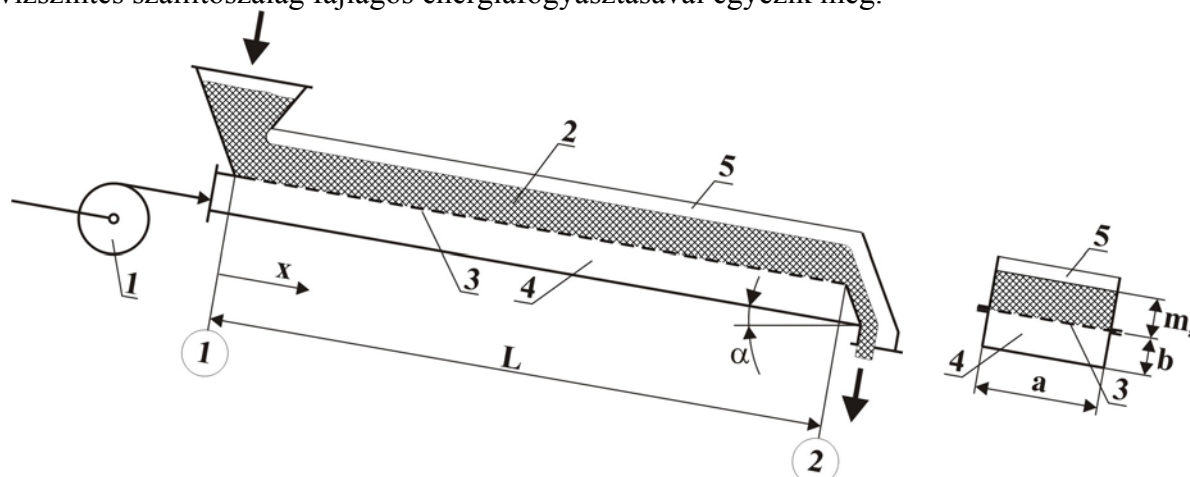


## 7. Aerációs csatorna

Az aerációs, vagy léglazítású szállítócsatorna poros és finomszemcsés anyagok (pl. cement, pernye, liszt, műanyag porok stb.) közel vízszintes irányú szállítására szolgáló berendezés. Ez az anyagszállítási mód kitűnik gazdaságosságával, igénytelenségével, rugalmasságával és a csatorna méretétől függő nagy szállítási teljesítményével, valamint azzal, hogy nincs mozgó alkatrésze és az anyagot kis sebességgel, kíméletes üzemmódban szállítja. Olyan finom por szállításánál, melynek fluidizációs sebessége a  $v_f=1-2\text{cm/s}$  értéket nem haladja meg a csatorna fajlagos energiafogyasztása az  $e=2-5\text{J/kgm}$  érték között mozog. Ez az érték a vízszintes szállítószalag fajlagos energiafogyasztásával egyezik meg.



7.1. ábra. Aerációs csatorna vázlata. Felül nyitott csatorna

1 Fluidizáló levegőt szállító ventilátor

4 Légelosztó csatorna

2 Szállítandó anyag

5 Anyagcsatorna

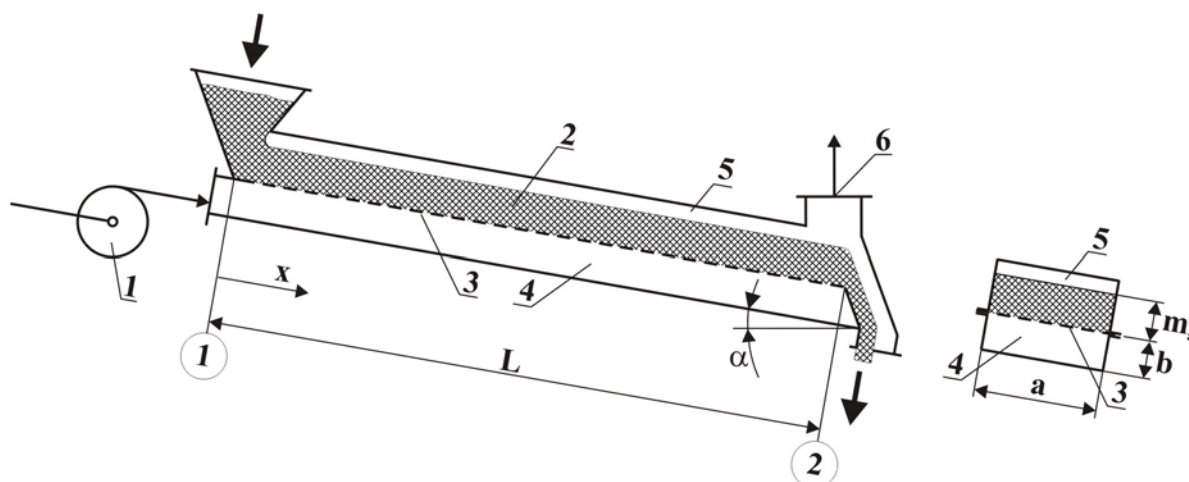
3 Légelosztó réteg

A csatorna elvi vázlatát a 7.1. ábra mutatja. Ebben az ábrában látható csatorna felül nyitott, ami azt jelenti, hogy a szállított anyag felett mindenütt jó közelítéssel légköri nyomás uralkodik.

Az enyhe lejtésű, téglalap keresztmetszetű lemezcsatornát a „3” jelű légáteresztő (légelosztó) szövet, vagy kerámiaréteg borítja. Az egy jelű nagynyomású centrifugál ventilátor által szállított levegő a „4” jelű légelosztó csatornába áramolva áthalad a légelosztó rétegen és a „2” jelű ömlesztett poros anyag halmazát fluidizálja. Az ilyen módon folyékonyvá vált anyag a csatorna lejtésének irányában csekély energia felhasználásával könnyen elszállítható. A fluidizáló levegő az „5” jelű anyagcsatorna felső részén a szabadba távozik.

Az aerációs csatorna végeredményben gravitációs szállítóeszköz, hiszen a ventilátor által szállított lazító levegő csak a szemcsehalmaz folyékonyítására szolgál (fluidizálja a szemcsehalmazt). A felhasznált csekély mennyiségű levegő egyben a csatorna gazdaságosságát is magyarázza.

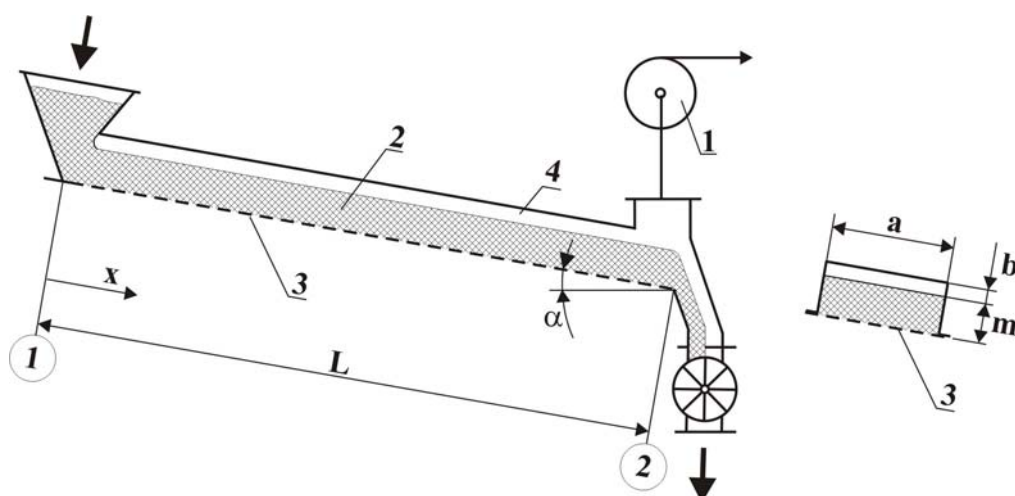
A 7.2. ábrában bemutatott kettős csatorna felül zárt, ami azt jelenti, hogy az anyaghalmazon átáramló fluidizáló levegő az „5” jelű gyűjtőcsatornában összegyűlve a „6” jelű elvezető nyíláson át távozik. Az összegyűjtött levegőben lévő esetleges finom szemcsészerű por szűrővel ily módon leválasztható.



7.2. ábra. Felül zárt aerációs csatorna vázlata. Kettős csatorna

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1 Fluidizáló levegőt szállító ventilátor | 4 Légelosztó csatorna         |
| 2 Szállítandó anyag                      | 5 Gyűjtőcsatorna              |
| 3 Légelosztó réteg                       | 6 Fluidizáló levegő elvezetés |

A 7.3. ábrában egy alsó légtér nélküli szívott üzemű csatornát mutatunk be. A szívott üzemben dolgozó ventilátor a „4” jelű gyűjtőcsatorna végén, az anyag feladással ellentétes oldalon csatlakozik a csatornához. A ventilátor a légelosztó szöveten át közvetlenül a légtérből szívja a fluidizáló levegőt. Ez a szállítócsatorna az egyszerűbb építésével tűnik ki.



7.3. ábra. Szívott üzemű csatorna vázlata. Csúpsz csatorna

- |  |                    |
|--|--------------------|
| 1 Fluidizáló levegőt szállító ventilátor | 3 Légelosztó réteg |
| 2 Szállítandó anyag                      | 4 Gyűjtőcsatorna   |

### 7.1. A csatorna szállítóképessége

A csatorna szállítóképességén a csatornában áramló fluidizált szilárd anyag tömegáramát értjük. Az anyag tömegáram Szőnyi szerint [28] az alábbi módon számítható:

$$m_a = C_{10} i A^2 \varphi^* \quad (7.1)$$

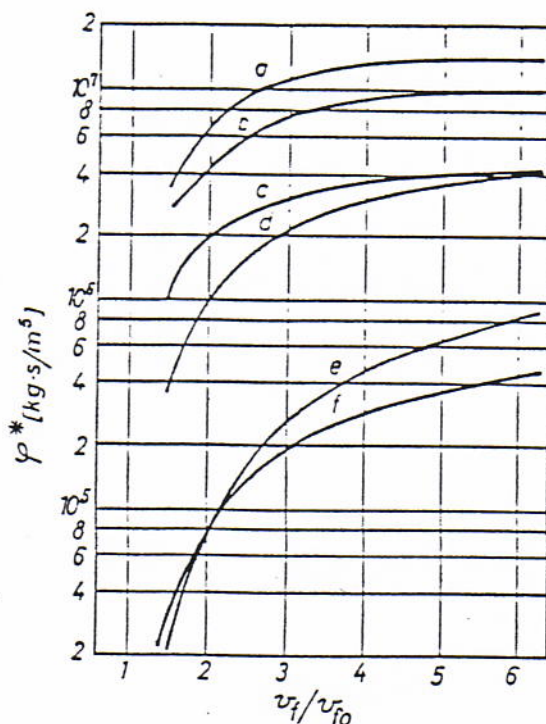
Az összefüggés szerint a szállított anyag tömegárama a csatorna  $i = \tan \alpha$  lejtésétől (ez a gyakorlatban  $1^\circ$ - $6^\circ$  között mozog, konkrét értéke a szállítandó anyagfajta tulajdonságaihoz

igazítandó laboratóriumi szállítási kísérletekkel történő meghatározás alapján), az anyag áramlásra merőleges  $A=am_o$  keresztmetszetének négyzetétől, valamint az úgynevezett „ $\varphi^*$ ” módosított fluiditási tényezőtől függ. Az egyenletben a „ $C_{1o}$ ” állandó értéke:  $C_{1o}=0.638m/s^2$ .

A 7.1. összefüggés közelítő jellegű és  $\pm 5\%$ -os hibával használható mindaddig, míg az „ $a/m_o$ ” méretviszony

$$0.25 < a/m_o < 1.0 \quad (7.2)$$

tartományban van.



7.4. ábra. Módosított fluiditás a sebességviszony függvényében ábrázolva;  $v_f$  fluidizációs sebesség,  $v_{fo}$  minimális fluidizációs sebesség (anyagjellemző) [28]

- |                  |             |
|------------------|-------------|
| a. Thomasfoszfát | d. Cement   |
| b. Kálisó        | e. Búzadara |
| c. Timföld       | f. Gipsz    |

A 7.4. ábrában néhány anyag módosított fluiditása látható a „ $v_f/v_{fo}$ ” sebességviszony függvényében ábrázolva. A „ $v_f$ ” fluidizációs sebesség dimenziótlánítására a „ $v_{fo}$ ” minimális fluidizációs sebességet használtuk.

A 7.4. ábra és a 7.1. összefüggés néhány szembetűnő sajátossága:

- A  $v_f/v_{fo} < 3$  tartományban „ $\varphi^*$ ” rohamosan változik, azaz a tömegáram jelentősen változik „ $v_f$ ” változásával.
- A  $v_f/v_{fo} > 6$  esetében „ $\varphi^*$ ” közel állandó. A tömegáram tehát ebben a tartományban alig függ „ $v_f$ ”-től. Ez azt jelenti, hogy ennek növelésével alig lehet a tömegáramot növelni, legfeljebb a csatorna energiafogyasztása és a kopás veszélye nő meg „ $v_f$ ” növelésével.

A gyakorlatban  $v_f/v_{fo} \approx 1.1 \sim 1.5$  érték választása szokásos.

A „ $\varphi^*$ ” módosított fluiditás értéke elméleti úton is számítható. Sajnos a bonyolult számítási összefüggésben szereplő változók mérési hibáinak halmozódása miatt az „ $m_a$ ” tömegáram hibahatára meglehetősen nagy, ezért a gyakorlatban „ $\varphi^*$ ” értékét kisméretű, ún. „standard” csatornában méréssel határozzák meg, ahol „ $m_a$ ”, „ $i$ ”, „ $A$ ” és „ $v_f$ ” mennyiségek könnyen változtathatók és jól mérhetők.

## 7.2. A csatorna áramlástan paramétereinek meghatározása

A felül zárt, kettős légterű aerációs csatorna „ $\Delta p_{\text{öcsat}}$ ” nyomásesése három részből tehető össze, éspedig a légeosztó réteg „ $\Delta p$ ”, az alsó és felső csatorna „ $\Delta p_1$ ”, valamint a fluidizált anyagréteg „ $\Delta p_2$ ” nyomáseséséből. Írható tehát, hogy:

$$\Delta p_{\text{öcsat}} = \Delta p + \Delta p_1 + \Delta p_2 \quad (7.3)$$

A légszállító géptől a csatornáig vezető csőszakaszok nyomásesései természetesen külön számítandók és veendőek figyelembe.

A fluidizált anyagréteg nyomásesését az „ $m_o$ ” rétegmagasság és a „ $v_f$ ” sebességtől függő „ $\rho_h$ ” halmazsűrűség segítségével az alábbiak szerint számíthatjuk:

$$\Delta p_2 = m_o g \rho_h \quad (7.4)$$

Az anyag fluidizálása során az anyag térfogata növekszik, ami a halmazsűrűség csökkenését vonja maga után. A tapasztalatok szerint a „ $\Delta p_2$ ” nyomásesés a csatorna „ $\Delta p_{\text{öcsat}}$ ” nyomásesésének hozzávetőlegesen 5%-át teszi ki, ezért nagyon sokszor az anyagréteg ellenállását a légeosztó szövet ellenállásával együttesen veszik figyelembe.

Az alsó levegőelosztó és a felső levegőgyűjtő csatornák „ $\Delta p_1$ ” ellenállását annak feltételezésével számítják, hogy a csatorna hossza mentén a légeosztó rétegen átáramló fluidizáló levegő „ $v_f$ ” sebessége állandó. Ez egyúttal azt jelenti, hogy a csatorna alsó, levegőelosztó terében a csatornairányú levegősebesség lineárisan csökken a belépésnél kialakuló maximális értékről a csatorna végén lévő nulla értékre. A csatorna felső levegőgyűjtő terében a fenti hossz menti levegősebesség eloszlás függvény szintén lineáris, meredeksége az áramlás irányában haladva pozitív és értéke a csatorna elején lévő zérus értékről a csatorna végén kialakuló maximális megengedhető sebesség értékre nő.

A gyakorlat azt mutatta, hogy ez a feltételezés, főleg hosszabb csatorna esetén nem teljesül. Az anyagréteget fluidizáló levegő „ $v_f$ ” sebessége is változik a csatorna hossza mentén, így az alsó elosztócsatornában (felső gyűjtőcsatornában) áramló levegő sebességeloszlása eltér a lineáristól.

A csatorna méretviszonyaitól és elsősorban az elosztóréteg minőségétől függően a fluidizáló levegő „ $v_f$ ” sebessége 20~40%-os eltérést is mutathat az állandó értékhez képest. Azért, hogy a szállított anyag mindenütt kellően fluidizált állapotban legyen, a csatornát túlméretezik, megnövelve ezáltal az energiafelhasználást és a szállított anyag kiporzását. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a csatornán átáramló levegőt utólagos szűrésnek, tisztításnak kell esetleg alávetni.

Mindezek indokolják, hogy a csatorna légelosztó terének nyomásesésével kissé részletesebben foglalkozzunk.

### 7.2.1. Felül nyitott aerációs csatorna. Súrlódásmentes eset

Az ismertetendő számítási eljárás az alsó, légelosztó csatorna „ $\Delta p_1$ ” és a lazítóréteg „ $\Delta p$ ” nyomásesését együttesen veszi figyelembe és elhanyagolja a fluidizált anyagréteg „ $\Delta p_2$ ” nyomásesését.

