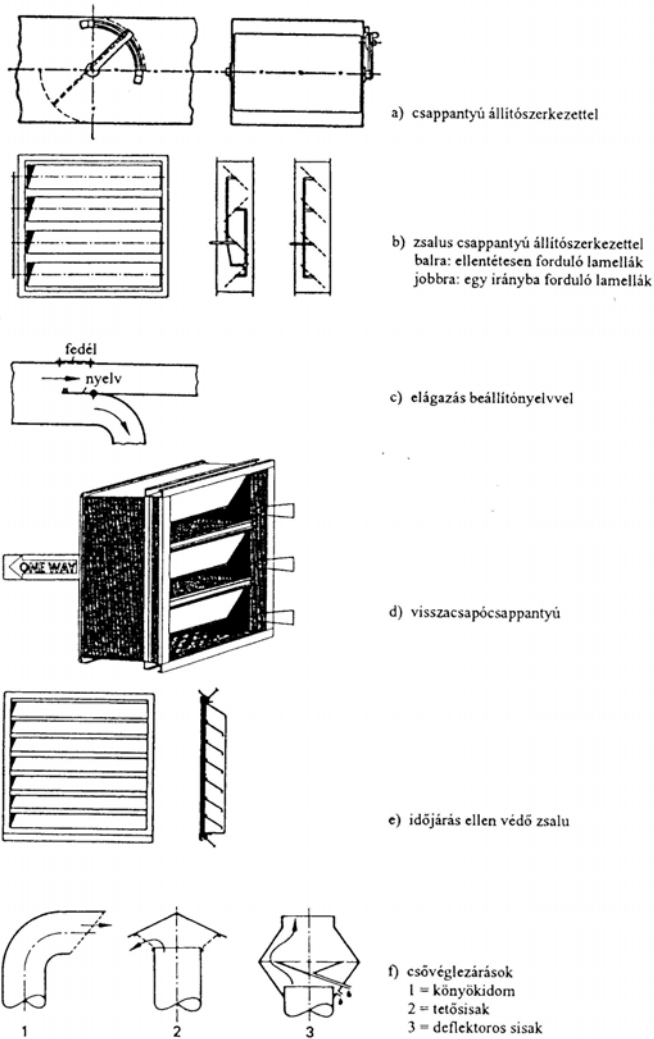
8.3. ábra. KLF légszűrő [6]

További példák az ilyen rendszer elemekre (8.4. ábra, 8.5. ábra) [29]:

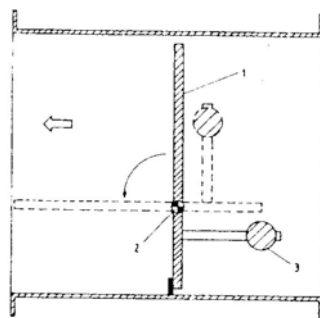
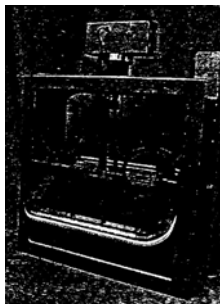
- Csappantyúk: fojtásos térfogatáram-változtatáshoz
- Időjárás ellen védő zsaluk: az eső és a madarak légszatórnákba való bejutása ellen. Fűthető kivitelben is, a jégképződés megakadályozása céljából.
- Visszacsapó csappantyúk: a légvezetékben létrejövő fordított áramlási irány esetén (pl. párhuzamosan kapcsolt ventilátorok üzemzavara) ezeket önműködően lezárják.
- Zárócsappantyúk: állítómotor révén lezárják a csatorna-keresztmetszetet karbantartás, javítás vagy üzemzavar esetén. Akkor is szerephez jutnak, ha ventilátor esetleges üzemzavara esetén pl. meg akarjuk akadályozni a szállított nagy portartalmú közeg

visszáramlását. Pl. cementgyártás során a felfelé szállított perlitpor a szállító ventilátor leállása esetén visszaáramolna és előttené az üzemet [30].

- Túlnyomás-levezető csappantyúk: a készülékek, csatornák és helyiségek falaiba beépítve önműködően nyitnak, ha a vonatkozó szerkezeti részben a nyomás meghaladja a megengedett értéket. Normál üzem esetén nyitva vannak.
- Elágazó szabályozócsappantyúk: elágazásban a térfogatáram-arány befolyásolására
- Az áramlástechnikai gyakorlatban szokásos egyéb elemek (könyökök, elágazások, stb. [31])



8.4. ábra. Légtechnikai csővezetékek tartozékai [29]



