

P. FitzPatrick – Nagy Britanniai Légpárnáshajó Egyesület

A LÉGPÁRNÁSHAJÓ-TERVEZÉS ALAPELVEI

Fordította: Németh Richárd

2004. szeptember 15.

A légpárnáshajó-tervezés alapelvei

P. FitzPatrick – Nagy Britanniai Légpárnáshajó Egyesület

LÉGPÁRNÁS CSÚSZKA

A légpárnás járművek legegyszerűbb formája a légpárnás csúszka. Ez az az eszköz, amit az üzemekben nehéz terhek mozgatására használnak. A szerkezet lényegében egy kekszdoboz-fedeléhez hasonló, oldalfallal ellátott acél korong vagy háromszögletű lemez. A padlófelület egyenetlenségeit a lemezélen körbefutó gumitömítés egyenlíti ki.

A csúszkához egy légellátó tömlő csatlakozik. A csúszka alá juttatott levegő nyomásából ébredő emelőerő megközelítőleg azonos a szállított teher súlyával. A levegő mennyiségének elegendőnek kell lennie ahhoz, hogy siklás közben legyőzze a szerkezet körül elszivárgó levegő mennyiségét.

Példa: egy 8000kg tömegű testet szeretnénk 4db légpárnás csúszkával mozgatni, ezért mindenegyes csúszkának 2000kg tömeget kell majd emelnie.

Ha a csúszka mérete 1000x1000mm, akkor a csúszka felülete 1m², tehát a szükséges levegőnyomásnak (a szoknyanyomásnak) 2000kg/m² (19.62kPa vagy 2.84PSI) értékűnek kell lennie.

$$P_C \text{ szoknyanyomás} = \frac{\text{A teher és csúszka összsúlya}}{\text{A párna alapterülete}}$$

Megjegyzés: a példában a csúszka súlya a teher súlyához képest elhanyagolhatóan kicsi, ezért azt a számítás során nem vettük figyelembe. Légpárnáshajó esetén mind a hajó, mind a teher súlyával számolnunk kell.

A négyszögletű csúszka -ami alatt a levegő kiáramlik, miközben terhet emel- kerülete:

$$K = 4 \cdot 1000\text{mm} = 4000\text{mm} = 4\text{m}$$

Feltételezzük, hogy a tervezett lebegési magasság (ennyire emelkedik el a felület a padlótól) $h=3\text{mm}$, amivel a légrés –amin keresztül a levegő elszökik- felülete:

$$A_e = 4 \cdot 0.003 = 0.012\text{m}^2$$

A légrésen keresztűl áramló légmennyiség kiszámításhoz szükségünk van néhány -a légmozgással kapcsolatos- fogalom tisztázására.

A nyomás értelmezése

A légkör a súlyából fakadó nyomás a légnyomás. A tengerszinten mért légnyomás értéke 1bar vagy 100000Pa. A gyerekek által a léggömbbe fújt levegő nyomása alig lehet nagyobb, mint a légköri nyomás értéke- mondjuk, hogy 105000Pa. A különösebb jelző nélkül megadott nyomás, mint kifejezés mind a külső légnyomást ($P_0=100000\text{Pa}$), mind a léggömbben uralkodó nyomásértéket ($P_a=105000\text{Pa}$) jellemzi. Ebben a formában megadott nyomást *abszolút nyomásnak* nevezzük.

Statikus nyomás: $P_s = P_a - P_0$

A légtechnikában a statikus nyomásnak az abszolút nyomás és a légköri nyomás közötti különbséget nevezzük. A léggömb esetén a statikus nyomás a belső abszolút nyomás és a külső légnyomás különbsége, azaz $105000-100000=5000\text{Pa}$. A statikus nyomás pozitív, amikor az abszolút nyomás nagyobb, mint a légköri nyomás értéke és negatív, amikor kisebb.

Dinamikus nyomás: $P_V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$

ahol:

$\rho = 1.22 \text{ kg/m}^3$ a levegő tengerszinten (légköri nyomáson) mért sűrűsége

$v =$ a levegő sebessége, m/s

Amikor a szél erőt fejt ki egy tárgyra (pl. kémény körül) a nyomás a szélirányba eső részen nagyobb, mint a másik oldalon. A szél ezután körbefújja mindkét oldalt. Abban a pontban, ahol a légáramok szétválasztódnak (mivel eléri a kémény felületét) a szélesség nulla. Ezt a pontot torlódási pontnak nevezzük.

A fenti képlet alapján látható, hogy ha $v=0\text{m/s}$, akkor a dinamikus nyomás $P_V=0\text{Pa}$.

Össznyomás: $P_t = P_s + P_V$

Ha a szél a légkörben áramlik anélkül, hogy erőt fejtene ki bármiféle felületre, akkor a statikus nyomás nulla. Azonban a szél fúj (sebességgel áramlik), tehát van dinamikus nyomása. Abban az esetben, ha a légáramlat egy tárggyal érintkezik a torlódási pontban, ahol a sebesség nullára csökken, a statikus nyomás a dinamikus nyomással megegyező értékére emelkedik, ezáltal erőt fejt ki a tárgyra. A dinamikus nyomás értéke mindig pozitív.

Ezek az összefüggések a légcsatornában áramló levegőre is helytállóak. A súrlódás miatt a csatorna ellenállást fejt ki a levegő áramlásával szemben és a levegő statikus nyomást gyakorol a légcsatorna falára. Mivel a levegő áramlik ezért dinamikus nyomása is van. A vezetékes rendszerben a ventilátor hozza létre az össznyomás (P_t) növekedését, amely a csőhálózat hosszában állandó értékű. A $P_t = P_s + P_V$ összefüggés alapján mindenegyes változás a statikus nyomás (P_s) értékében a dinamikus nyomás (P_V) ellentétes értékű változását eredményezi. Amikor az áramló levegő kilép a hálózatból, akkor csak dinamikus nyomással rendelkezik, ami egyenlő az össznyomással, azaz a statikus nyomás nullára csökken.