A csatorna légelosztó tere sebesség és nyomáeloszlásának, valamint a légelosztó rétegen átáramló fluidizáló levegő „ $v_f$ ” sebessége hossz menti eloszlásának meghatározására felállítandó matematikai-fizikai modell felírásánál az alábbiakban felsorolt egyszerűsítő feltételeket tesszük:

- A levegő összenyomhatóságát nem vesszük figyelembe, azaz  $\rho_o = \text{áll.}$  közelítéssel számolunk
- A nyitott csatornában az áramló anyagréteg felett a levegő áramlásától eltekintünk és mindenütt  $p_o = \text{áll.}$  nyomással számolunk
- A csatorna légelosztó terében a sebességprofil változásától eltekintünk és az itt érvényes átlagsebességgel számolunk
- A légelosztó rétegen átáramló levegő nyomásesésének felírásakor a felette lévő anyagréteg ellenállását – annak kis értéke miatt – elhanyagoljuk. (Természetesen megtehetnénk, hogy – mint már mondtuk – a jó közelítéssel állandó „ $m_o$ ” magasságú anyagréteg ellenállásával megnövelt ellenállású szövetrel számolunk a továbbiakban). Az elhanyagolás annál is inkább megengedhető, mivel az anyagréteg ellenállásának, „ $\Delta p_2$ ”-nek többszörösére választják az elosztóréteg „ $\Delta p$ ” ellenállását a vészhelyzetben, üzemzavar esetén szállítandó anyaggal telt szelvénnel leállított csatorna újra elindíthatósága érdekében. Szokásos a

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_2} = 5 \sim 15$$

érték választása. A nagyobb érték választása esetén a csatorna energiafogyasztása nő meg. Összehasonlításként szolgál a 7.2.6. alatti a. fejezettrészben a 7.20. ábrával kapcsolatban bemutatott számítás.

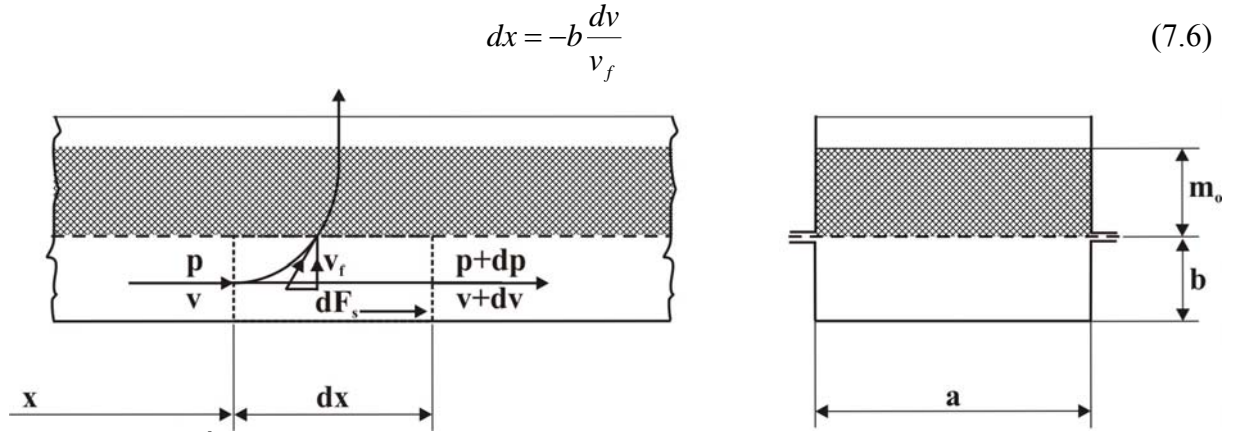
- A légelosztó csatornát három oldalról legtöbbször fémlemez, míg felülről a légelosztó szövet, vagy porózus réteg határolja. A csatorna ellenállását úgy számoljuk, mintha a négy oldalt azonos minőségű anyagból készítették volna
- A légelosztó rétegen kis sebességgel áramló anyagréteg mozgásától eltekintünk

a. Hossz menti sebességeloszlás a csatorna légelosztó terében

A 7.5. ábrában vázolt légelosztó csatorna „ $x$ ” helyén kimetszett elemi csatornaszakaszra felírt egyenlet az alábbi formát ölti:

$$(v + dv)\rho_o ab - v\rho_o ab + v_f \rho_o a dx = 0 \quad (7.5)$$

A lehetséges összevonások után a 7.5. egyenlet az alábbi módon írható:



7.5. ábra. Áramlástanai jelölések a légeosztó csatorna „x” helyén kimetszett ellenőrző felületen

Bevezetve az alábbiakban felsorolt szimplexeket:

$$x^* = \frac{x}{L}; \quad b^* = \frac{b}{L}; \quad v^* = \frac{v}{v_1}; \quad v_f^* = \frac{v_f}{v_1}; \quad p^* = \frac{p}{p_o}$$

A 7.6. egyenlet dimenziótlan formája ezzel az alábbi:

$$dx^* = -b^* \frac{dv^*}{v_f^*} \quad (7.7)$$

A légeosztó rétegen valamint a fluidizált anyagrétegen átáramló levegő együttes nyomásesésének felírásánál elhanyagoljuk az anyagréteg ellenállását – mint mondtuk annak kis értéke miatt – és csak a légeosztó réteg nyomásesését vesszük figyelembe, amelyet úgy választanak, hogy a légeosztó réteg ellenállása többszöröse legyen az anyagréteg ellenállásának, azaz  $\frac{\Delta p}{\Delta p_2} = 5 \sim 15$  legyen. (ld. A 7.2. alatti fejezettrészt). Írható tehát, hogy:

$$\Delta p = p - p_o \cong k_o \rho_o v_f \quad (7.8)$$

Ahol „ $k_o$ ” az elosztórétegre jellemző állandó

Az egyenleteket dimenziótlanítva, majd abból „ $v_f^*$ ” értékét kifejezve a következő egyenlethez jutunk:

$$v_f^* = \frac{p_o}{k_o \rho_o v_1} (p^* - 1) = P_1 (p^* - 1) \quad (7.9)$$

Az egyenletben „ $P_1$ ” összevont dimenziótlan állandót jelöl, melynek definíciója:

$$P_1 = \frac{p_o}{k_o \rho_o v_1}$$

A 7.7. valamint a 7.9. egyenletek összevonása után kapjuk, hogy:

$$dx^* = -\frac{b^*}{P_1} \frac{dv^*}{p^* - 1} \quad (7.10)$$

A 7.5. ábra „x” helyén kimetszett elemi csatornaszakaszra felírandó impulzustételnél figyelembe kell venni, hogy az áramvonal kettéágazik, az ellenőrző felületbe beáramló tömeg egy része a légelosztó rétegen áramlik át, a másik része pedig a csatornában megy tovább. A légelosztó rétegen átmenő elemi tömegáram

$$dm = v_f \rho_o adx \quad (7.11)$$

értékű. Az egyenletben szereplő „v<sub>f</sub>” fluidizációs sebesség a görbült áramvonalon az ellenőrző felületből kilépő sebesség függőleges komponense. A sebesség vízszintes irányú összetevőjét nem ismerjük. Feltesszük, hogy értéke a csatornairányú „v” sebességgel egyezik meg. Ezzel az „adx” elemi felületen kiáramló levegő impulzusának „x” irányú komponense:

$$dI_x \cong dm v \cong v_f \rho_o adx v \quad (7.12)$$

Ezeket figyelembe véve az impulzustétel az alábbi formát ölti:

$$pab - (p + dp)ab - dF_s = (v + dv)\rho_o ab(v + dv) - v\rho_o abv + v_f \rho_o adxv \quad (7.13)$$

A 7.13. egyenletben az elemi súrlódási erő:

$$dF_s = \frac{\lambda}{2d_h} \rho_o v^2 abdx \quad (7.14)$$

ahol  $d_h = \frac{4A}{K} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{(a+b)}$  a csatorna hidraulikai átmérője.

Súrlódásmentes, azaz veszteségmentes esetben:  $dF_s=0$ .

Veszteségmentes esetben a 7.13. egyenlet dimenziótlanítása után, figyelembe véve a 7.10. egyenletet összevonás és rendezés után az alábbi egyenlethez jutunk:

$$p_o dp^* = -v_1^2 \rho_o v^* dv^* \quad (7.15)$$

Ahol a dimenziótlan szimplexek:

$$p^* = \frac{p}{p_o} \quad \text{dimenziótlan nyomás}$$

$$dp^* = \frac{dp}{p_o} \quad \text{dimenziótlan nyomáskülönbség}$$

$$v^* = \frac{v}{v_1} \quad \text{dimenziótlan sebesség}$$

$dv^* = \frac{dv}{v_1}$	dimenziótlán sebességkülönbség
$p_o$	- légköri nyomás
$v_1$	- dimenziótlánításra használt sebesség a csatornánál. Átlagsebesség a 7.1. ábrán jelölt ① keresztmetszetben

A 7.15. egyenlet közvetlenül integrálható. Integrálás után kapjuk, hogy:

$$p^* = -\frac{\rho_o v_1^2}{2p_o} v^{*2} + C \quad (7.16)$$

Az egyenlet az alábbi formában is írható:

$$p^* + \frac{\rho_o v_1^2}{2p_o} v^{*2} = p^* + P_2 v^{*2} = p_{\bar{o}}^* = \text{állandó} \quad (7.17)$$

a csatorna hossza mentén veszteségmentes esetben.

Az egyenletben „ $P_2$ ” összevont dimenziótlán állandót jelöl, melynek definíciója:

$$P_2 = \frac{\rho_o v_1^2}{2p_o}$$

továbbá  $p_{\bar{o}}^* = \frac{p_{\bar{o}}}{p_o}$  a dimenziótlán össznyomás.

A 7.17. egyenlet dimenziós formája a csatorna elején a  $p=p_1$  valamint a  $v=v_1$  feltétellel:

$$p + \frac{\rho_o}{2} v^2 = p_1 + \frac{\rho_o}{2} v_1^2 \quad (7.18)$$

A  $p_{\bar{o}} = p + \frac{\rho_o}{2} v^2$  össznyomást bevezetve írható, hogy:

$$p_{\bar{o}} = p_{\bar{o}1} = \text{áll.} \quad (7.19)$$

A 7.19. egyenlet azt jelenti, hogy veszteségmentes esetben a légeosztó csatorna úgy „működik”, mint egy diffuzor.

A csatorna hosszmenti sebességeloszlásának meghatározása végett a 7.10. és a 7.17. egyenleteket figyelembe véve az alábbi dimenziótlán egyenlethez jutunk:

$$dx^* = -\frac{b^*}{P_1 (p_{\bar{o}}^* - 1) - P_2 v^{*2}} dv^* \quad (7.20)$$



Az egyenletben  $b^* = \frac{b}{L}$  a csatorna dimenziótlan magassága,  $L$  a csatorna hossza.

A 7.20. egyenlet integrálása után – bevezetve a  $P_3 = \sqrt{\frac{P_2}{p_o^* - 1}}$  jelölést – kapjuk, hogy:

$$x^* = -\frac{b^* P_3}{2P_1 P_2} \ln \frac{1 + P_3 v^*}{1 - P_3 v^*} + C \quad (7.21)$$

Az egyenlet integrálási állandóját abból a feltételből határozhatjuk meg, hogy a csatorna végén, az  $x^* = \frac{x}{L} = 1$  helyen a csatorna irányú sebesség, mivel a csatorna vége zárt

$v^* = \frac{v}{v_1} = 0$ . Ezzel a feltétellel  $C=1$ .

A 7.21. egyenletből – az integrálási állandót figyelembe véve – „ $v^*$ ” értéke kifejezhető. Az egyenlet a csatorna dimenziótlan sebességét adja a dimenziótlan csatornahossz függvényében, ami a  $P_4 = \sqrt{\frac{2p_o}{b^{*2} k_o^2 \rho_o} (p_o^* - 1)}$  összevont dimenziótlan állandót bevezetve az alábbi alakban adódik:

$$v^* = \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{P_3 \left[ e^{P_4(1-x^*)} + 1 \right]} \quad (7.22)$$

b. A légeosztó rétegen átáramló „ $v_f$ ” levegősebesség hosszmenti eloszlásának meghatározása

A légeosztó rétegen átáramló „ $v_f$ ” levegősebesség hosszmenti eloszlásának meghatározása végezt fejezzük ki a 7.7. egyenletből „ $v_f^*$ ” értékét. Írható, hogy:

$$v_f^* = -b^* \frac{dv^*}{dx^*} \quad (7.23)$$

A 7.20. egyenletből  $dv^*/dx^*$  értékét a 7.23. egyenletbe helyettesítve jutunk az alábbi egyenlethez:

$$v_f^* = P_1 (p_o^* - 1) (1 - P_3^2 v^{*2}) \quad (7.24)$$

A „ $v^*$ ” 7.22. egyenlet szerinti kifejezését a 7.24. egyenletbe helyettesítve kapjuk a  $v_f^* = f(x^*)$  függvénykapcsolatot. A dimenziótlan „ $v_f^*$ ” levegősebesség hosszmenti eloszlása ezzel az alábbi egyenletből számítható:

$$v_f^* = P_1(p_{\delta}^* - 1) \left\{ 1 - \frac{\left[ \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{e^{P_4(1-x^*)} + 1} \right]^2}{\left[ \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{e^{P_4(1-x^*)} + 1} \right]^2} \right\} \quad (7.25)$$

c. A légeosztó rétegen átáramló összlevegő mennyiségének meghatározása. A csatornát tápláló levegő térfogatárama

A csatorna „ $x$ ” helyén kimetszett elemi légeosztó rétegen átáramló „ $dq$ ” elemi térfogatáram értéke a helyi „ $v_f$ ” sebességet figyelembe véve az alábbi:

$$dq = adxv_f \quad (7.26)$$

A 7.26. egyenlet dimenziótlan formája a dimenziótlanításhoz felhasznált „ $ab$ ” felülettel és a belépő „ $v_I$ ” sebességgel a következőként írható:

$$dq^* = \frac{v_f^*}{b^*} dx^* \quad (7.27)$$

Az egyenletbe „ $v_f^*$ ” értékét a 7.25. egyenletből helyettesítve kapjuk, hogy:

$$dq^* = \frac{P_1}{b^*} (p_{\delta}^* - 1) \left\{ 1 - \frac{\left[ \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{e^{P_4(1-x^*)} + 1} \right]^2}{\left[ \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{e^{P_4(1-x^*)} + 1} \right]^2} \right\} dx^* \quad (7.28)$$

A 7.28 egyenlet az alábbi egyenlettel ekvivalens:

$$\frac{b^*}{P(p_{\delta}^* - 1)} q^* = \int_{x^*=0}^{x^*=1} dx^* - \int_{x^*=0}^{x^*=1} \frac{\left[ \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{e^{P_4(1-x^*)} + 1} \right]^2}{\left[ \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{e^{P_4(1-x^*)} + 1} \right]^2} dx^* \quad (7.29)$$

Elvégezve a jobboldalon kijelölt műveletet, a dimenziótlan térfogatáram az alábbi egyenletből határozható meg:

$$q^* = \frac{2P_1}{b^* P_4} (p_{\delta}^* - 1) h \frac{P_4}{2} = \frac{2P_1}{b^* P_4} (p_{\delta}^* - 1) \frac{e^{P_4} - 1}{e^{P_4} + 1} \quad (7.30)$$

Tekintettel arra, hogy az egyenlet jobboldalán (a „ $P_I$ ” tényezőben) és a baloldalán „ $q^*$ ”-ban is előfordul a dimenziótlanító „ $v_I$ ” sebesség, amit nem ismerünk, ezért az egyenletet számításra alkalmas alkalmassá tenni, hogy visszatérünk a dimenziós formához, ami az alábbi:

$$q = abk_o b^* P_4 \frac{e^{P_4} - 1}{e^{P_4} + 1} \quad (7.31)$$

Az összevevő mennyiségét, azaz a csatorna elején belépő levegő térfogatáram értékét meghatározhatjuk más úton is. Ez az által válik lehetségessé, ha a 7.22. egyenlet „ $P_3$ ” tényezőjét, illetve ebből a „ $v_1$ ” sebesség értékét sikerül meghatározni. E sebesség és a csatorna keresztmetszet szorzata adja a keresett térfogatáramot.

Ha a 7.22. egyenletbe a csatorna elejét megadó  $x^*=0$  értéket helyettesítjük, akkor itt  $v^*=1$ . Írható tehát:

$$v^* = 1 = \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{P_3 \left[ e^{P_4(1-x^*)} + 1 \right]} \quad (7.32)$$

Innen „ $P_3$ ” értékére kapjuk, hogy:

$$P_3 = \frac{e^{P_4} - 1}{e^{P_4} + 1} \quad (7.33)$$

Az egyenletben „ $P_3$ ” dimenziótlan mennyiség értékére a 7.20. egyenlet után megadott formában írva kapjuk, hogy:

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_2}{p_o^* - 1}} = \frac{v_1}{\sqrt{\frac{2p_o}{\rho_o} (p_o^* - 1)}} \quad (7.34)$$

Tekintettel arra, hogy a csatorna végén  $v^* = v_2^* = 0$  a lezárás miatt, ezért a  $p_o^* = p_2^* = áll.$ , azaz a csatorna végén (az  $x^* = 1$  helyen) az össznyomás a statikus nyomással egyezik meg. A „ $P_3$ ” értéke ezzel:

$$P_3 = \frac{v_1}{\sqrt{\frac{2p_o}{\rho_o} (p_o^* - 1)}} = \frac{v}{P_4 b^* k_o} \quad (7.35)$$

A 7.35. egyenletből a „ $v_1$ ” befúvási sebesség értéke:

$$v_1 = P_3 P_4 k_o b^* = \frac{e^{P_4} - 1}{e^{P_4} + 1} P_4 k_o b^* \quad (7.36)$$

A térfogatáram értéke ezek után:

$$q = abv_1 = abk_o b^* P_4 \frac{e^{P_4} - 1}{e^{P_4} + 1} \quad (7.37)$$

A 7.37. egyenlet természetesen megegyezik a 7.31. egyenlettel.

d. A csatorna jelleggörbéje

A csatorna jelleggörbéjén a  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = p_{\text{ö1}} - p_{\text{ö2}} = f(q)$  kapcsolatot értjük. A felül nyitott csatorna esetében a csatornát elhagyó levegő össznyomásában szereplő dinamikus tag, annak kis értéke miatt elhanyagolható. Ezért  $p_{\text{ö2}} \approx p_o$  helyettesíthető, így a felül nyitott csatorna esetében  $\Delta p_{\text{öcsat.}} \cong p_{\text{ö1}} - p_o = f(q)$  írható. E jelleggörbe, valamint a csatornát tápláló légszállító gép (ventilátor) jelleggörbéjének ismeretében a munkapont kijelölhető.