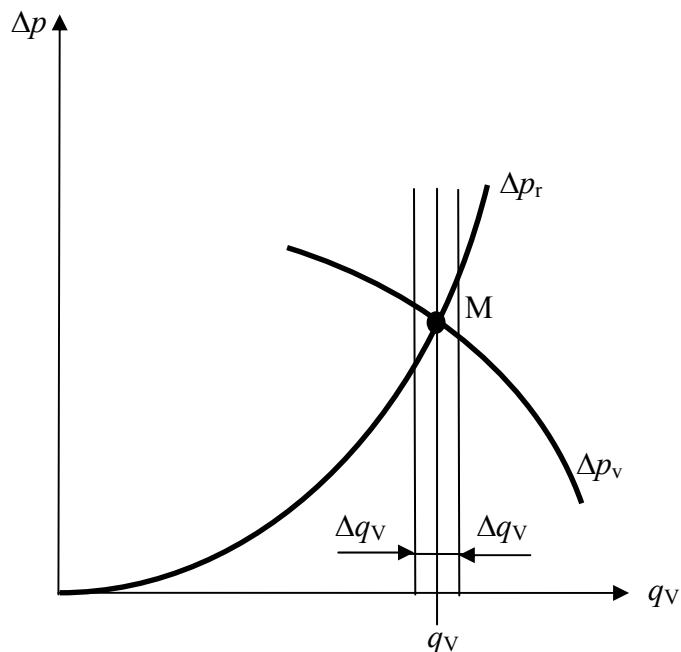
8.5. ábra. Szellőzési csővezetékek tartozékai [29]: négyszögletes zárócsappantyú, túlnyomás-levezető csappantyú

8.2. Munkapont és annak stabilitása

Δp_r a rendszer jelleggörbéje (terhelési görbe)

Δp_v a ventilátor jelleggörbéje

M munkapontban: $\Delta p_r = \Delta p_v \equiv \Delta p$



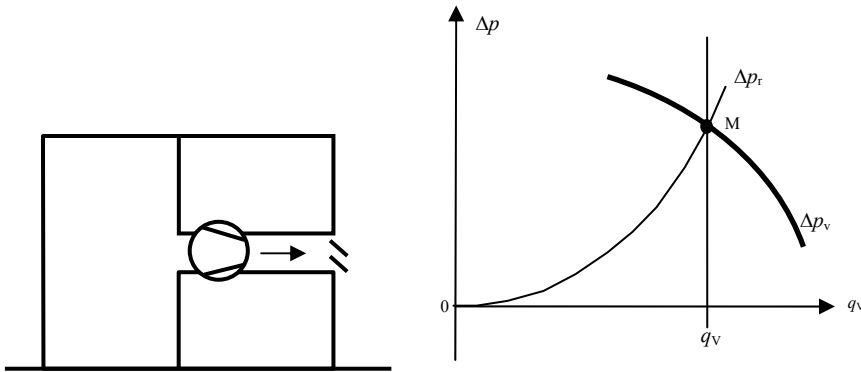
8.6. ábra. A rendszer és a ventilátor együttműködése

Mi történik „kis megzavarás” hatására? Kis megzavarás hatása: az M munkapont q_v , Δp értékpárosa kismértékben módosul, tehát az üzemet (átmenetileg) nem az M munkapont, hanem attól kismértékben eltérő munkapont jellemzi. Mi lehet a „kis megzavarás” oka?

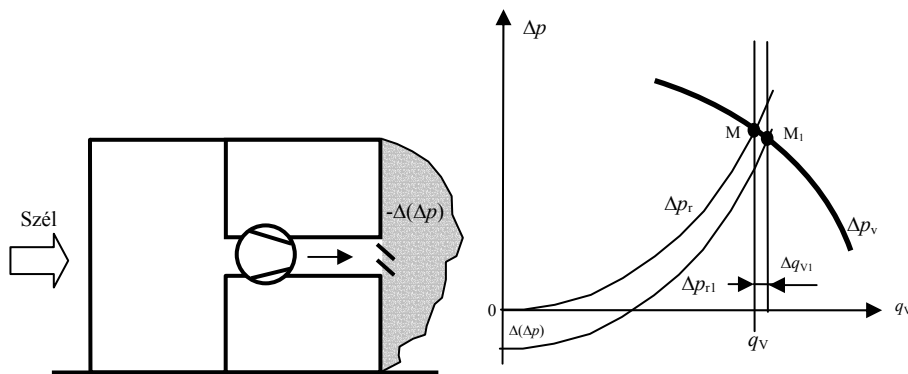
PÉLDA 1:

Ipari épület belsejében lévő technológiai térből ventilátor szívja el és az oldalfalon lévő áttörésen keresztül szabadba fújja ki a levegőt (**8.7.a ábra**). Eredetileg a statikus nyomáskülönbség zérusnak tekinthető, tehát a terhelési görbe az origóból indul. Ha az épületet az oldalfallal átellenes irányból erős szél éri (**8.7.b ábra**), az épület „nyoma” az oldalfalon $\Delta(\Delta p)$ depressziót okoz. Mivel a terhelő rendszer alkatelemei közben nem változtak, a terhelési görbe $\Delta(\Delta p)$ értékkel lefelé tolódik el az ordináta-tengely mentén (a depresszió „megszívja” az áramlást, hatása $[-\Delta(\Delta p)]$ statikus nyomáskülönbségben nyilvánul meg). Ennek ellenkezője történik, ha a szellőkés az oldalfal irányából éri az épületet (**8.7.c ábra**). Ekkor az oldalfalon kialakuló $\Delta(\Delta p)$ túlnyomás a terhelési görbét $\Delta(\Delta p)$ értékkel felfelé tolja el az ordináta-tengely mentén (a túlnyomás „gátolja” az áramlást, hatása $\Delta(\Delta p)$ statikus nyomáskülönbségben nyilvánul meg).