A 7.17. egyenlet szerint a dimenziótlan össznyomás  $p_o^* = \text{áll.}$  a csatorna teljes hossza mentén. A csatorna elején, az ① helyen  $v^* = 1$ , míg a csatorna végén, a ② helyen a lezárás miatt  $v^* = 0$ , ezért:

$$p_{\text{ö1}}^* = p_1^* + P_2 = \frac{p_1}{p_o} + \frac{\rho_o v_1^2}{2p_o} = p_2^* = \frac{p_2}{p_o} \quad (7.38)$$

illetve

$$p_{\text{ö1}} = p_1 + \frac{\rho_o}{2} v_1^2 = p_2 = p_{\text{ö2}} \quad (7.39)$$

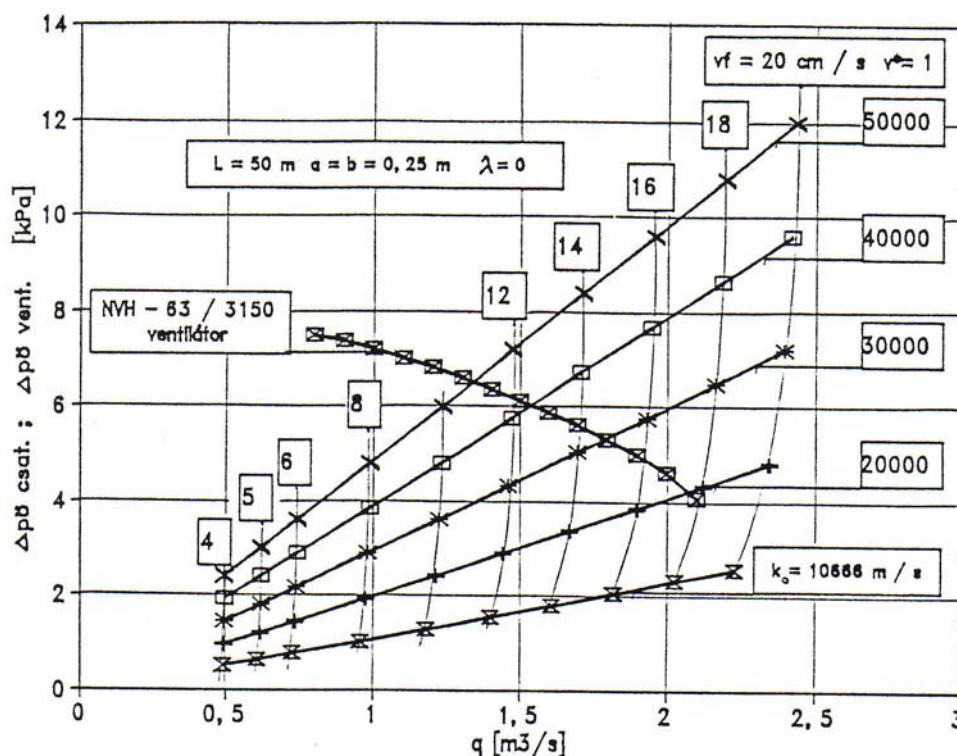
írható.

A térfogatáramot megadó 7.37. egyenletben a „ $P_4$ ” kifejezés tartalmazza a „ $p_o^*$ ” értékét. A jelleggörbe zárt alakban történő felírásához ebből az egyenletből kellene kifejezni „ $p_o^*$ ”-ot azért, hogy a  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = f(q)$  kapcsolat felírható legyen. Mivel ez az egyenlet struktúrája miatt nem lehetséges, ezért a jelleggörbe zárt alakban nem írható fel. Az elosztó rétegre jellemző „ $k_o$ ” állandónak és a „ $v_f$ ” fluidizáló sebességnek pl. az  $x^* = 1$  helyen történő felvétele után a 7.8. valamint a 7. 37. egyenletek segítségével a jelleggörbe egy-egy pontja számítható.

A 7.6. ábra - számítással meghatározott - „csatorna jelleggörbét” mutat be súrlódásmentes esetben. Az ábrába berajzoltunk egy ventilátor jelleggörbét is. Látható, hogy a ventilátor jelleggörbéje pl. a  $k_o = 30000 \text{ m/s}$  állandóval jellemzett szövettel borított felül nyitott csatorna  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = f(q)$  görbéjét a

$$q = 1.78 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \Delta p_{\text{öcsat.}} = 5270 \text{ Pa}$$

koordinátájú pontban metszi. A ventilátor és a csatorna ebben a munkapontban stabil üzemben tud együtt dolgozni. E pontban a fluidizációs sebesség értéke az  $x^* = 1$  koordinátánál, azaz az  $x = L$  helyen, tehát a csatorna végén az ábrából leolvashatóan  $v_f = 14.8 \text{ cm/s}$  értékű.



7.6. ábra. Felül nyitott csatorna. Súrlódásmentes eset

- e. Számpélda egy felül nyitott aerációs csatorna paramétereinek meghatározására súrlódás nélküli esetben

A levezetett összefüggések segítségével határozzuk meg az alábbi adatokkal bíró felül nyitott aerációs csatorna paramétereit. (Súrlódásmentes eset és  $\rho_o = \text{áll.}$ )

A csatorna adatai:

$$a=b=0.25\text{m}; \quad L=50\text{m}; \quad \rho_o=1.2\text{kg/m}^3; \quad p_o=1\text{bar}$$

A légelesztő réteg SZ8 jelű perlon szövet, amelynek jellemző „ $k_o$ ” értéke:  $k_o=10666\text{m/s}$ . A csatorna végén, az  $x^*=1$  helyen a szöveten átáramló fluidizáló levegő sebessége igazodik a szállított anyaghoz. Legyen „ $v_f$ ” értéke  $v_f=0.05\text{m/s}$ . A légelesztő csatorna végén a csatornairányú sebesség a lezárás miatt  $v^*=0$ .

A 7.8. egyenletből a szöveten létrejövő nyomáscsökkenés az  $x^*=1$  helyen számítható. Írható, hogy:

$$\Delta p = k_o \rho_o v_f = 10666\text{m/s} * 1.2\text{kg/m}^3 * 0.05\text{m/s} = 640\text{Pa}$$

Ezzel a csatornavégi lezárás miatt  $p_{o2}^* = p_2^*$  egyenlőséget figyelembe véve:

$$p_{o2}^* = p_2^* = \frac{\Delta p + p_o}{p_o} = \frac{(640 + 1 * 10^5)\text{Pa}}{1 * 10^5\text{Pa}} = 1.0064$$

A „ $P_4$ ” dimenziótlan állandó értéke:

$$P_4 = \sqrt{\frac{2p_o}{b^* k_o^2 \rho_o} (p_o^* - 1)} = \sqrt{\frac{2 * 1 * 10^5 Pa}{\left(\frac{0.25m}{50m}\right)^2 * (10666m/s)^2 * 1.2kg/m^3}} * (1.0064 - 1) = 0.6124$$

A ventilátor által szállítandó, a csatornát tápláló levegő térfogatárama a 7.31. egyenletet felhasználva az alábbi:

$$q = abk_o b^* P_4 \frac{e^{P_4} - 1}{e^{P_4} + 1} = 0.25m * 0.25m * 10666m/s * \frac{0.25m}{50m} * 0.6124 * \frac{e^{0.6124} - 1}{e^{0.6124} + 1} = 0.606m^3/s$$

A csatorna elején beáramló levegő sebességének értéke (melyet a dimenziótlánításra használtunk fel):

$$v_1 = \frac{q}{ab} = \frac{0.606m^3/s}{0.25m * 0.25m} = 9.7m/s$$

A légeosztó csatornában áramló levegő csatornairányú sebessége számítható a 7.21. egyenletből. Az egyenlet „ $P_3$ ” állandójának az értéke a  $p_{o2}^* = p_2^*$  figyelembe vételével:

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_2}{p_o^* - 1}} = \sqrt{\frac{\frac{\rho_o v_1^2}{2}}{p_o^* - 1}} = \sqrt{\frac{\frac{\rho_o v_1^2}{2}}{p_2 - p_o}} = \sqrt{\frac{\rho_o v_1^2}{2\Delta p}} = \sqrt{\frac{1.2 * 9.7^2}{2 * 640}} = 0.297$$

A csatornairányú sebesség értéke ezek után pl. az  $x^* = 0.5$  helyen:

$$v^* = \frac{e^{P_4(1-x^*)} - 1}{P_3 \left[ e^{\frac{P_4(1-x^*)}{P_3}} + 1 \right]} = \frac{e^{0.6124*(1-0.5)} - 1}{0.297 * \left[ e^{\frac{0.6124*(1-0.5)}{0.297}} + 1 \right]} = 0.5115$$

illetve:  $v = v_1 v^* = 9.7m/s * 0.5115 = 4.96m/s$

A légeosztó rétegen átáramló levegő sebessége ezzel az  $x^* = 0.5$  helyen a 7.23. egyenletből számítható. Az egyenlet „ $P_1$ ” állandójának értéke:

$$P_1 = \frac{p_o}{k_o \rho_o v_1} = \frac{1 * 10^5 Pa}{10666m/s * 1.2kg/m^3 * 9.7m/s} = 0.805$$

A szöveten átáramló fluidizáló levegő sebessége, figyelembe véve itt is a  $p_{o1}^* = p_{o2}^* = p_2^*$  feltételt az alábbi:

$$v_f^* = P_1 (p_{o1}^* - 1) (1 - P_3^2 v^{*2}) = 0.805 * (1.0064 - 1) * (1 - 0.297^2 * 0.5115^2) = 0.00503$$

illetve  $v_f = v_1 v_f^* = 9.7 \text{ m/s} * 0.00503 = 0.0488 \text{ m/s}$

A csatorna közepén tehát az elosztórétgen áramló levegő sebessége a csatornavégi  $v_f=5\text{cm/s}$  sebességhez képest kis mértékben csökkent csupán.

A csatornát tápláló ventilátor hasznos teljesítménye a  $p_{\partial 1}^* = p_2^* = 1.0064$  értéket, valamint a  $q=0.606\text{m}^3/\text{s}$  térfogatáramot figyelembe véve:

$$P_h = q \Delta p_{\partial \text{csat.}} = q(p_{\partial 1} - p_o) = q(p_{\partial 1}^* p_o - p_o) = q p_o (p_{\partial 1}^* - 1) = 0.606 * 1 * 10^5 * (1.0064 - 1) = 388 \text{ W}$$

A ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény  $\eta_{\partial} = 0.65$  hatásfokot figyelembe véve:

$$P_{\partial} = \frac{P_h}{\eta_{\partial}} = \frac{388 \text{ W}}{0.65} = 570 \text{ W}$$

### 7.2.2. Felül nyitott aerációs csatorna. Súrlódásos eset

Az impulzustétel felírásánál a 7.13. egyenletben a  $dF_s=0$  feltételt tettük. Ez azt jelentette, hogy a súrlódást elhanyagoltuk, ami azzal az előnnyel járt, hogy a felírt differenciálegyenlet közvetlenül megoldhatóvá vált.

A gyakorlat azt mutatta, hogy hosszabb csatornánál ( $L > 20\text{m}$ ) a súrlódás már nem hagyható figyelmen kívül.

A 7.13. impulzustételt és a 7.5. kontinuitási egyenletet összevonva, a súrlódásos tagot is figyelembe véve jutunk a

$$\frac{dp}{dv} = \frac{\lambda(\text{Re})}{2d_h} \frac{b k_o \rho_o^2}{p - p_o} v^2 - \rho_o v \quad (7.40)$$

egyenlethez. A 7.40. egyenlet dimenziótlan formája a  $P_5 = \frac{b^*}{d_h^*} \frac{P_2}{P_1}$  összevont dimenziótlan állandó felhasználásával az alábbi:

$$\frac{dp^*}{dv^*} = \lambda(\text{Re}) P_5 \frac{v^{*2}}{p^* - 1} - 2 P_2 v^* \quad (7.41)$$

A 7.41. egyenlet pl. Runge-Kutta módszerrel, a csatornavégi  $\Delta p_2^* = p_2^* - 1$ ;  $v^* = 1$  kezdeti feltételből kiindulva megoldható. A megoldáshoz a  $\lambda=f(\text{Re})$  súrlódási tényező értékét az irodalomban fellelhető közelítő összefüggésekkel lehet pontról pontra a megoldás során számítani.

A Reynolds szám az alábbi összefüggés segítségével számítható:

$$\text{Re} = \frac{d_h v}{\nu} \quad (7.43)$$

A 7.43. összefüggésben „ $d_h$ ” a csatorna hidraulikai átmérője, ami az alábbi ismert összefüggéssel adott:

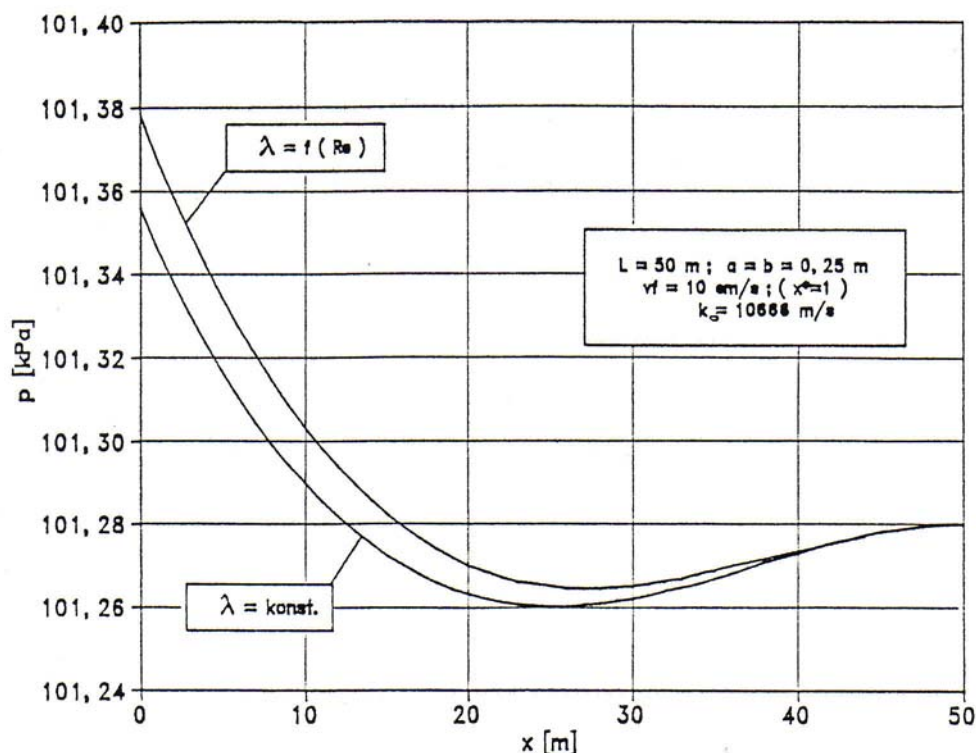
$$d_h = \frac{4A}{K} = 4 \frac{ab}{2(a+b)} = 2 \frac{ab}{a+b} \quad (7.44)$$

A 7.41. egyenlet megoldása után a csatorna többi paramétere a 7.9. és a 7.10. egyenletekkel meghatározható.

### 7.2.2.1. Számítással meghatározott diagramok

A 7.41. egyenlet a 7.9. és 7.10. egyenletekkel együtt a felül nyitott csatorna légelosztó terében leírja a áramlástan paraméterek változását. Az egyenletek számítógépes megoldásához példaként az alábbi csatorna adatokat használtuk fel:

$$\begin{aligned} a=b=0.25\text{m}; \quad L=50\text{m}; \quad \rho_o=1.2\text{kg/m}^3; \quad p_o=1\text{bar} \\ k_o=10666\text{m/s (SZ8 jelű perlon szövet)} \quad v_f=0.1\text{m/s (} x^*=1) \end{aligned}$$

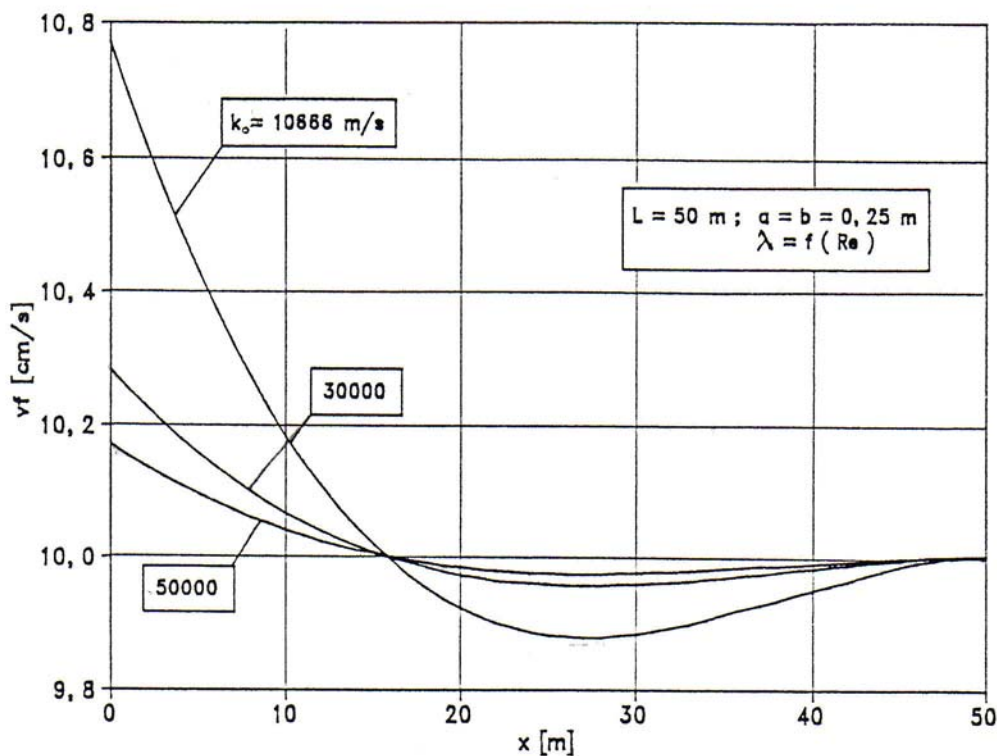


7.7. ábra. Felül nyitott csatorna alsó légelosztó terének nyomáseloszlása a hossz mentén. Sűrűlódásos eset

A 7.7. ábrában a csatorna alsó légelosztó terében kialakuló nyomás változása látható a csatornahossz függvényében  $\lambda = \text{áll.}$  valamint  $\lambda = f(\text{Re})$  paraméterek mellett. Mindkét görbe a csatorna végén előírt nyomásértékből indul és a nyomás fokozatosan csökken – a mintapéldában – körülbelül a csatorna közepéig (diffúzor hatás). Ezt követően a csatorna eleje



felé a számítással tovább haladva az tapasztalható, hogy a nyomás növekedni kezd annak megfelelően, ahogy a csatornairányú sebesség nő, a súrlódásos tag pedig a sebesség négyzetével arányosan változik. Az ábrából az is kitűnik, hogy a  $\lambda = \text{áll.}$  valamint  $\lambda = f(\text{Re})$  feltétellel megoldott differenciálegyenlet eredményezte nyomáslefutás  $x=0$ -nál lévő értékeinek százalékos eltérése a kezdeti feltételben felvett értékhez képest nem számottevő.



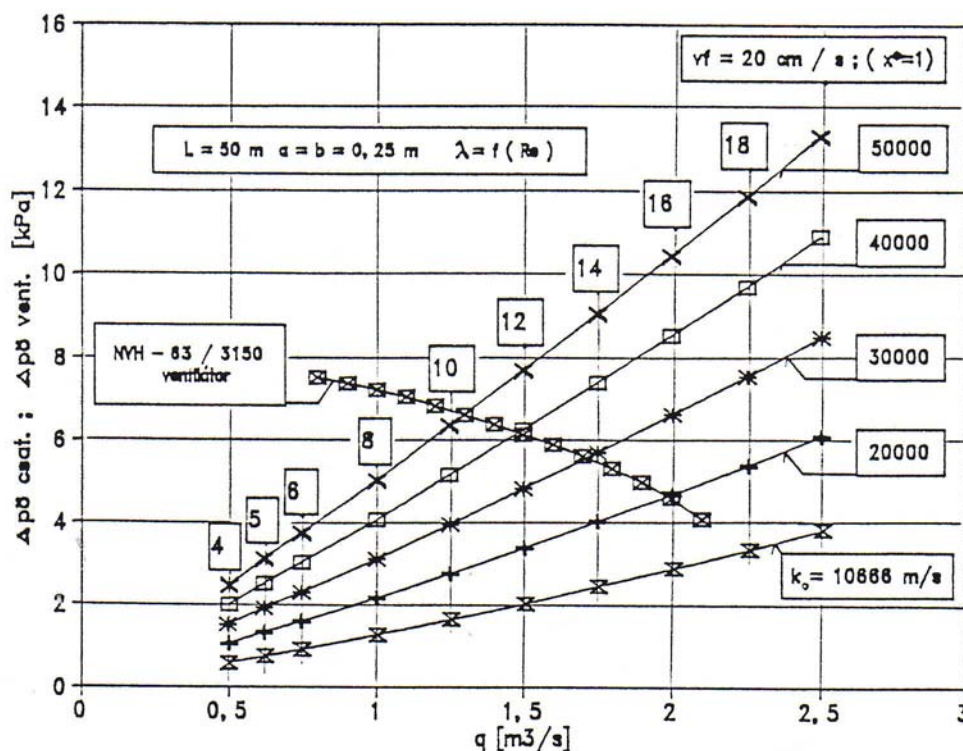
7.8. ábra. Felül nyitott csatorna alsó légeosztó rétegén átáramló fluidizáló levegősebesség hossz menti eloszlása különböző ellenállású elosztóréteg esetében. Súrlódásos eset

A 7.8. ábra az ugyancsak felül nyitott csatorna elosztórétegén átáramló fluidizáló levegősebesség változását mutatja a csatorna hossza mentén. Paraméter az elosztóréteg különböző ellenállását, légáteresztő képességét jellemző „ $k_o$ ” tényező kísérleti úton megállapítható különböző értéke.

Az ábrából látható, hogy a „ $v_f$ ” sebesség értéke nem állandó. A változás annál nagyobb, minél kisebb az elosztóréteg ellenállása.

A nem egyenletes „ $v_f$ ” sebesség eloszlás a csatorna üzemét kedvezőtlenül befolyásolja. Vannak módszerek, amelyekkel a „ $v_f$ ” változás előírt mértéken tartható (lásd később a 7.2.6. alatti részt).

A 7.9. ábrában látható a csatorna „jelleggörbéje” súrlódást is figyelembe véve. A 7.6. ábrában látható súrlódás nélküli jelleggörbe és a 7.9. ábrában bemutatott, súrlódást is figyelembe vevő egyenletekkel számolt jelleggörbe eltér egymástól. Például a  $k_o = 30000 \text{ m/s}$  ellenállástényezőjű elosztóréteggel borított csatorna  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = f(q)$  görbáját a ventilátor jelleggörbéje a  $q = 1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = 5600 \text{ Pa}$  jelű pontban metszi. E pontban a fluidizációs sebesség értéke  $v_f = 13.6 \text{ cm/s}$  az  $x^* = 1$  jelű pontban (a csatorna végén).



7.9. ábra. Felül nyitott csatorna jelleggörbéi. Súrlódásos eset

### 7.2.3. Felül zárt csatorna. Kettős csatorna. Súrlódásos eset

A 7.2. ábrában vázolt csatornánál az anyagrétegen átáramló fluidizáló levegő a csatorna felső gyűjtőterében összegyűlik és a „6”-tal jelölt csonkban távozik. Ez a csatorna ily módon teljesen zárt, így nem fordulhat elő, hogy a külső légtérbe a szállított anyagból a fluidizáló levegő szilárd anyagrészecskéket kihordjon. A „6” jelű csonkon kilépő levegő szűrőn átvezethető, elszívó rendszerbe beköthető és ezzel a levegőben lévő szilárd anyagrészecskék leválaszthatók.

A csatorna légeosztó tere sebesség- és nyomáseloszlásának, valamint a légeosztó rétegen átáramló fluidizáló levegő „ $v_f$ ” sebessége hossz menti eloszlásának meghatározására felállítandó matematikai-fizikai modell felírásánál a 7.2. fejezettrészben tett megkötésekön túlmenően figyelembe vesszük a levegő összenyomhatóságát is. Az állapotváltozást izotermikusnak tekintjük.

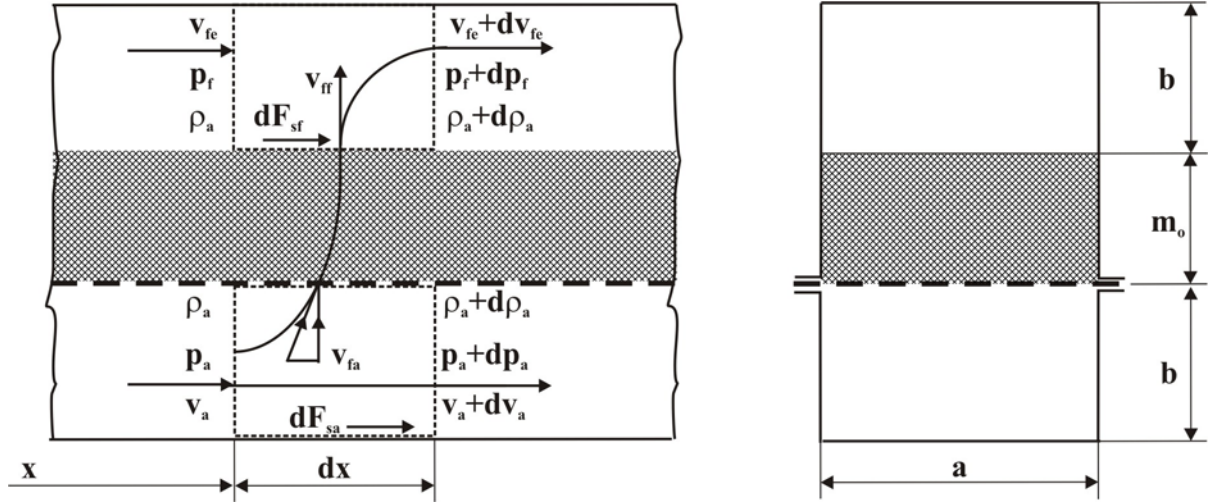
a. Az alsó légeosztó csatorna. Súrlódásos eset

A 7.10. ábrában a csatorna „ $x$ ” helyén kimetszett elemi csatornaszakaszon bejelölt ellenőrző felületre felírt „ $x$ ” irányú kontinuitási egyenlet az alábbi formát ölti:

$$ab(\rho_a + d\rho_a)(v_a + dv_a) - ab\rho_a v_a + adx\rho_a v_{fa} = 0 \quad (7.45)$$

A fenti egyenlet a másodrendűen kicsiny tagok elhagyása és a lehetséges összevonások után az alábbi módon írható:

$$dx = -\frac{b}{\rho_a v_{fa}} d(\rho_a v_a) \quad (7.46)$$



7.10. ábra. A csatorna „ $x$ ” koordinátájú helyén kimetszett elemi szakaszra rajzolt ellenőrző felületek

A légeosztó rétegen átáramló levegő nyomásesése – elhagyva az anyagrétegen átáramló levegő nyomásesését, amely törtrésze az elosztóréteg ellenállásának – az alábbi módon írható:

$$\Delta p = p_a - p_f = k_o \rho_a v_{fa} = k_o \rho_f v_{ff} \quad (7.47)$$

Írjuk fel az impulzustételt a kimetszett alsó térbeli ellenőrzőfelületre. Ez az alábbi:

$$abp_a - ab(p_a + dp_a) - dF_{sa} = ab(\rho_a + d\rho_a)(v_a + dv_a)^2 - ab\rho_a v_a^2 - adx\rho_a v_a v_{fa} \quad (7.48)$$

A 7.48. egyenlet jobboldalának utolsó tagja a 7.2.1.a. fejezettrészben elmondott gondolatmenet értelmében a következőként magyarázható. Az elosztórétegen kiáramló elemi tömegáram, ha az ellenőrzőfelületből kilépő áramvonalon a sebesség függőleges komponensét „ $v_{fa}$ ”-val jelöljük, akkor:

$$dm = adx\rho_a v_{fa} \quad (7.49)$$

Ezzel az „ $adx$ ” elemi felületen kiáramló elemi tömeg impulzusának „ $x$ ” irányú változását az alábbi módon közelítjük:

$$dI_x \cong dm v_a = adx\rho_a v_{fa} v_a \quad (7.50)$$

A 7.48. egyenletben az elemi súrlódóerő:

$$dF_{sa} = \frac{\lambda(\text{Re})}{2d_h} \rho_a v_a^2 abdx \quad (7.51)$$

Izotermikus állapotváltozást feltételezve a

$$\frac{p_a}{\rho_a} = \frac{p_o}{\rho_o} = k_1 \quad (7.52)$$

illetve a 
$$dp_a = k_1 d\rho_a \quad (7.53)$$

egyenletek írhatók fel.

A 7.48. egyenletben a másodrendűen kicsiny tagokat elhagyva összevonások után az alábbi egyenletre jutunk:

$$dp_a = -\frac{\lambda(\text{Re})}{2d_h} \rho_a v_a^2 dx - 2\rho_a v_a dv_a - v_a^2 d\rho_a - \frac{1}{b} \rho_a v_a v_{fa} dx \quad (7.54)$$

Figyelembe véve, hogy

$$d(\rho_a v_a) = d\rho_a v_a + dv_a \rho_a \quad (7.55)$$

Valamint a 7.46. egyenletből kifejezve „ $v_{fa} dx$ ” értékét kapjuk, hogy:

$$v_{fa} dx = -\frac{b}{\rho_a} d(\rho_a v_a) \quad (7.56)$$

A 7.55. és 7.56. egyenleteket a 7.54.-be helyettesítve jutunk az alábbi kifejezéshez:

$$dp_a = -\frac{\lambda(\text{Re}) (\rho_a v_a)^2}{2d_h \frac{p_a}{k_1}} \left[ -bk_o \frac{d(\rho_a v_a)}{p_a - p_f} \right] - 2v_a d(\rho_a v_a) + v_a^2 d\rho_a + (\rho_a v_a) k_1 \frac{d(\rho_a v_a)}{p_a} \quad (7.57)$$

A 7.57. kifejezésbe a 7.53. egyenletből  $d\rho_a = \frac{dp_a}{k_1}$  értékét helyettesítve rendezés után jutunk a

$$\frac{dp_a}{d(\rho_a v_a)} = \frac{\frac{\lambda(\text{Re}) k_1 b k_o (\rho_a v_a)^2}{2d_h p_a (p_a - p_f)} - k_1 \frac{(\rho_a v_a)}{p_a}}{1 - k_1 \frac{(\rho_a v_a)^2}{p_a^2}} \quad (7.58)$$

differentiálegyenlethez.

Elvégezve a 7.58. egyenlet dimenziótlanítását az alsó csatornára az alábbi dimenziótlan egyenletet nyerjük:

$$\frac{dp_a^*}{d(\rho_a^* v_a^*)} = \frac{\frac{\lambda(Re)b^*}{d_h^*} \frac{P_2}{P_1} \frac{(\rho_a^* v_a^*)^2}{p_a^* (p_a^* - p_f^*)} - 2P_2 \frac{(\rho_a^* v_a^*)}{p_a^*}}{1 - 2P_2 \frac{(\rho_a^* v_a^*)^2}{p_a^{*2}}} \quad (7.59)$$

Az egyenletben „ $P_1$ ” összevont dimenziótlán állandót jelöl, melynek definíciója:

$$P_1 = \frac{P_o}{k_o \rho_o v_{1a}}$$

Az egyenletben „ $P_2$ ” összevont dimenziótlán állandót jelöl, melynek definíciója:

$$P_2 = \frac{\rho_o v_{1a}^2}{2p_o}$$

b. A felső gyűjtőcsatorna. Súrlódásos eset

A felső gyűjtőcsatornából a 7.10. ábrában kimetszett ellenőrző felületen lévő jelöléseket felhasználva az „ $x$ ” irányú kontinuitási egyenlet az alábbi formában írható:

$$ab(\rho_f + d\rho_f)(v_{fe} + dv_{fe}) - ab\rho_f v_{fe} + adx\rho_f v_{ff} = 0 \quad (7.60)$$

Az „ $y$ ” irányú kontinuitási egyenletből nyerjük, hogy:

$$adx\rho_a v_{fa} = adx\rho_f v_{ff} \quad (7.61)$$

A két kontinuitási egyenlet összevonása után kapjuk az alábbi egyenletet:

$$dx = \frac{b}{\rho_f v_{ff}} d(\rho_f v_{fe}) = -\frac{b}{\rho_a v_{fa}} d(\rho_a v_a) \quad (7.62)$$

Az impulzustétel felírásánál figyelembe kell venni, hogy az alsó csatorna kimetszett ellenőrző felületéből kilépő, az elosztórétgen és az anyagrétgen átáramló, a felső ellenőrző felületbe belépő levegő áramvonala [95] szerint olyan, hogy a felső ellenőrző felületbe történő belépésnél az áramvonal közel merőleges az ellenőrző felületre. Ez azt jelenti, hogy a levegő sebességének „ $x$ ” irányú komponensét a belépésnél el lehet hanyagolni, azaz a sebesség itt jó közelítéssel párhuzamos az „ $y$ ” tengellyel.