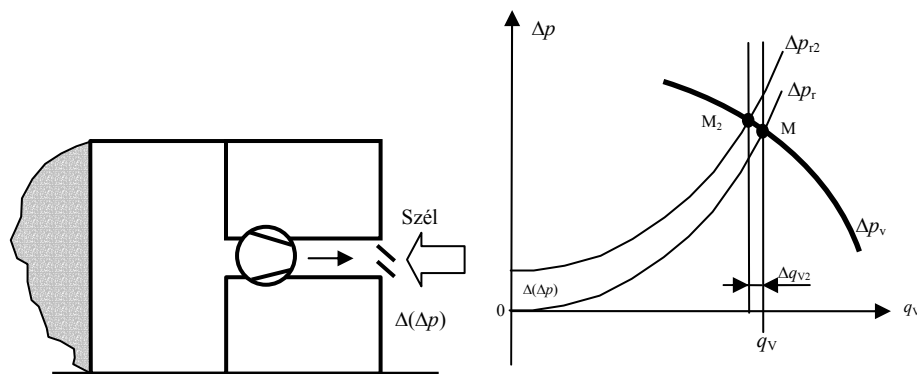
Mindezek közben a ventilátor jelleggörbéje nem változik. (Tegyük fel, hogy a terheléstől független a gép fordulatszáma, illetve a kis mértékű változás miatti fordulatszám-változtatás hatását elhanyagoljuk).



8.7.a ábra.



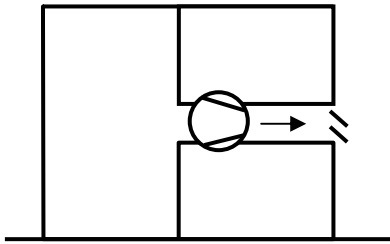
8.7.b ábra.



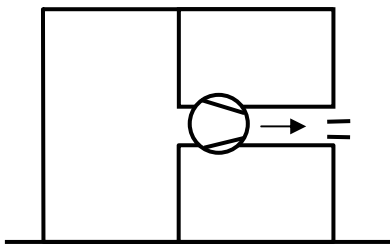
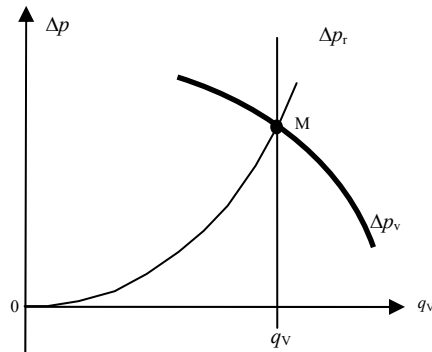
8.7.c ábra.

PÉLDA 2:

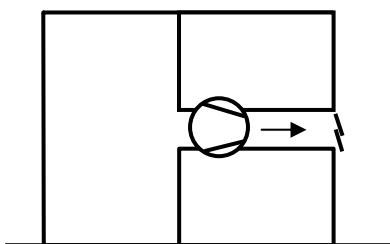
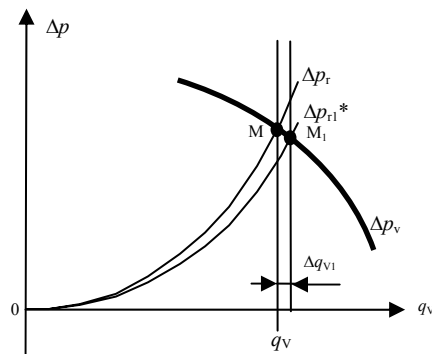
Az M munkapont szempontjából hasonlóképpen módosul a rendszer terhelő görbéje, ha a rendszerbe iktatott fojtás csökken illetve növekszik (pl. a kifúváshoz beépített motoros zsaluzatot a berendezés szabályzó automatikája nyitja illetve zárja, **8.8. ábrák**). A ventilátor jelleggörbéje nem változik.



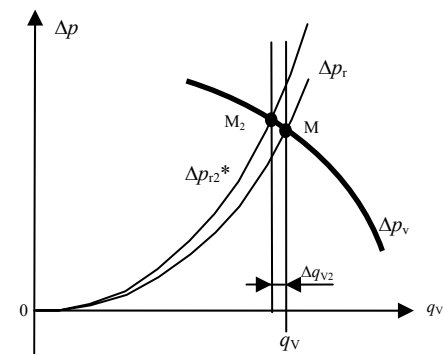
8.8.a ábra.



8.8.b ábra.



8.8.c ábra.



A 8.7.a ábrán illusztrált esetben igaz, hogy

$$\Delta p_v(q_v) = \Delta p_r(q_v) = A + B q_v + C q_v^2 \quad (8.2)$$

, és ezt az állapotot az M pontra jellemző q_v térfogatáram elégíti ki.