Az impulzustétel ezek után a következő:

$$abp_f - ab(p_f + dp_f) - dF_{sf} = ab(\rho_f + d\rho_f)(v_{fe} + dv_{fe})^2 - adx\rho_f v_{fe} v_{ff} \quad (7.63)$$

A 7.63. egyenletben a másodrendű tagokat itt is elhagyva, az a. pont alatti gondolatmenetet követve összevonás és rendezés után a felső csatorna dimenziótlán differenciálegyenlete az alábbi:

$$\frac{dp_f^*}{d(\rho_f^* v_{fe}^*)} = \frac{\frac{\lambda(Re)b^*}{d_h^*} \frac{P_2}{P_1} \frac{(\rho_f^* v_{fe}^*)^2}{p_f^* (p_a^* - p_f^*)} + 4P_2 \frac{(\rho_f^* v_{fe}^*)}{p_f^*}}{1 - 2P_2 \frac{(\rho_f^* v_{fe}^*)^2}{p_f^{*2}}} \quad (7.64)$$

A kettős csatorna alsó és felső légterében mozgó levegőáramra a 7.59. valamint a 7.64. egyenleteket nyertük. Az egyenletek Runge-Kutta módszerrel, a kezdeti feltételek ismeretében megoldhatók. A kezdeti feltételek  $x^*=1$ -nél (a 7.2. ábrában a ②-vel jelölt helyen) az alábbiak:

$$\Delta p^* = \Delta p_2^*; \quad \rho_{a2}^* v_{a2}^* = 0; \quad p_{f2}^* = 1; \quad \rho_{a1}^* v_{a1}^* = \rho_{f2}^* v_{fe2}^* \quad (7.65)$$

Tekintettel arra, hogy a „ $P_2$ ” összevont dimenziótlan állandóban szereplő „ $v_{a1}$ ” sebesség (a kettős csatornánál  $v_I = v_{a1}$  jelölést bevezetve) nem ismert, ezért ezt a számítás elkezdéséhez becslés útján fel kell venni. Ezek után a felvett értékkel iterációs eljárás segítségével „ $v_{a1}$ ” értékét („ $P_2$ ” értékét) addig kell korrigálni, míg előírt hibahatáron belül teljesül az ① keresztmetszeten beáramló és a ② keresztmetszeten kiáramló levegő tömegáramok azonossága.

A számításhoz tervezési adatként ugyancsak fel kell venni „ $v_{ff}$ ” értékét az  $x^*=1$  helyen, amely adat igazodik a szállítandó anyag fluidizációs sebességéhez. Ezek után már a 7.65. egyenlet „ $\Delta p_2^*$ ” értéke a légeosztó rétegre jellemző „ $k_o$ ” állandó ismeretében meghatározható.

### c. Számítással meghatározott csatorna jelleggörbék

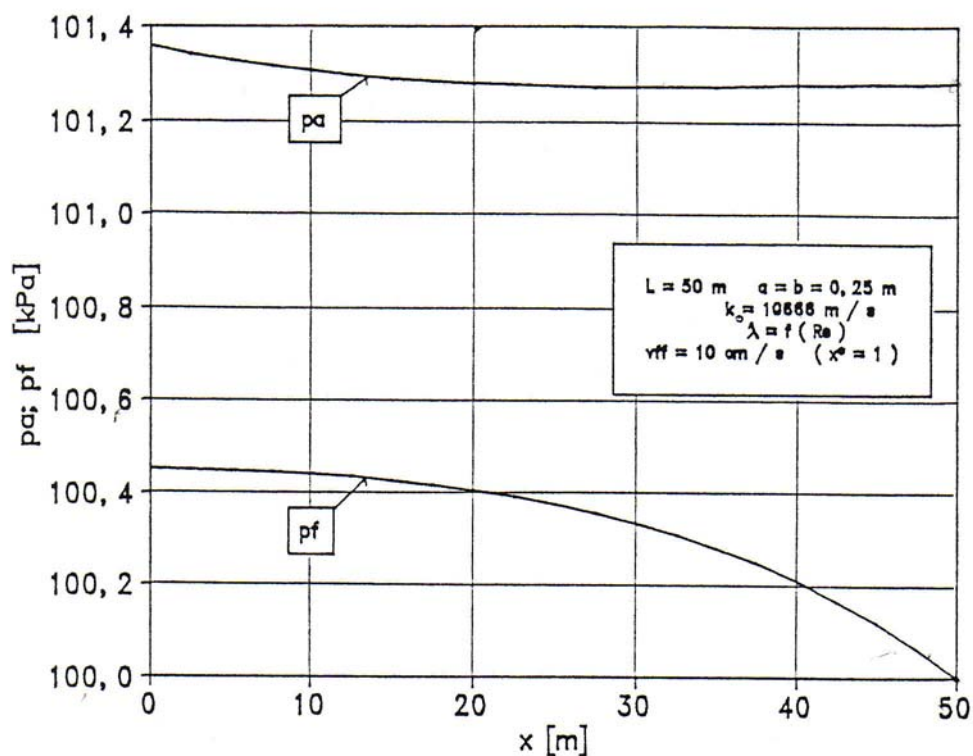
A 7.11. ábrában az alsó légeosztó és felső gyűjtőcsatorna nyomásának változása látható a csatornahossz függvényében.

A két görbe közötti metszék – a légeosztó réteg alatti és feletti nyomások különbsége – az elosztórétegen átlépő tömegárammal arányos.

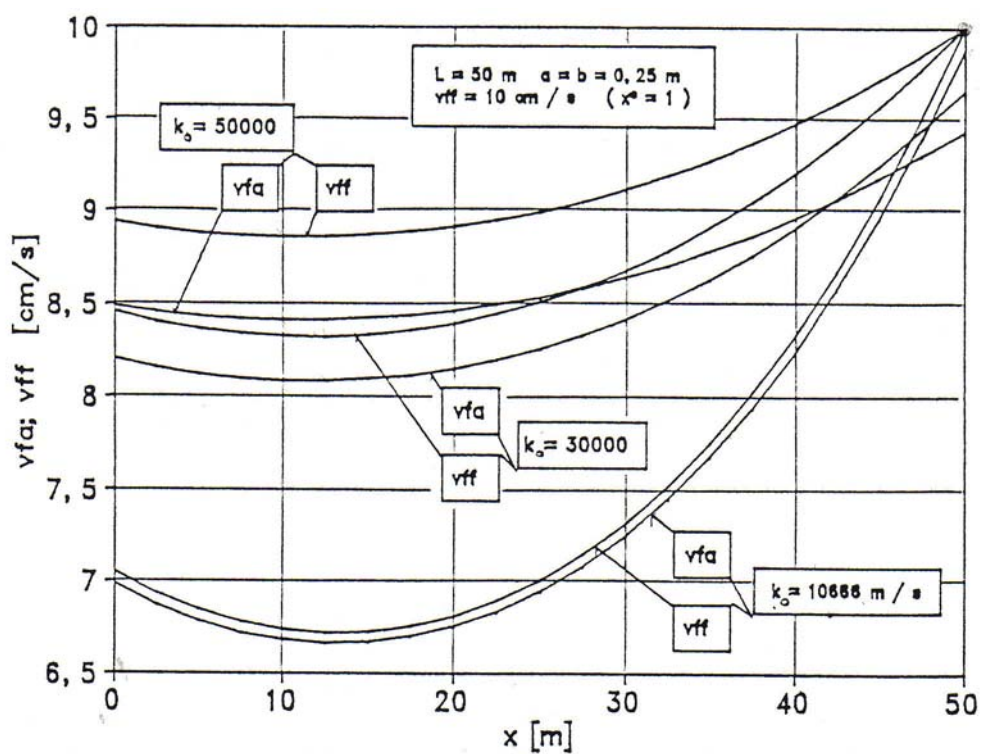
A légeosztó rétegen átáramló levegő sebességének változását a hossz függvényében mutatja a 7.12. ábra három különböző ellenállású réteg esetén.

Legnagyobb a változás a legkisebb ellenállású ( $k_o=10666\text{m/s}$  jellemzőjű) elosztóréteg esetén. Ennél a rétegnél a csatornavégi  $v_{ff}=10\text{cm/s}$  sebességről „ $v_{ff}$ ” értéke lecsökken  $v_{ff}\approx 6.7\text{cm/s}$  értékre, ami 33%-os csökkenésnek felel meg. A fluidizációs sebesség ilyen mértékű változása már a csatorna üzemét veszélyezteti. A fluidizációs sebesség nagymértékű csökkenése nagyobb ellenállású réteg beépítésével elkerülhető. Ez a megoldás azonban a csatornát tápláló légszállító gép teljesítményének növekedésében mutatkozik meg. Mód nyílik a nagymértékű sebességcsökkenés elkerülésére ha a csatornát több különböző ellenállású elosztóréteggel borítjuk. Az ezzel kapcsolatos gondolatmenetet lásd a 7.2.6. fejezetben.

A 7.13. ábra az alsó és felső csatornában mutatja a csatornairányú sebesség változását a hossz függvényében. A sebességek eloszlása az ábrában szaggatott vonalakkal jelölt egyenesektől eltér.

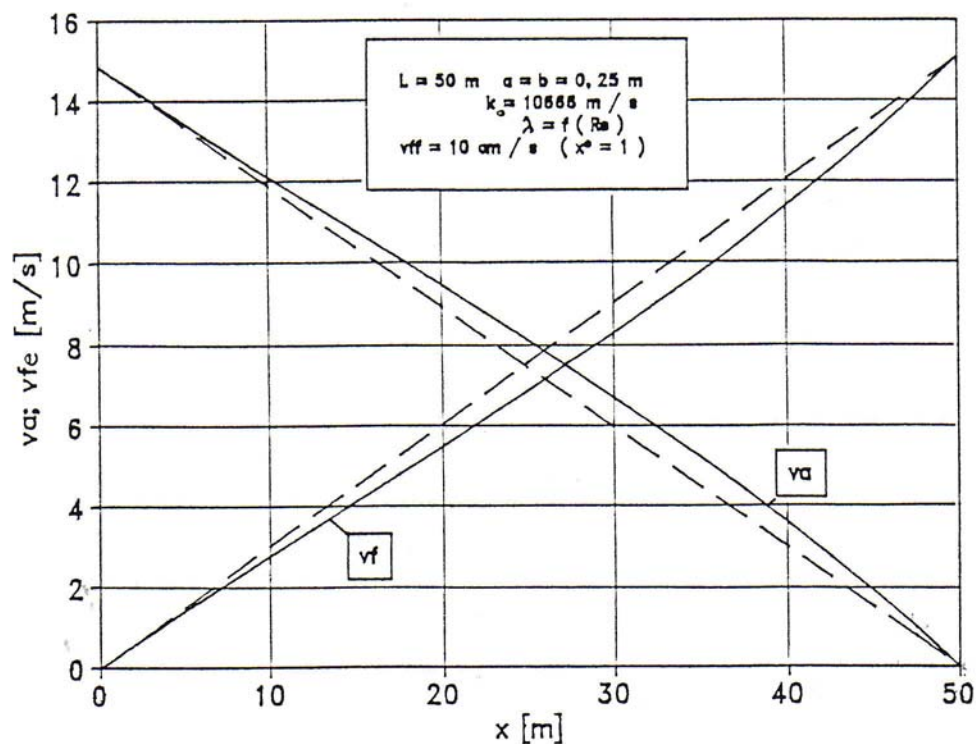


7.11. ábra. Felül zárt csatorna. Kettős csatorna. Hossz menti nyomáeloszlás az alsó és felső csatornában

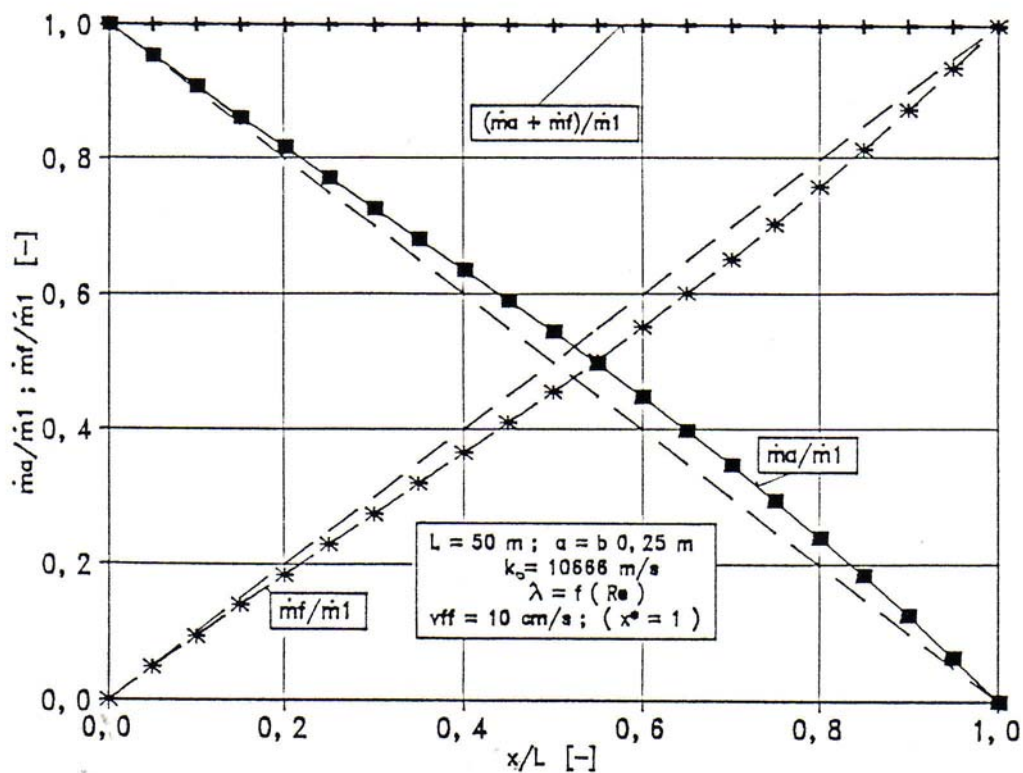


7.12. ábra. Felül zárt csatorna. Kettős csatorna. Az elosztórétgen átáramló levegő sebességének változása a hossz függvényében különböző ellenállású elosztórétgek esetén





7.13. ábra. Felül zárt csatorna. Kettős csatorna. Csatornairányú sebesség változása az alsó és felső csatornában a hossz mentén. A sebességek eltérnek a szaggatott vonallal berajzolt egyenesektől



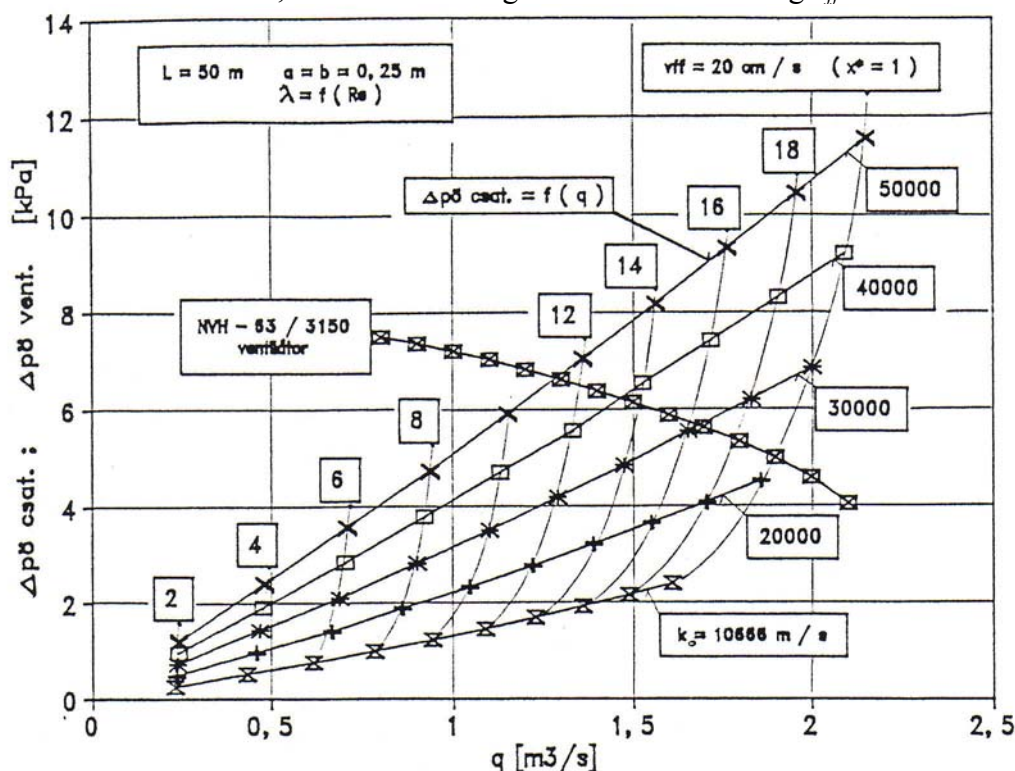
7.14. ábra. Felül zárt csatorna. Kettős csatorna. Az alsó és felső csatornában a levegő tömegáramok hossz menti változása



A 7.14. ábra a csatorna alsó illetve felső keresztmetszetében mutatja a tömegáram változását a relatív (dimenziótlan) hossz koordináta mentén. Az ábrából az is kitűnik, hogy a két tömegáram összege állandó a csatorna bármely keresztmetszetében.

A 6.15. ábrában a kettős csatorna jelleggörbéje, azaz a  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = p_{\text{ö1}} - p_{\text{ö2}} = f(q)$  kapcsolat látható. Az egyik görbesereg paramétere az elosztórétég „ $k_o$ ” tényezője, míg a másik görbesereg a csatorna végén a felső térben kialakuló fluidizációs sebesség paraméter állandó értékeit mutatja.

A berajzolt ventilátor jelleggörbe a  $k_o = 50000 \text{ m/s}$  értékkel jellemzett elosztórétégű  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = f(q)$  jelleggörbét a  $q = 1.29 \text{ m}^3/\text{s}$  illetve  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = 6.7 \text{ kPa}$  munkapontban metszi. Itt az  $x^* = 1$  koordináta-hoz tartozó, azaz csatorna végi fluidizációs sebesség  $v_{ff} = 11.4 \text{ cm/s}$  értékű.