A 8.7.b ábrán, a módosult M_1 munkapontban olyan $q_v + \Delta q_{v1}$ térfogatáram jellemző, amely kielégíti a

$$\begin{aligned} \Delta p_v(q_v + \Delta q_{v1}) &\approx \Delta p_v(q_v) + \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} \Delta q_{v1} = \Delta p_r(q_v) + \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} \Delta q_{v1} = \\ A + B q_v + C q_v^2 + \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} \Delta q_{v1} &= \Delta p_r(q_v + \Delta q_{v1}) = (A - \Delta(\Delta p)) + B (q_v + \Delta q_{v1}) + C (q_v + \Delta q_{v1})^2 \end{aligned}$$

(8.3) egyenletet. A deriváltak minden esetben az M pontban jellemző meredekséget jelentik.

A (8.3) egyenletből, a kis változások miatt $\Delta q_{v1}^2 \approx 0$ feltételezéssel

$$\frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} \Delta q_{v1} = \Delta p_r(q_v + \Delta q_{v1}) - \Delta(\Delta p) + B \Delta q_{v1} + 2C q_v \Delta q_{v1} = -\Delta(\Delta p) + \frac{d(\Delta p_r)}{dq_v} \Delta q_{v1} \quad (8.4)$$

Amelyből átrendezve

$$\frac{d(\Delta p_r)}{dq_v} - \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} = \frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta q_{v1}} \quad (8.5)$$

Mivel $\Delta(\Delta p) > 0$, és a szívóhatás miatt a térfogatáram fokozódik, $\Delta q_{v1} > 0$, látható, hogy az M_1 pontban az üzem akkor képes tartósan fennmaradni, ha a terhelő görbe M pontbeli meredeksége nagyobb, mint a ventilátor-jelleggörbéé.

Hasonló gondolatmenetet követve a 8.7.c ábra esetére (a statikus nyomáskülönbség most $(A - \Delta(\Delta p))$), az adódik, hogy

$$\frac{d(\Delta p_r)}{dq_v} - \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} = -\frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta q_{v2}} \quad (8.6)$$

Mivel itt a túlnyomás miatt a térfogatáram csökken, $\Delta q_{v2} < 0$, a görbe-mereedségekkel kapcsolatban az iménti következtetést vonhatjuk le, ha az M_2 munkapont tartósan képes fennmaradni.

A két vizsgált esetből következik, hogy ha a $\pm \Delta(\Delta p)$ „megzavarás” megszűnik, a rendszer visszatér az M munkapontba.

A 8.8.b esetben a zsalu nyitása miatt az eredeti

$$\Delta p_v(q_v) = \Delta p_r(q_v) = A + B q_v + C q_v^2 \quad (8.2)$$

üzemállapothoz képest a C tényező lecsökken $(C - \Delta C)$ értékre. Ekkor, a (8.3) egyenlethez hasonlóan

$$A + B q_v + C q_v^2 + \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} \Delta q_{v1} = \Delta p_r(q_v + \Delta q_{v1}) = A + B (q_v + \Delta q_{v1}) + (C - \Delta C)(q_v + \Delta q_{v1})^2$$

(8.7)

Amelyből

$$\frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} \Delta q_{v1} = \Delta p_r(q_v + \Delta q_{v1}) = B \Delta q_{v1} - \Delta C q_v^2 + (C - \Delta C) 2q_v \Delta q_{v1} \quad (8.8)$$

Kihasználva, hogy $C \gg \Delta C$, átrendezés után írható:

$$\frac{d(\Delta p_r)}{dq_v} - \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} = \frac{\Delta C}{\Delta q_{v1}} q_v^2 \quad (8.9)$$

Mivel az egyenlet jobb oldala pozitív, a meredekségekre kapott következtetés megegyezik a korábbiakkal.

A 8.8.c esetre (a C tényező megnő $(C + \Delta C)$ értékre) fentiekhez hasonlóan

$$\frac{d(\Delta p_r)}{dq_v} - \frac{d(\Delta p_v)}{dq_v} = -\frac{\Delta C}{\Delta q_{v2}} q_v^2 \quad (8.10)$$

a következtetés.

A térfogatáramban lineáris tag tényezőjét változtatva $(B \pm \Delta B)$ szerint (pl. szűrő eltömődése, ill. regenerálása), hasonló az eredmény. Ha a „megzavarások” megszűnnek, a rendszer visszaáll az eredeti M munkapontba.