7.15. ábra. Felül zárt csatorna. Kettős csatorna. A csatorna jelleggörbéje különböző ellenállású elosztórétég esetén

#### 7.2.4. Szívott üzemű csatorna. Súrlódásos eset

a. A szívott üzemű csatorna áramlási jellemzőit leíró egyenlet

A 7.3. ábrában vázolt csatorna alsó légtér nélküli csatorna. A légeosztó réteg így az atmoszférus térrel áll közvetlenül kapcsolatban. A szívott üzemű ventilátor felül csatlakozik a gyűjtőcsatornához. Mint már elmondtuk, ez a csatorna az egyszerűbb kivitelével tűnik ki. Hátrányként tudható be, hogy az atmoszférus térben lévő esetleges porszemcsék a csatorna elosztórétégét alulról könnyen eltömhetik és így az elosztórétég ellenállása megnőhet üzem közben.

A kettős csatornára levezetett egyenletek közül a felső csatornára nyert 7.64. egyenlet alkalmas arra, hogy a szívott üzemű csatorna áramlástan paramétereit meghatározzuk. Ennél a csatornánál a szövet alatti nyomás jó közelítéssel állandó a csatorna hossza mentén és értéke a „ $p_o$ ” légköri nyomással egyenlő, ezért a 7.64. egyenletbe a

$$p_a^* = 1 \quad (7.66)$$

helyettesítés után a szívott üzemű csatorna áramlástan jellemzőit leíró következő egyenletet nyerjük:

$$\frac{dp_f^*}{d(\rho_f^* v_{fe}^*)} = \frac{\frac{\lambda(Re)b^*}{d_h^*} \frac{P_2}{P_1} \frac{(\rho_f^* v_{fe}^*)^2}{p_f^* (p_a^* - p_f^*)} + 4P_2 \frac{(\rho_f^* v_{fe}^*)}{p_f^*}}{1 - 2P_2 \frac{(\rho_f^* v_{fe}^*)^2}{p_f^{*2}}} \quad (7.67)$$

A 7.67. egyenlet – hasonlóan az előzőekben leírt egyenletekhez – Runge-Kutta módszerrel megoldható. A kezdeti feltétel az  $x^* = 0$  (a 7.3. ábrában az ①-el jelölt helyen) az alábbi:

$$\Delta p_f^* = \Delta p_{f1}^*; \quad \rho_{f1}^* v_{fe1}^* = 0$$

A  $\Delta p_f^* = \Delta p_{f1}^*$  kiszámításához fel kell venni a „ $v_{ff}$ ” értékét az  $x^* = 0$  helyen. Ez itt is igazodik a szállítandó anyag fluidizációs sebességéhez. A sebesség felvétele után a „ $\Delta p_{f1}^*$ ” értéke a légelosztó rétegre jellemző „ $k_o$ ” állandó ismeretében meghatározható.

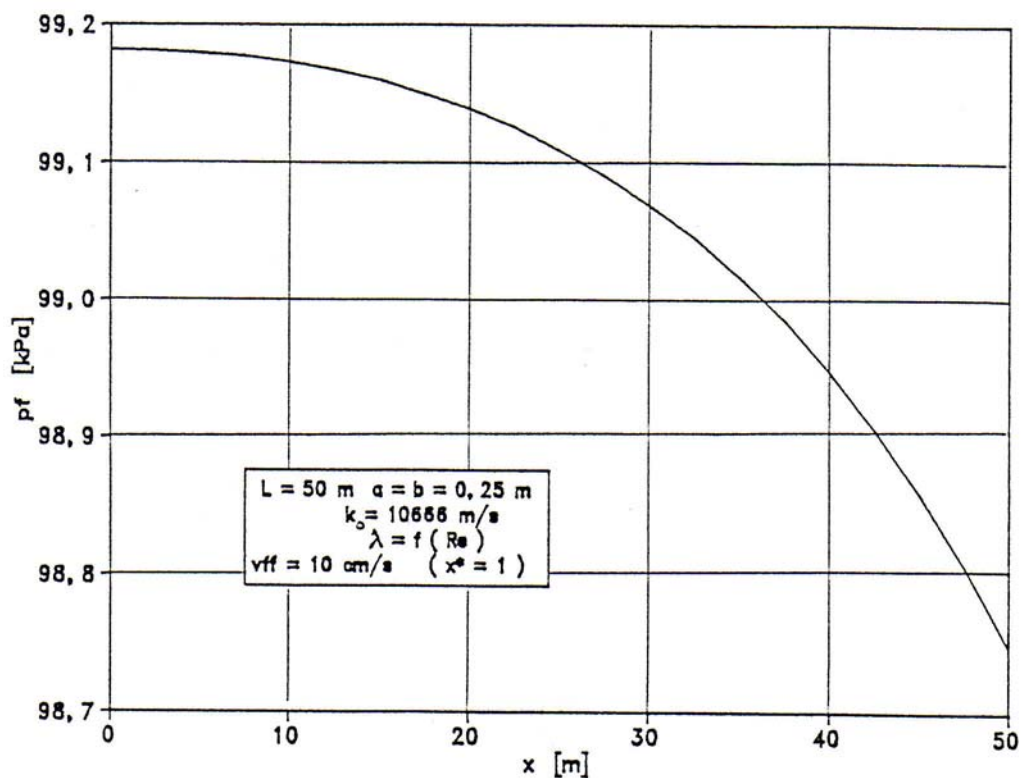
#### b. Számítással meghatározott jelleggörbék

A 7.16. ábra a csatorna gyűjtőterében mutatja a nyomás változását a hossz függvényében.

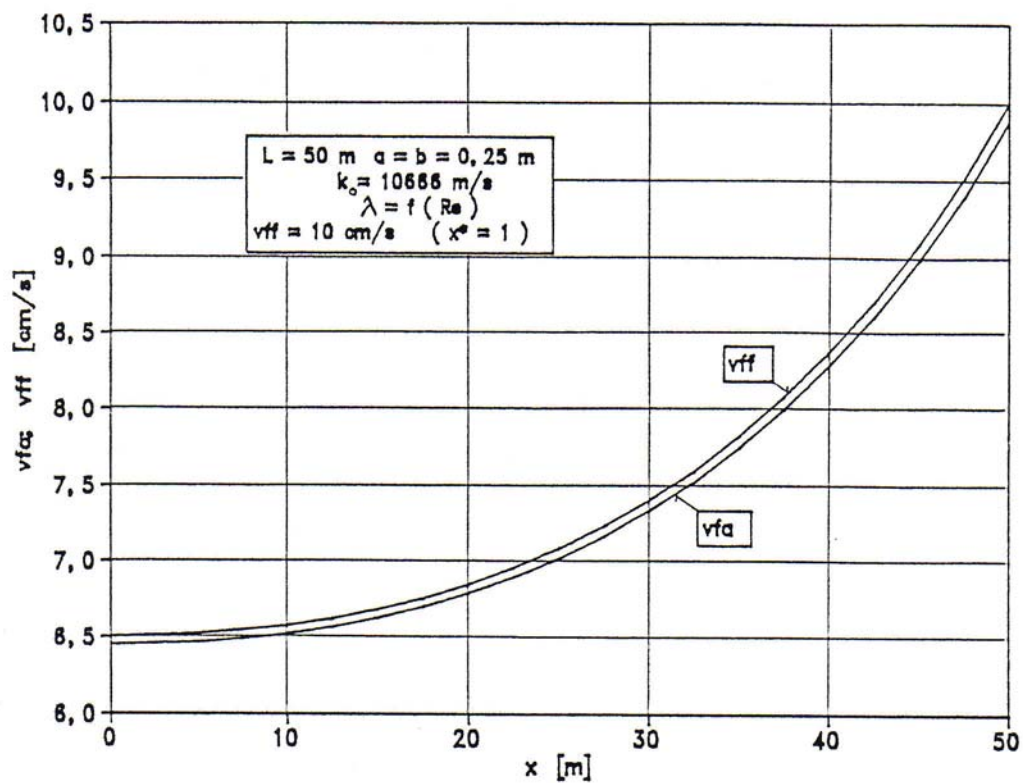
Annak érdekében, hogy a három különböző csatorna összehasonlítható legyen (lásd a 7.2.5. fejezet részben), a bemutatandó mintapéldában a  $v_{ff}=10\text{cm/s}$  értéket nem az  $x^* = 0$  helyen írtuk elő, ahol  $\rho_{f1}^* v_{fe1}^* = 0$ -val, hanem az  $x^* = 1$  helyen. Ez természetesen azt jelentette, hogy iterációs eljárásba kellett kezdeni, mivel az  $x^* = 1$  helyen a csatornairányú sebesség értéke nem ismert. Az iterációt addig kellett folytatni, míg a csatornairányú sebesség előírt hibahatáron belül fel nem vette az  $x^* = 0$  helyen a  $v_{fe}=0$  értéket, ami a csatornaelzárás következménye.

A 7.17. ábrában a fluidizáló levegő sebességének változása látható a csatornahossz függvényében. Az ábrából kiolvasható, hogy az  $x^* = 1$  helyen felvett  $v_{ff}=10\text{cm/s}$  sebesség  $v_{ff}=6.5\text{cm/s}$ -ra csökken le. Ez 45%-os sebességcsökkenést jelent.

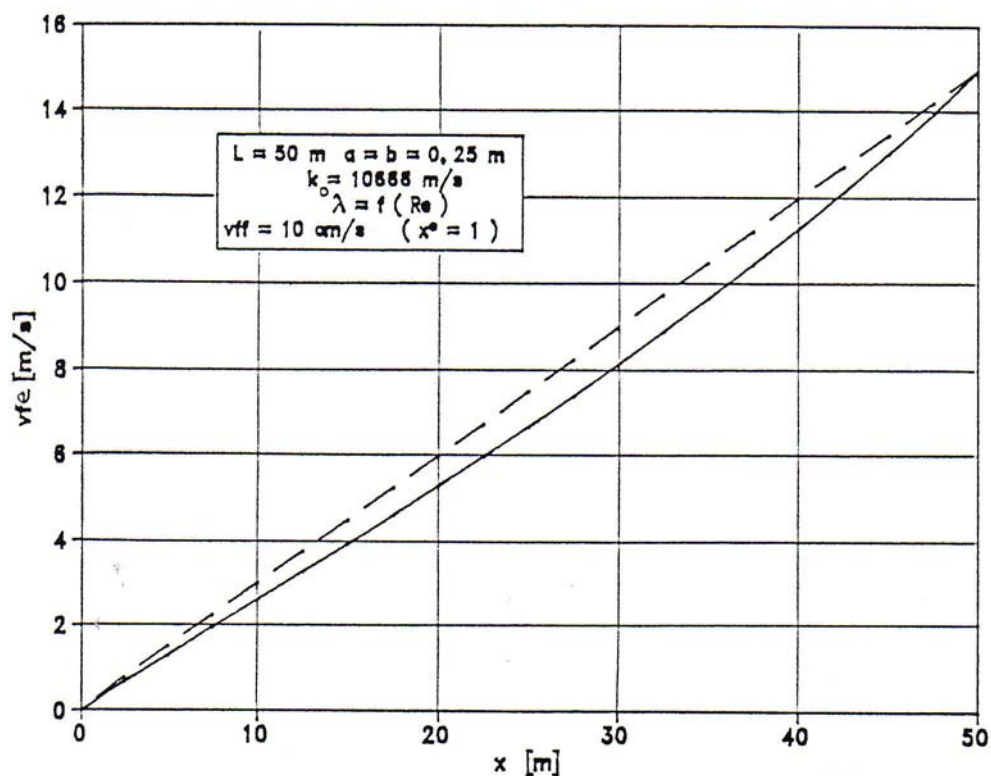
A 7.18. ábrában a felső gyűjtőtér sebességének változása látható a csatornahossz függvényében. A szaggatott vonallal berajzolt egyenes segítségével jól érzékelhető a számított sebességeloszlás görbe egyenestől való eltérése.



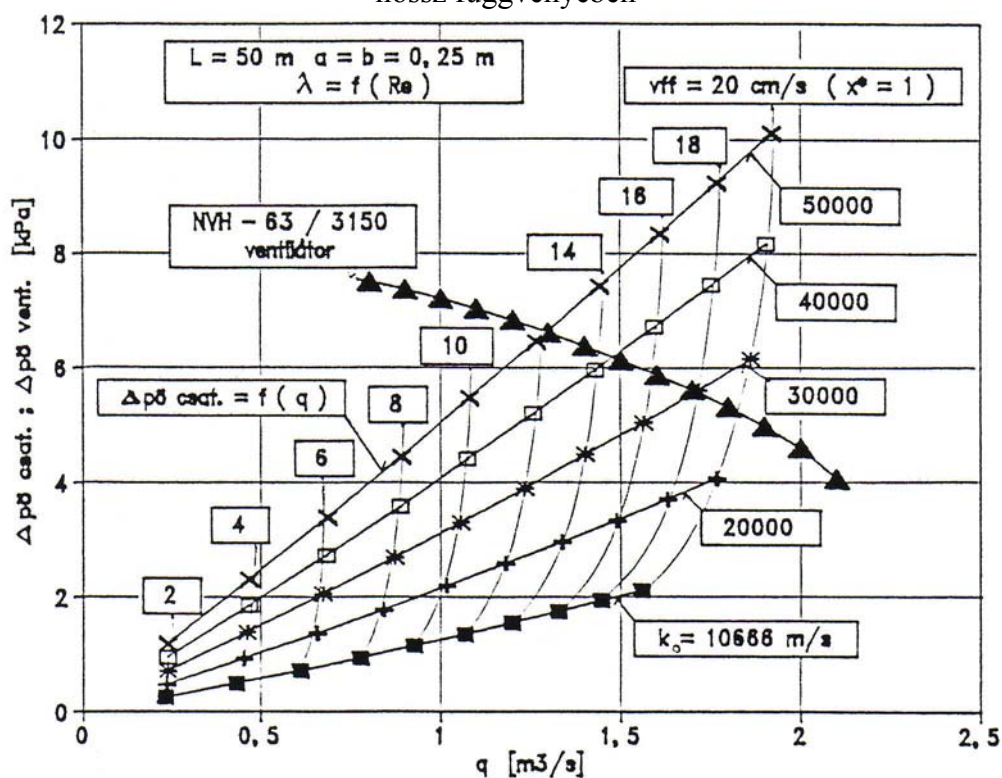
7.16. ábra. Szívott üzemű csatorna. Nyomáseloszlás a csatorna gyűjtőterében a hossz függvényében



7.17. ábra. Szívott üzemű csatorna. A fluidizáló levegő sebességének eloszlása a csatornahossz mentén



7.18. ábra. Szívott üzemű csatorna. A csatornairányú sebesség változása a gyűjtőtérben a hossz függvényében



7.19. ábra. Szívott üzemű csatorna. A csatorna jelleggörbéje különböző ellenállású elosztórétteg esetén. Sűrűlódásos eset

A 7.19. ábrában a csatorna jelleggörbét rajzoltuk meg. A számítás során elhanyagoltuk a csatorna alá érkező levegő dinamikus nyomását, annak kis értéke miatt. Ezzel  $\Delta p_{\text{öcsat.}} = p_{\text{ö1}} - p_{\text{ö2}} \cong p_o - p_{\text{ö2}} = f(q)$ .

### 7.2.5. A három különböző kiképzésű csatorna összehasonlítása a csatorna működése szempontjából

A három különböző csatorna, számítással meghatározott diagramjai azonos paraméterekkel készültek, így az ezekből levonható következtetések alkalmasak az összehasonlításra.

Az összehasonlítás alapjául az elosztó rétegen átáramló fluidizáló levegősebesség eloszlása, illetve a csatornát tápláló ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény szolgál.

#### a. Felül nyitott csatorna

A  $k_o=10666\text{m/s}$  állandóval jellemzett elosztó réteggel borított csatornánál a 7.8. ábrából kiolvashatóan a fluidizáló levegő a csatornavégi  $10\text{cm/s}$ -ról  $v_{f\min}=9.87\text{cm/s}$  értékre csökken, illetve  $v_{f\max}=10.77\text{cm/s}$  értékre nő meg. Ez százalékosan 1.3%-os csökkenést, illetve 7.7%-os növekedést jelent, ami figyelembe véve az  $L=50\text{m}$  csatornahosszt nem jelentős változás.

A 7.9. ábrából – a csatorna jelleggörbéből – kiolvashatóan a  $v_f=10\text{cm/s}$  paraméterű csatornavégi fluidizáló sebességnél és  $k_o=10666\text{m/s}$ -nál

$$q=1.25\text{m}^3/\text{s} \qquad \Delta p_{\text{öcsat.}}=1.65\text{kPa}$$

értékek adódnak. Az  $\eta_{\text{ö}}=0.65$  ventilátor hatásfokkal a hajtás teljesítményszükséglete:

$$P_{\text{ö}} = \frac{q \Delta p_{\text{öcsat.}}}{\eta_{\text{ö}}} = \frac{1.25\text{m}^3/\text{s} * 1650\text{Pa}}{0.65} = 3173\text{W}$$

#### b. Kettős csatorna

A 7.12. ábrából kivehetően a fluidizáló levegő a csatornavégi  $v_{ff}=10\text{cm/s}$ -ról lecsökken  $v_{ff\min}=6.7\text{cm/s}$  értékre. Ez 33%-os csökkenést jelent, ami már – amint azt korábban is hangsúlyoztuk – a csatorna üzemét veszélyeztetheti.