Az eddigiekben a terhelő rendszer-jelleggörbe változásának hatását vizsgáltuk. Mi történik, ha a ventilátor-jelleggörbe módosul? Ha pl. a fordulatszám ingadozik kis mértékben (pl. frekvenciaváltós fordulatszám-szabályzás vagy a hálózati frekvencia ingadozása miatt), a jelleggörbe pontjai affín parabolán mozdulnak el [1]:

Az M ponthoz tartozó affín parabola:

$$\Delta p_v(q_v) = D q_v^2 \quad (8.11)$$

Ahol D a gép jellemzője. Az n fordulatszám $(n \pm \Delta n)$ változása hatására a térfogatáram a fordulatszámmal arányosan $(q_v \pm \Delta q_v)$ értékre változik. A megváltozott munkapontokra $(\Delta q_v^2 \approx 0)$:

$$\Delta p_v(q_v \pm \Delta q_v) = D (q_v \pm \Delta q_v)^2 = D q_v^2 \pm 2D q_v \Delta q_v = A + B(q_v \pm \Delta q_v) + C(q_v \pm \Delta q_v)^2 \quad (8.12)$$

Amelyből, figyelembe véve, hogy

$$D q_v^2 = \Delta p_v(q_v) = A + B q_v + C q_v^2 \text{ és } \Delta q_v^2 \approx 0, \text{ írható:}$$

$$2D q_v = \frac{d(\Delta p_r)}{dq_v}$$

amelyből nem adódik újabb kritérium. Ha a közeg sűrűsége csökken illetve növekszik (pl. a technológiai folyamat révén a levegő idővel melegszik illetve hűl), a terhelő görbe és a jelleggörbe meredeksége egyaránt változik, de relatív meredekségük csak kis mértékben, tehát az eddigi következtetések mérvadóak.

ÖSSZEFOGLALÓAN:

Egy M munkapont stabil (vagyis kis megzavarásra, majd annak megszűnte után visszaáll az eredeti üzemiállapot), ha az M munkapontban a terhelési görbe meredeksége nagyobb, mint a ventilátor jelleggörbéje:

$$\frac{d(\Delta p_r)}{dq_V} > \frac{d(\Delta p_v)}{dq_V}$$

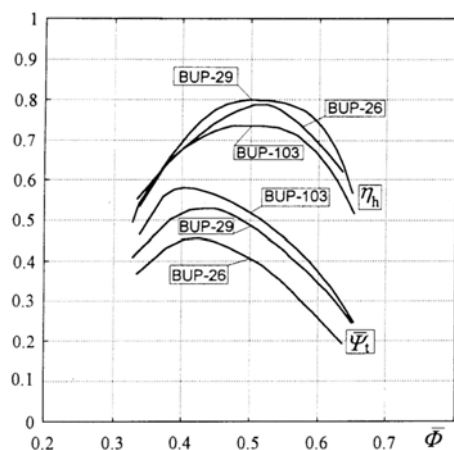
Hasonló következtetés szerepel az [1][2] szakirodalmakban, alapvetően más szemlélettel.

Mivel a terhelő görbe iránytangense mindig pozitív, labilis (nem állandósítható) munkapont kialakulásának veszélye csak a ventilátor-jelleggörbe emelkedő szakaszán áll fenn.

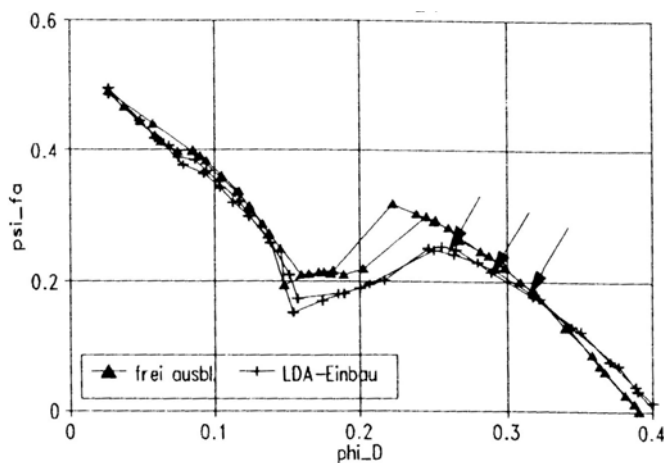
8.3. Stabilitási problémák önállóan üzemelő ventilátor esetén

8.3.1. Axiális ventilátor

Axiális ventilátorok esetén jellemző, hogy a gépet egy össznyomás-növekedési csúchoz tartozó térfogatáramnál kisebb térfogatáramra fojtva visszahajló (labilis) jelleggörbe-ág adódik (8.9. ábra). A lapátózás sajátosságaiból adódóan még kisebb térfogatáramot előidézve a jelleggörbe ismét emelkedik (8.10. ábra). Természetesen a ventilátor-gyártók a katalógusban csak a stabil jelleggörbe-tartományt (az össznyomás-csúchhoz tartozó térfogatáramnál nagyobb térfogatáramú tartományt, biztonsági tartalékkal) ajánlják fel a vásárlóknak. Azonban előfordul, hogy a felhasználó a gépet a stabil tartományon kívüli üzemállapotba kényszeríti.