A 7.15. ábrából – a csatorna jelleggörbéből – a csatornavégi  $v_{ff}=10\text{cm/s}$  paraméterű pontban és  $k_o=10666\text{m/s}$ -nál az alábbi adatok olvashatók ki:

$$q=0.95\text{m}^3/\text{s} \qquad \Delta p_{\text{öcsat.}}=1.2\text{kPa}$$

A ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény:

$$P_{\text{ö}} = \frac{q \Delta p_{\text{öcsat.}}}{\eta_{\text{ö}}} = \frac{0.95\text{m}^3/\text{s} * 1200\text{Pa}}{0.65} = 1754\text{W}$$

## c. Szívott üzemű csatorna

A 7.17. ábrából kiolvashatjuk, hogy ennél a csatornánál a fluidizáló levegő a csatornavégi  $v_{ff}=10\text{cm/s}$ -ról lecsökken  $v_{ffmin}=6.5\text{cm/s}$  értékre, ami 35%-os sebességcsökkenést jelent. Ez a csökkenés a csatorna üzemét – hasonlóan a b. alatti csatornához – veszélyeztetheti.

A 7.19. ábrából – a csatorna jelleggörbájéből – a csatornavégi  $v_{ff}=10\text{cm/s}$  illetve a  $k_o=10666\text{m/s}$ -al jellemzett pontban az alábbi adatok olvashatók ki:

$$q=0.92\text{m}^3/\text{s} \qquad \Delta p_{\text{öcsat.}}=1.17\text{kPa}$$

A ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény:

$$P_{\text{ö}} = \frac{q \Delta p_{\text{öcsat.}}}{\eta_{\text{ö}}} = \frac{0.92\text{m}^3/\text{s} * 1170\text{Pa}}{0.65} = 1656\text{W}$$

A három azonos paraméterű csatorna közül a fluidizáló levegő sebességében a legkisebb változás a felül nyitott csatornánál adódott. A csatornát tápláló ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény viszont itt a legnagyobb értékű.

A fluidizáló levegő sebességének hossz menti változását a nagyobb ellenállású szövet beépítésével csökkenthetjük. Ha pl. a felül zárt, kettős csatornánál a  $k_o=50000\text{m/s}$ -al jellemzett elosztóréteggel borítjuk a csatornát, akkor a csatornavégi  $v_{ff}=10\text{cm/s}$  fluidizáló levegő sebessége

$$v_{ffmin}=8.86\text{cm/s}$$

értékre csökken csupán, ami 11.4%-os csökkenést jelent.

A csatornát tápláló ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény viszont a 7.15. ábrából vett

$$q=1.15\text{m}^3/\text{s} \qquad \Delta p_{\text{öcsat.}}=5.95\text{kPa}$$

adatokkal az alábbi:

$$P_{\text{ö}} = \frac{q \Delta p_{\text{öcsat.}}}{\eta_{\text{ö}}} = \frac{1.15\text{m}^3/\text{s} * 5950\text{Pa}}{0.65} = 10527\text{W}$$

Ez a teljesítmény az előzőekben számolt teljesítménynek ( $P_{\text{ö}}=1754\text{W}$ ) közel hatszorosa.

A példa adatai alátámasztják azt a következtetést, hogy a legkedvezőbb üzemű csatorna a felül nyitott csatorna. (Megjegyezzük, hogy a teljesítmény számításnál a ventilátort a csatornával összekötő csővezeték ellenállásával nem számoltunk.)

A felül nyitott csatorna fluidizáló sebességének kismértékű változása azzal magyarázható, hogy az alsó csatornában – mint már korábban is említettük – az áramlás „diffuzor” jellegű sűrűlódásmentes esetben. Ez a diffuzor jelleg jól megfigyelhető a 7.7. ábrában, ugyanis a nyomás értéke a csatornavégi értékről a csatorna eleje felé haladva fokozatosan csökken és felveszi a legkisebb értékét – a mintapéldában – az  $x \approx 25\text{m}$  hossz koordináta értékénél. A sűrűlódás – ami a csatornairányú sebesség négyzetével arányos – azt eredményezi, hogy a



nyomásváltozás iránya megfordul és a csatorna eleje irányában tovább haladva a nyomás elkezdi növekedni. Így a csatorna alsó terében a nyomás változásának mértéke nem jelentős és ennek tudható be a fluidizáló levegő sebességének kismértékű változása.

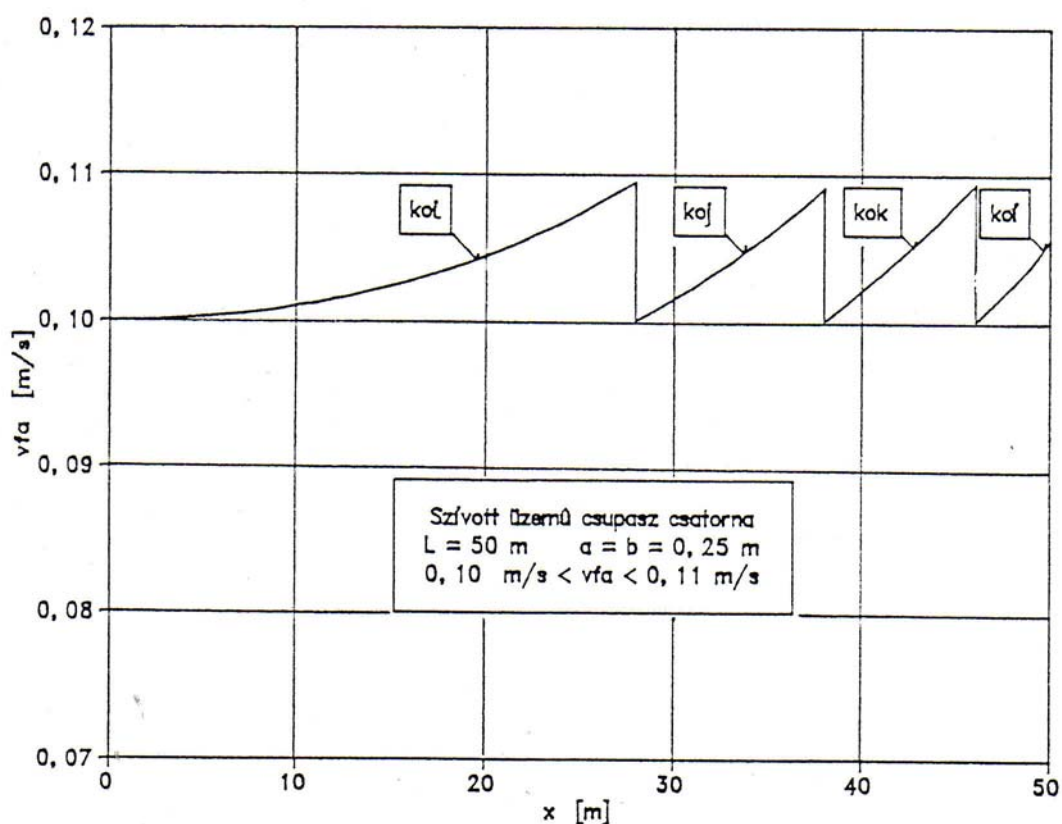
A fluidizáló levegő sebességének csökkenését nemcsak a nagyobb ellenállású elosztóréteg beépítésével érhetjük el, hanem azzal is, hogy különböző ellenállású szövetet borítjuk a csatornát.

### 7.2.6. Különböző ellenállású elosztóréteggel borított csatorna

#### a. Szívott üzemű csatorna

A szívott üzemű csatorna áramlási jellemzőit leíró 7.67. egyenlet megoldása során előírtuk, az  $x^* = 0$  helyen a  $v_{fa} = 10 \text{ cm/s}$  fluidizáló sebességet. Előírtuk továbbá, hogy ez a sebesség sehol nem csökkenhet a csatorna mentén  $10 \text{ cm/s}$  érték alá és sehol nem nőhet  $11 \text{ cm/s}$  érték fölé.

Tekintettel arra, hogy az  $x^* = 0$  helyen a csatorna gyűjtőterében a csatornairányú sebesség nulla, ezért a sebesség és az elosztóréteg alatti nyomás ismeretében az „i”-edik rétegre jellemző „ $k_{oi}$ ” állandó számítható. A differenciálegyenlet megoldása során a „ $v_{fa}$ ” fluidizáló sebesség a csatorna hossza mentén növekvő „ $x$ ” értéknél nő, mivel a nyomás csökken. Amikor a „ $v_{fa}$ ” sebesség az előírt felső korlát közelébe kerül a „ $v_{fa}$ ” sebesség további növekedését a nagyobb „ $k_{oj}$ ” ellenállás-tényezőjű elosztóréteg beépítésével akadályozzuk meg.



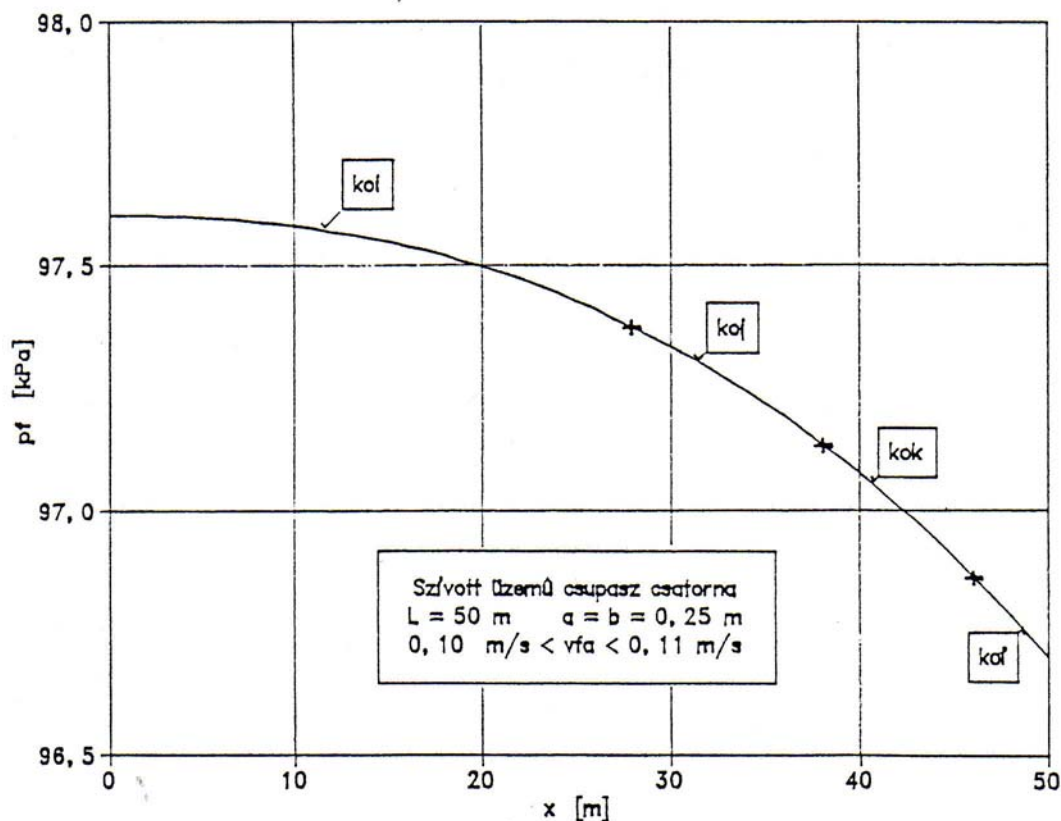
7.20. ábra. Szívott üzemű, négy különböző ellenállású elosztóréteggel borított csatorna

Az elosztóréteg váltás helyén a felső csatornában a két réteg elválasztó vonalában a nyomás – ami a számítás során ismertté vált – jobbról közelítve, illetve balról közelítve a váltás helyéhez azonos lévén, a  $v_{fa}=10\text{cm/s}$  sebesség előírásával az új „ $k_{oj}$ ” érték számolható, amivel a differenciálegyenlet megoldása tovább folytatható. A fentiek következtében a szövetváltás helyén a „ $v_{fa}$ ” sebességben ugrások vannak, míg a nyomás és a csatornairányú sebesség hossz menti változásában természetesen ugrások nincsenek. Az eljárást addig kell folytatni, míg a csatorna végét a számítás során el nem értük.

A 7.20. ábrában bemutatott diagramból látható, hogy a csatorna négy különböző ellenállású elosztóréteggel van borítva. Az elosztórétegre jellemző állandók:

$$\begin{array}{ll} k_{oi}=20000\text{m/s} & k_{oj}=21900\text{m/s} \\ k_{ok}=23890\text{m/s} & k_{ol}=26140\text{m/s} \end{array}$$

Előfordulhat, hogy olyan elosztóréteg állandók adódnak, amilyen ellenállással jellemzett réteg nem áll rendelkezésre. Ebben az esetben a rendelkezésre álló rétegek ellenállás-tényezőiből lehet kiindulni és így a „ $v_{fa}(x)$ ”-re adódik valamilyen eloszlás. Adott esetben mérlegelni kell, hogy az így kapott eloszlás a szállítandó anyag szempontjából megfelelő-e vagy sem.

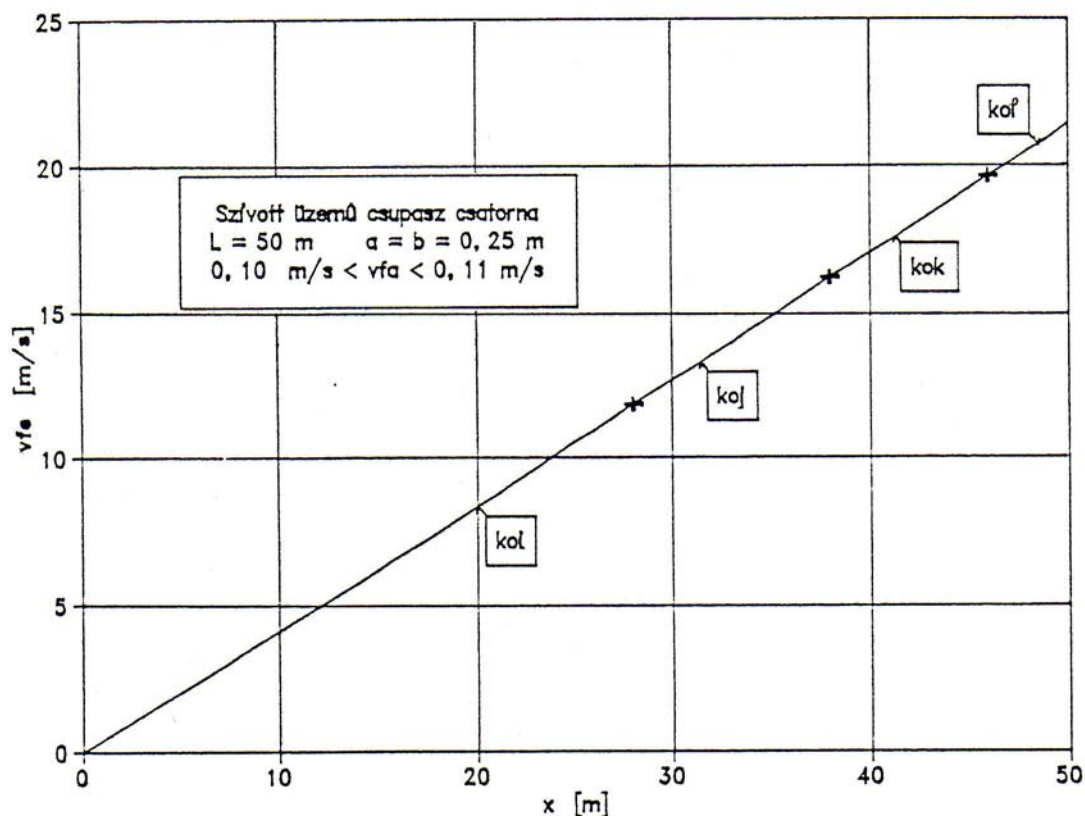


7.21. ábra. A nyomás változása szívott üzemű, négy különböző ellenállású elosztóréteggel borított csatornában. Az elosztóréteg váltás helyeit keresztek jelzik

A 7.21. ábrában bemutatjuk a felső gyűjtőcsatornában a nyomás változását a csatorna hossza mentén.

A 7.22. ábrában a felső gyűjtőcsatornában áramló csatornairányú levegő sebességét láthatjuk a hossz függvényében.





7.22. ábra A csatornairányú levegő sebesség a szívott üzemi, négy különböző ellenállású elosztóréteggel borított csatornában. Az elosztóréteg váltás helyeit keresztek jelzik

A mintapéldabeli csatorna tervezési pontjában a munkapont adatai a következők:

$$q=1.34\text{m}^3/\text{s} \quad \Delta p_{\text{öcsat.}}=2896\text{Pa}$$

Ezekkel az adatokkal a ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény  $\eta_{\text{ö}}=65\%$  ventilátor hatásfokkal az alábbi:

$$P_{\text{ö}} = \frac{q \Delta p_{\text{öcsat.}}}{\eta_{\text{ö}}} = \frac{1.34\text{m}^3/\text{s} * 2896\text{Pa}}{0.65} = 5970\text{W}$$

Azért, hogy a több réteggel borított csatorna –melynek elkészítése körülményesebb – előnye kidomborodjék, elvégeztük a számítást egyetlen olyan ellenállású elosztóréteggel, amely önmaga teljesíti, hogy a fluidizáló levegő sebessége  $10\text{cm/s} \leq v_{fa} \leq 11\text{cm/s}$  értékhatár között maradjon. Az elosztóréteg ellenállás-tényezője:  $k_o=80000\text{m/s}$ .