8.9. ábra. Axiálventilátor-jelleggörbék [14]



8.10. ábra. Axiálventilátorok teljes fojtási görbéje [32]

1. PÉLDA:

Axiálventilátort építünk be egy légtechnikai rendszerbe. Annak érdekében, hogy a térfogatáram esetleges változtathatósága érdekében legyen beavatkozási lehetőségünk – helyesen –, a rendszerbe beépítünk egy motorral állítható zsalut (**8.11. ábra**). Ez a zsalu automatikusan működik a ventilátor teljesítmény-elektronikájával összhangban. Pl. amíg a ventilátor nem forog, a zsalu teljesen nyitva van. A ventilátor-motort az indítóáram-lökés csökkentésére csillag-delta módszerrel indítják [33]. Indításnál az állórésztekercseket a vezérlő elektronika csillagba, az indítás befejezése után (az üzemi fordulatszám elérésekor) deltába kapcsolja. A deltába kapcsolással egyidejűleg kezdi meg az elektronika a zsalumotor vezérlését. A zsaluzatot a motor az általunk előre megszabott zártsági állapotba hozza. Így a fojtás fokozásával akarjuk elérni a kívánt q_V térfogatáramot (**8.12. ábra**). A zsaluzat szükséges zártsági állapotát a zsaluzat karakterisztikájának ismeretében, a csatlakozó rendszer hidraulikai veszteségének előszámításával szabjuk meg. Nyitott zsaluzattal a terhelő görbe legyen a $\Delta p_{r,0}$ görbe.

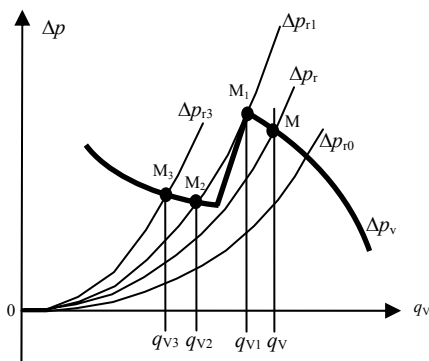
Tegyük fel, hogy hibásan ítéltük meg a csatlakozó rendszer ellenállását: az a valóságban nagyobb, mint az általunk kiszámított (pl. egy rendszerelem veszteségét nem vettük figyelembe). Emiatt a motoros zsalu a zárás során a terhelő görbét – a kívánt q_V térfogatáram M munkapontján átfutva – a $\Delta p_{r,1}$ görbébe viszi, ahol – a nyomásnövekedési csúcs elérésével, q_{V1} térfogatáramon, az M_1 munkapontban – azonnal labilis üzemállapot jön létre (a terhelő görbe meredeksége kisebb, mint a jelleggörbéé). A térfogatáram ugrásszerűen leesik a kívánt q_V értéknél jelentősen kisebb q_{V2} értékre, ahol stabil M_2 munkapont alakul ki. Sőt, ha időközben a zsaluzat tovább zár, a még kisebb q_{V3} térfogatáram fog stabilizálódni (M_3 munkapont, $\Delta p_{r,3}$ terhelési görbe).

MEGOLDÁS: felül kell bírálni a zsaluzat korábban elrendelt zártsági állapotát. A fojtást mérsékelni kell annak érdekében, hogy a terhelési görbe a $\Delta p_{r,0}$ állapotból a szükséges Δp_r állapotba jusson, és ne haladjon túl az M ponton. Látható, hogy nyitott zsaluzattal indítva a rendszert a labilis üzem elkerülhető.





8.11. ábra. Példa axiálventilátor és motoros zsaluzat beépítésére



8.12. ábra.

2. PÉLDA:

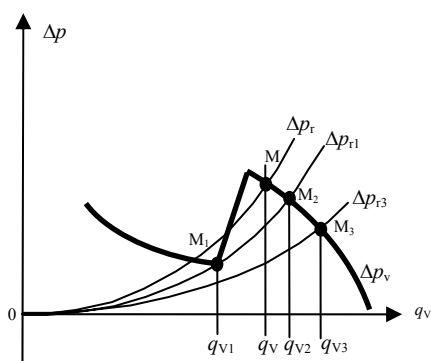
Az előbbihez hasonló elrendezésben – helytelenül – zárt zsaluzattal indítunk (8.13. ábra). A fojtás csökkentésével, a zsalu nyitásával akarjuk elérni a kívánt q_v térfogatáramot.

A motoros zsalu a nyitás során a terhelő görbét a Δp_{r1} görbébe viszi, ahol q_{v1} térfogatáramon, az M_1 munkapontban labilis üzemállapot jön létre. A térfogatáram ugrásszerűen megnő a kívánt q_v értéknél nagyobb q_{v2} értékre, ahol stabil M_2 munkapont alakul ki. Sőt, ha időközben a zsaluzat tovább nyit az általunk elrendelt értékig, a még nagyobb q_{v3} térfogatáram fog stabilizálódni (M_3 munkapont, Δp_{r3} terhelési görbe).

Ezután külön intézkedést kellene tenni, hogy a zsalu zárjon vissza, hogy a Δp_r terhelési görbét kapjuk. Irányítástechnikai bonyolítás, feleslegesen!

MEGOLDÁS: ennek a tortúrának az elkerülésére nyitott zsaluzattal kell indítani, és csak a szükséges mértékben zárni (lásd 1. példa).

Axiálventilátort tehát nem célszerű zárt állapotban indítani – hacsak a technológia különlegességei azt meg nem követelik.



8.13. ábra.