A csatorna adatai a számítás eredményeként:

$$q=1.44\text{m}^3/\text{s} \quad \Delta p_{\text{öcsat.}}=10183\text{Pa}$$

A ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény  $\eta_{\text{ö}}=65\%$  ventilátor hatásfokkal számolva

$$P_{\text{ö}} = \frac{q \Delta p_{\text{öcsat.}}}{\eta_{\text{ö}}} = \frac{1.44\text{m}^3/\text{s} * 10183\text{Pa}}{0.65} = 22560\text{W} \text{ értékű.}$$

A két megoldás között a hajtás teljesítmény igényében mutatkozik számottevő eltérés, amelynek aránya:  $22560\text{W}/5970\text{W}=3.8$

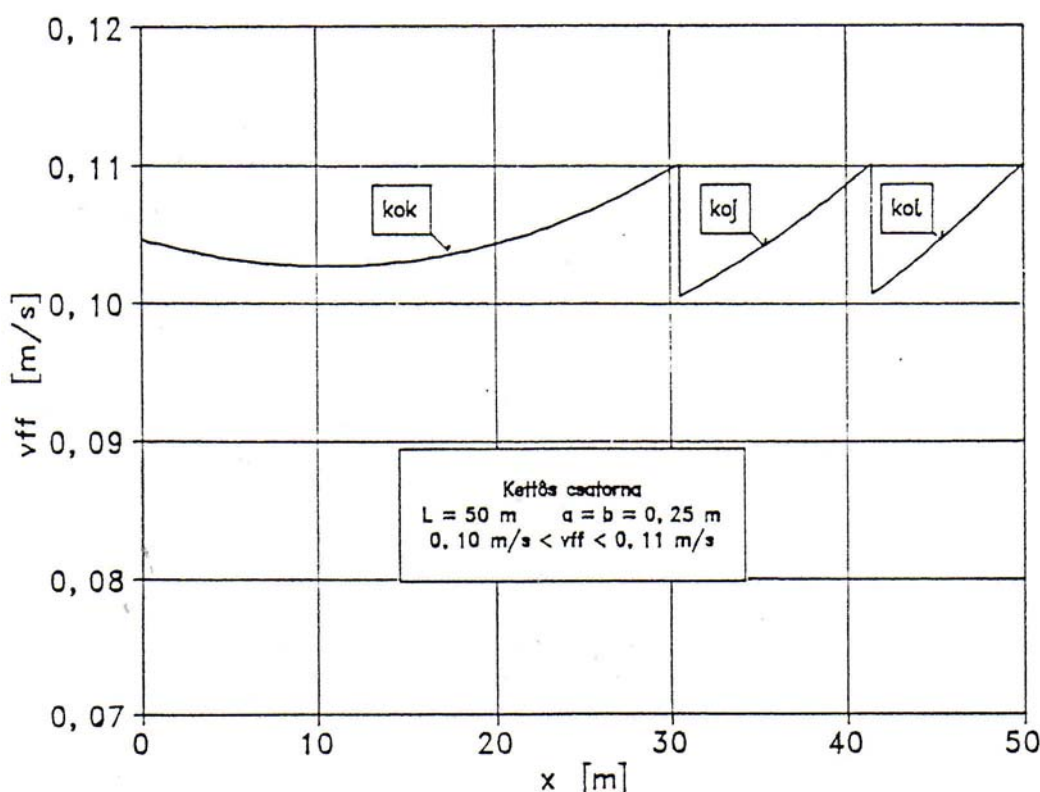
Ez azt jelenti, hogy a mintapéldában bemutatott egy réteggel borított szívott üzemű csatorna energiafogyasztása 3.8-szorosa a több réteggel borított csatornáénak. Fentiek alapján mérlegelni lehet a többretegű csatorna komplikáltabb, drágább kivitelezési költségét. (A teljesítmény számításnál nem számoltunk a ventilátort a csatornával összekötő vezeték ellenállásával.)

b. Felül zárt csatorna. Kettős csatorna

A felül zárt kettős csatorna áramlási jellemzőit leíró 7.59. és 7.64. 3gyenletek megoldása során előírtuk, az  $x^*=1$  helyen a  $v_{ff}=11\text{cm/s}$  fluidizáló sebességet. Előírtuk továbbá, hogy ez a sebesség sehol nem csökkenhet a csatorna mentén  $10\text{cm/s}$  érték alá és nem nőhet  $11\text{cm/s}$  érték fölé.

Az egyenletek megoldásához – amint azt, már korábban is említettük – becslés útján fel kell venni a „ $P_2$ ” összevont dimenziótlan állandóban szereplő „ $v_{al}$ ” sebesség értékét.

(Emlékeztetőül:  $P_2 = \frac{\rho_o v_{la}^2}{2p_o}$ )



7.23. ábra. Felül zárt, három különböző ellenállású elosztóréteggel borított kettős csatorna. A felső térbeli állapothoz tartozó fluidizációs sebesség a hossz függvényében

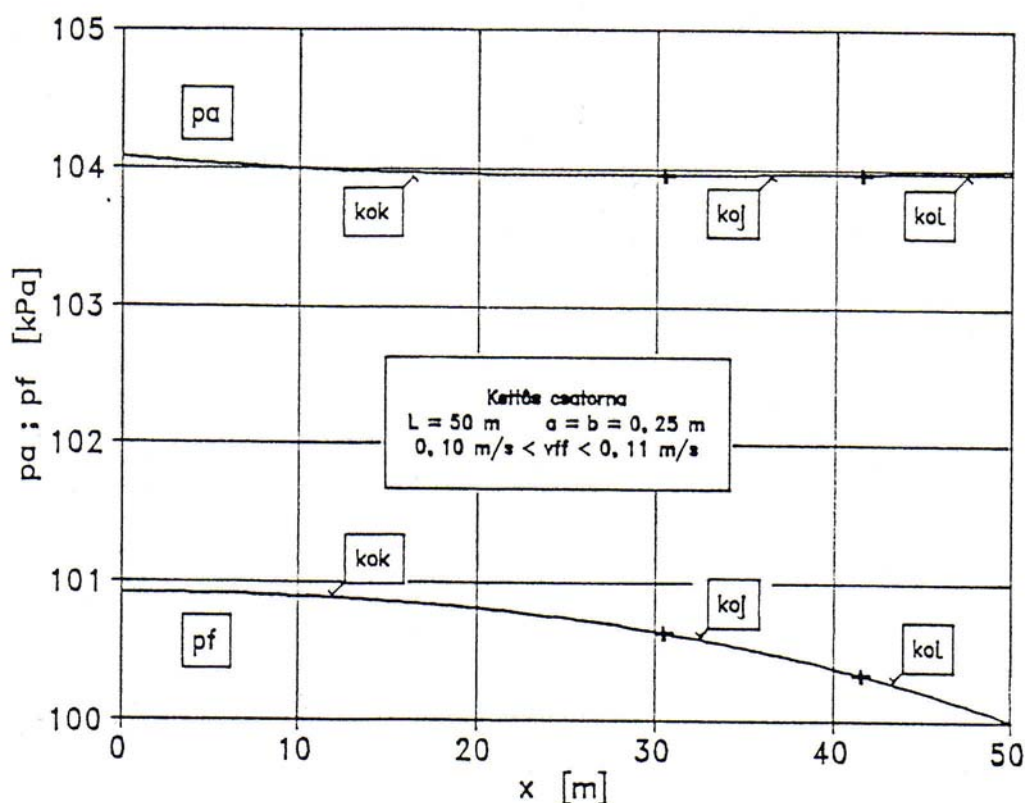
Iterációs eljárás segítségével a differenciálegyenlet megoldásánál a „ $v_{al}$ ” értékét („ $P_2$ ” értékét) addig kell módosítani, míg az előírt hibahatáron belül teljesül az ① keresztmetszeten beáramló és a ② keresztmetszeten kiáramló levegő tömegáramok azonossága. Közben mindvégig figyelemmel kell lenni a „ $v_{ff}$ ” fluidizáló levegő sebességének csökkenésére. Ahol a

fluidizáló levegő sebessége az előírt érték alá csökkenne ott – a hossz mentén visszafelé haladva – kisebb ellenállású elosztóréteg választásával a fenti csökkenést megakadályozhatjuk. Mivel az elosztóréteg váltás helyén a két réteg elválasztó vonalában a nyomás – mindkét irányból a váltás helyéhez közelítve – azonos, ezért a nyomás ismeretében a kisebb ellenállású réteg ellenállás-tényezője a  $v_{ff}=11\text{ cm/s}$  megengedhető felső határsebesség előírása révén számítható és a differenciálegyenlet megoldása tovább folytatható.

A 7.23. ábrában bemutatott diagramból látható, hogy a csatorna három különböző ellenállású elosztóréteggel van borítva. A rétegekre jellemző állandók számított értékei az alábbiak:

$$k_{oi}=30000\text{ m/s} \quad k_{oj}=27400\text{ m/s} \quad k_{ok}=25000\text{ m/s}$$

A 7.24. ábra a csatorna alsó elosztó és a felső gyűjtő terében mutatja a nyomáeloszlást a csatornahossz függvényében. A kereszttek mutatják a rétegváltás helyét.



7.24. ábra. Felül zárt, három különböző ellenállású elosztóréteggel borított kettős csatorna. Nyomáeloszlás az alsó elosztó és a felső gyűjtő térben a hossz függvényében. A kereszttek az elosztóréteg váltás helyét jelzik

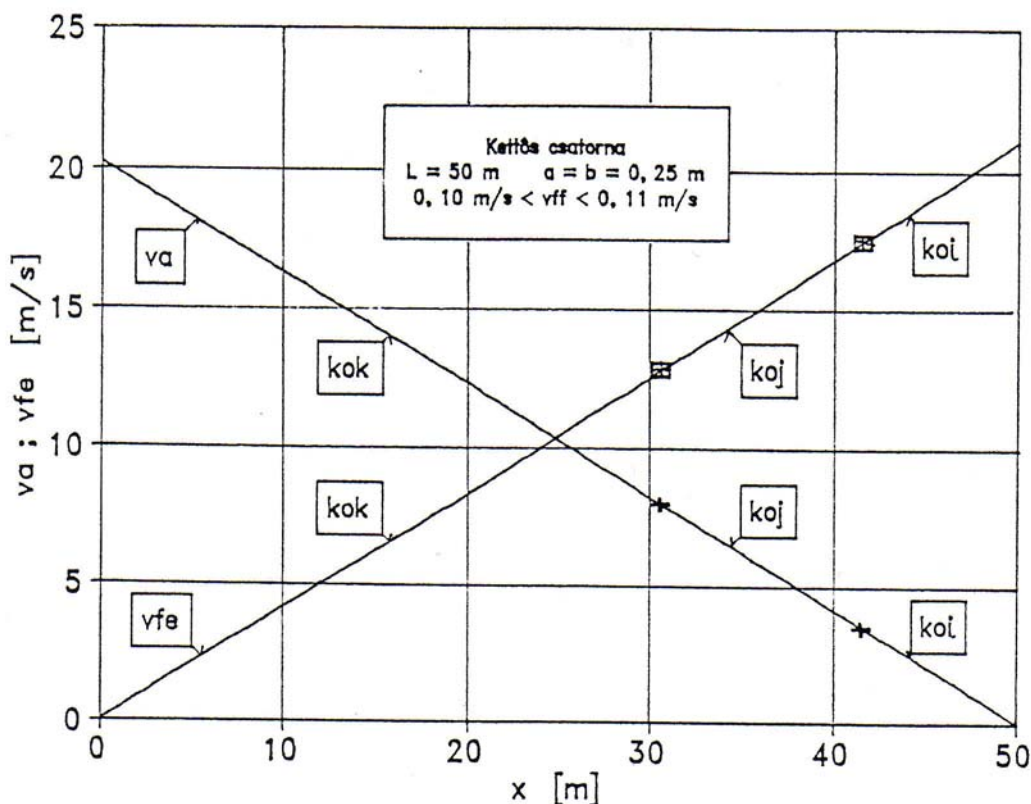
A 7.25. ábra az alsó elosztó és a felső gyűjtő térben mutatja a csatornairányú sebesség változását a csatornahossz függvényében. A berajzolt kereszttek a rétegváltás helyét mutatják.

A mintapéldában bemutatott három elosztórétegű kettős csatorna adatai a számításból adódóan az alábbiak:

$$q=1.26\text{ m}^3/\text{s} \quad \Delta p_{\text{öcsat.}}=4080\text{ Pa}$$

Ezekkel az adatokkal a ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény  $\eta_{\bar{o}}=65\%$  ventilátor hatásfokkal az alábbi:

$$P_{\bar{o}} = \frac{q \Delta p_{\bar{o}csat.}}{\eta_{\bar{o}}} = \frac{1.26 \text{ m}^3 / \text{s} * 4080 \text{ Pa}}{0.65} = 7910 \text{ W}$$



7.25. ábra. Felül zárt, három különböző ellenállású elosztóréteggel borított kettős csatorna csatornairányú sebességének változása az alsó elosztó és a felső gyűjtő térben a hossz függvényében. A keresztek az elosztórétég váltás helyét mutatják

Hasonlóan az a. alatti részben bemutatott szívott üzemi csatornához, itt is elvégeztük a számítást olyan ellenállású egyetlen elosztórétégű kettős csatornára, amelynél a fluidizáló sebesség  $10 \text{ cm/s} \leq v_{ff} \leq 11 \text{ cm/s}$  értékhatar között marad.

Ennek a rétegnek a jellemzője  $k_o=75000 \text{ m/s}$ . A számítás eredményeként a csatorna adatai:

$$q=1.29 \text{ m}^3/\text{s} \quad \Delta p_{\bar{o}csat.}=9982 \text{ Pa}$$

A csatornát levegővel ellátó ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény  $\eta_{\bar{o}}=65\%$  ventilátor hatásfokkal az alábbi:

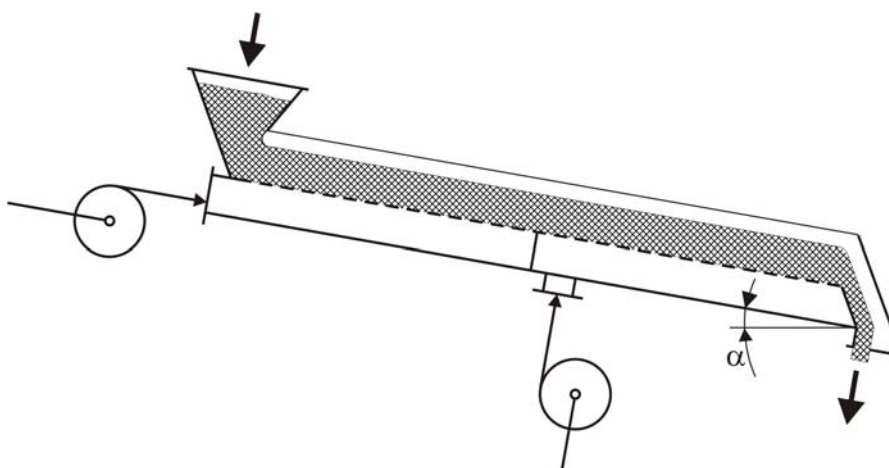
$$P_{\bar{o}} = \frac{q \Delta p_{\bar{o}csat.}}{\eta_{\bar{o}}} = \frac{1.29 \text{ m}^3 / \text{s} * 9982 \text{ Pa}}{0.65} = 19810 \text{ W}$$

A három elosztóréteggel borított kettős csatornát és az egyrétegű kettős csatornát tápláló ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény itt is eltér egymástól. A két teljesítmény aránya:  $19810W/7910W=2.5$

Az energiafogyasztásban megmutatkozó különbség indokolja, hogy célszerű vállalni a többrétegű csatorna drágább előállítási költségét. (Megjegyezzük, hogy a teljesítmény számításnál itt sem vettük figyelembe a ventilátort a csatornával összekötő csővezeték ellenállásait.)

### 7.2.7. A csatornák sorba kapcsolása. Több ventilátorral üzemelő csatorna

A csatornák sorba kapcsolásával csökkenthető az elosztó illetve gyűjtőcsatornában a csatornairányú sebesség. Ez azt jelenti, hogy ebben az esetben csökken az áramlási veszteség, megváltozik a csatornában a nyomáseloszlás.



7.26. ábra. Két ventilátorral üzemelő sorba kapcsolt, felül nyitott csatorna

A 7.26. ábrában látható vázlatnak megfelelően a csatornát két ventilátor táplálja. A csatornák csatlakozó pontjában a két csatorna légeosztó tereit válaszfal választja el egymástól.

Példaként megvizsgáltunk energiafelhasználás szempontjából egy olyan felül nyitott aerációs csatornát, amely  $L/2=25m$  hosszú csupán.

A 7.2.5. fejezet a. alatti részében az  $L=50m$  hosszú csatornát tápláló ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény  $P_{\delta}=3173W$  volt.

Ha ezt a csatornát két, egyenként  $L/2=25m$  hosszú sorba kapcsolt csatornával helyettesítjük, akkor a 7.40. differenciálegyenlet megoldásaként  $L/2=25m$  hosszú csatornára – azonos fluidizációs sebesség kezdeti feltétellel – az alábbi adatokat kapjuk:

$$q=0.621m^3/s \quad \Delta p_{\delta csat.}=1325Pa$$

Egy ventilátor hajtásához szükséges teljesítmény ezzel:

$$P_{\delta} = \frac{q \Delta p_{\delta csat.}}{\eta_{\delta}} = \frac{0.621m^3/s * 1325Pa}{0.65} = 1266W$$

Két ventilátornál pedig:  $\Sigma P_{\partial} = 2P_{\partial 1} = 2 * 1266W = 2532W$

A két ventilátor hajtásához a szükséges összes teljesítmény, mint láthatjuk kisebb, mint az egy ventilátorral táplált  $L=50m$  hosszú csatornát ellátó ventilátoré. ( $2532W < 3173W$ )

A kérdést, hogy érdemes-e a szállítást két  $L/2=25m$  hosszú csatornával megoldani, végső soron gazdasági elemzés döntheti el, amelyben a ventilátorok árai és az egyéb kiépítési költségek lesznek mérvadók.