3. PÉLDA:

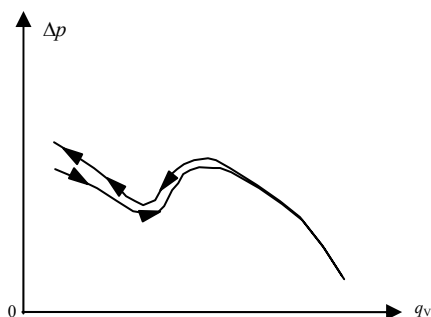
A fenti két példa vezérelt rendszerre vonatkozott, azaz a zsaluzat mozgatására kiadja az elektronika a parancsot, de visszajelzés nem érkezik a térfogatáramról.

Szabályzott rendszer esetén a stabilitási problémák hatása fokozottan jelentkezik.

Vegyük alapul az 1. példában szereplő rendszert. Tegyük fel, hogy a ventilátort „fekete doboznak” tekintve (jelleggörbéjét nem ismerve), szabályzott térfogatáramot akarunk megvalósítani, amely a q_{v1} és q_{v2} értékek közé esik. Alapgondolatunk az, hogy mérjük a térfogatáramot ill. egy azzal szorosan összefüggő mennyiséget (pl. csőfali depressziót). Ha a mért érték alapján a térfogatáram túl kevésnek bizonyul, a zsalut a szabályzás nyitja, ha túl nagy, akkor zárja.

A köztes jelleggörbe-tartomány labilitása miatt a megcélzott térfogatáramra nem tud a rendszer ráállni. A zsaluzat folyamatosan nyit és zár, a térfogatáram a labilis tartományban ingadozik, ami megakadályozza a megbízható, folyamatos üzemet és a szereplő berendezések élettartamának csökkenését okozza.

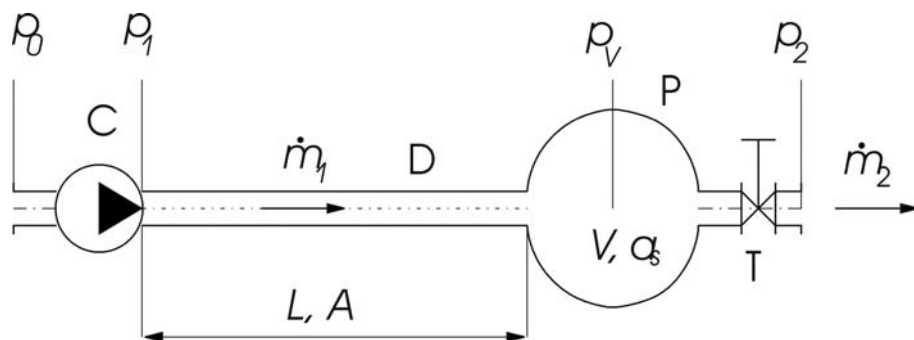
A fenti példákban említett problémák bonyolultságát fokozza, hogy az axiálgépek hiszterézissel rendelkeznek, vagyis eltérő jelleggörbéket kapunk, ha a gépet teljesen fojtott állapotból nyitva, vagy teljesen nyitott állapotból fojtva mérjük (8.14. ábra).



8.14. ábra. Hiszterézis

4. PÉLDA:

Pumpálás (8.15. ábra).



8.15. ábra. Ventilátor / kompresszor és rendszer együttműködése [34]

A labilis jelleggörbe-ágon üzemelő nagynyomású ventilátor / kompresszor és az induktív, kapacitív és disszipatív tagokat (azaz pl. csővezeték, helyiség, fojtás) tartalmazó rendszer együtt lengő rendszert alkotnak. Ez üzemvitel szempontjából és akusztikailag egyaránt káros. Pl. amíg kicsi a csővezetékben a sebesség, a csősúrlódás is kicsi. A labilis üzemű ventilátor a csőben elkezd gyorsítani a közeget (térfogatáram-növelés), és közeget szállít a helyiségbe. Az ennek hatására a csőben megnövekedett sebesség miatt nő a csősúrlódás, ez lassító hatást fejt ki. A helyiségbe szállított közeg hatására a helyiségben megnő a nyomás, ez a hatás „légrugóként” szintén lassítja a közeget. A térfogatáram lecsökken, emiatt a lassító hatások is csökkennek. A közeg újra gyorsulni kezd stb.

8.3.2. Előrehajló lapátos radiális ventilátor

Kis szállításoknál visszahajló jelleggörbe-ággal rendelkeznek. Ez önmagában nem okoz labilis üzemállapotot, csak akkor, ha a terhelő rendszer jelleggörbéje magasabban kezdődik, mint a ventilátor zérus szállított mennyiséghez tartozó nyomásnövekedése. Emiatt az előrehajló lapátos gépeket a teljes üzemállapot-tartományra ajánlja a legtöbb katalógus.

PÉLDA:

Aerob fermentációs folyamat elősegítésére kisméretű fermentor (8.16., 8.17. ábra) alján csőlírán keresztül levegőt buborékolatunk be. A légszállítást fordulatszám-szabályzású nagynyomású (előrehajló lapátos) ventilátorral oldjuk meg. Névleges fordulatszámon a ventilátor jelleggörbéje Δp_{v_0} (8.18. ábra). Ezen a fordulatszámon a szállítás el sem indul! (A zérus térfogatáramhoz tartozó statikus nyomásnövekedés kisebb, mint a terhelő rendszer statikus nyomáskülönbsége.) A fordulatszámot növelve eljut a gép a Δp_{v_1} jelleggörbéhez, amelyen azonnal M_1 labilis munkapont adódik, amelyből a rendszer ugrásszerűen átugrik az M_2 stabil munkapontba. A kívánt q_v térfogatáram elérésére visszacsökkentjük a fordulatszámot.

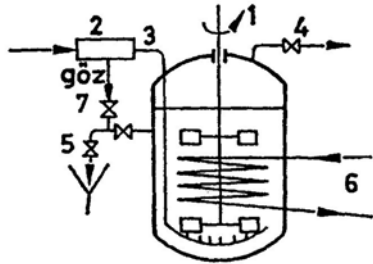
E módszer hibái:

- A hirtelen meginduló levegőáram fokozza a fermentlé habosodását,
- A fordulatszám-szabályzás költséges.

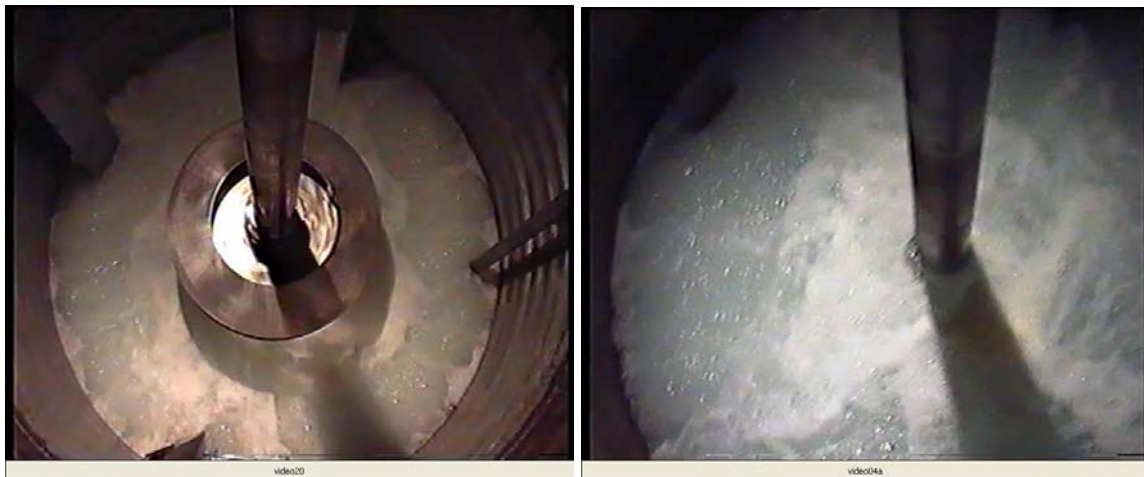
Kedvezőbb megoldás a megkerüléses (by-pass) szabályzás (8.19. ábra), amellyel az eredeti (névleges fordulatszámú) géppel elérhető a q_v térfogatáram, kezdeti levegőlökés nélkül. Ezzel a megoldással egy a fermentortól független ágon fojtással (B szelep) beállítjuk az M munkapontot (Δp_{r_B} terhelő görbe). Ez az alrendszer a fermentorról le van választva egy

állítható S fojtással (kezdetben teljesen zárva). Fojtott állapotban kell indítanunk a ventilátort, a hajtó motor túlterhelésének elkerülésére. Miután az M munkapont kialakult, fokozatosan nyitjuk az S fojtást a fermentor felé és fokozatosan zárjuk a B fojtást a mellékágon. Az alrendszer és a fermentor párhuzamosan kapcsolt, tehát eredő terhelési görbéjükön az azonos nyomáskülönbséghez tartozó térfogatáramok összegződnek.

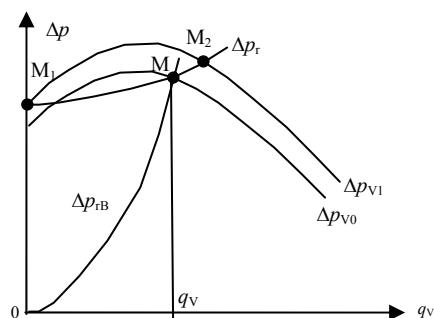
Ha a fermentorban a fermentlé szintje változhat, a fordulatszám-szabályzás elkerülhetetlennek látszik.



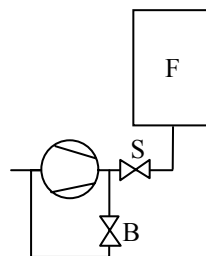
8.16. ábra. Aerob fermentor [35]



8.17. ábra. Aerob vegyipari fermentorban lejátszódó keverési folyamat



8.18. ábra.



8.19. ábra. By-pass szabályzás

8.3.3. Hátrahajló lapátosú radiális ventilátor

Önállóan üzemelő gép esetén nem merül fel stabilitási probléma, mert a jelleggörbe végig negatív meredekségű.