A példa megoldása az összefüggések alkalmazásával

A szoknyanyomás $P_C = 19600\text{Pa}$. Ez a csúszka alatt kialakuló, a padlófelületre és a túlnyomásos tér határolófalaira ható statikus nyomás (P_s).

Tehát:

$$P_s = 19600\text{Pa}$$

A szoknya alatti nyomásviszonyokat leíró egyenlet:

$$P_{t1} = 19600 + P_{V1} \quad (\text{A})$$

A szoknyán kívüli nyomásviszonyokat leíró egyenlet:

$$P_{t2} = P_{s2} + 19600 \quad (\text{B})$$

Az előzőekben megfogalmazottak alapján, amikor a levegő elhagyja a rendszert a teljes statikus nyomás dinamikus nyomássá alakul át.

A (B) jelű egyenlet felírható az alábbi alakban, ahol $P_{s2} = 0\text{Pa}$:

$$P_{t2} = 0 + 19600 \quad (\text{C}) \quad (\text{A szoknyán kívül: az össznyomás} = \text{dinamikus nyomás})$$

Az (A) jelű egyenlet felírható az alábbi alakban, ahol $P_{V1} = 0\text{Pa}$:

$$P_{t1} = 19600 + 0 \quad (\text{D}) \quad (\text{A szoknya alatt: az össznyomás} = \text{statikus nyomás})$$

Az előző összefüggésekben elhanyagoltuk a szoknya alatti részben kialakuló dinamikus nyomást, mivel értéke a szoknyanyomás vagy a statikus nyomás értékéhez képest nagyon alacsony, ezért jelentéktelen eltérést eredményez a végeredményben.

Tudjuk, hogy

$$P_{V2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

A (B) és a (C) egyenlet alapján:

$$P_{V2} = 19600 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2, \text{ amiből kifejezve}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 19600}{1.22}} = 179.25 \text{ m/s}$$

Ez a sebesség a szoknya alatti, adott P_c szoknyanyomású, a légrésen át kilépő levegő v_e szökési sebessége.

A szökési sebesség számításának általános képlete:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot P_c}{\rho}}$$

A résen keresztül elszökő levegő V_e térfogatárama:

$$V_e = v_e \cdot A_e = 179.25 \cdot 0.012 = 2.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tehát mindenegyes csúszka működtetéséhez $2.15 \text{ m}^3/\text{s}$ mennyiségű és 19600 Pa túlnyomású levegőt kell biztosítani.

A számítások során a levegő ideális áramlását feltételeztük. Nem vettük figyelembe a levegő turbulens áramlását, a súrlódási veszteségeket és a levegő sűrűségének nyomásfüggését. A kapott végeredmények némileg magasabb értékeket adnak, mint a valós körülmények közötti működéskor várhatóak.

LÉGPÁRNÁSHAJÓ

A csúszkára felírt általános összefüggések légpárnáshajó esetén is helytállóak. Azonban a légpárnás valós tulajdonságának megfelelően a tervezés során további jellemzőket is figyelembe kell vennünk.

A szoknyanyomás és légmennyiség előző módon történő meghatározásához a következők ismerete szükséges:

1. a hajó tömege
2. a hordozott teher tömege
3. a szoknya és a felszín érintkezési kerülete
4. a szoknya és a felszín érintkezési felülete

A légpárnások meghajtása általában propellerekkel vagy ventilátorokkal történik. Abban az esetben, ha az emelést és a haladást egymástól független meghajtásokkal biztosítjuk, akkor a számítás egyszerűbb, mivel az emelő ventilátor az adott üzemi körülményeknek megfelelő állandó sebességre (állandó légmennyiség) beállítható. Ezeknél a hajóknál tekintettel kell lennünk az üzemi feltételekben bekövetkező változásokra.

A hajó össztömegének ellensúlyozására választott szoknyanyomást, és az ennek következtében létrejövő emelőerőt, a hajó vagy a teher súlyának változásával összhangban szükségszerűen változtatni kell. A légrés változása a szoknyanyomás fenntartásához szükséges légmennyiség változását eredményezi.

A gyakorlatban a légrésváltozást annak felületeknek a minőségi változása okozza, ami felett a légpárnás halad. Következésképpen a kiválasztott emelőventilátorokkal a különböző üzemelési körülményeknek megfelelő nyomást és légmennyiséget kell biztosítani. Ezt a képességet a kiválasztott ventilátor jelleggörbéje és a működési fordulatszáma határozza meg.

Integrált rendszer esetén egy ventilátort használunk az emeléshez és a mozgatáshoz, emiatt a probléma bonyolultabbá válik. Általában követelmény a hajtómotor fojtásával történő tolóerőváltoztatás. Ez azt jelenti, hogy a hajtólevegővel egyidejűleg, az emelőlevegő mennyiségének a változtatása is bekövetkezik. Szükségszerűvé válik a teljes emelőlevegő-mennyiség biztosítása a legnagyobb fordulatszámnál kisebb motorfordulatszám esetén is. Ez teszi lehetővé a motor részleges fojtásával történő manővereket (pl. fordulás) anélkül, hogy elveszítenénk az emelőerőt, és túlzottan megnövekedne a szoknyasúrlódás. Elkerülhetetlen következmény az, hogy a legnagyobb motorfordulatszámnál a szoknya alá a szükségesnél több levegő kerül, ami kényszerű többletteljesítmény-bevitellel párosul.

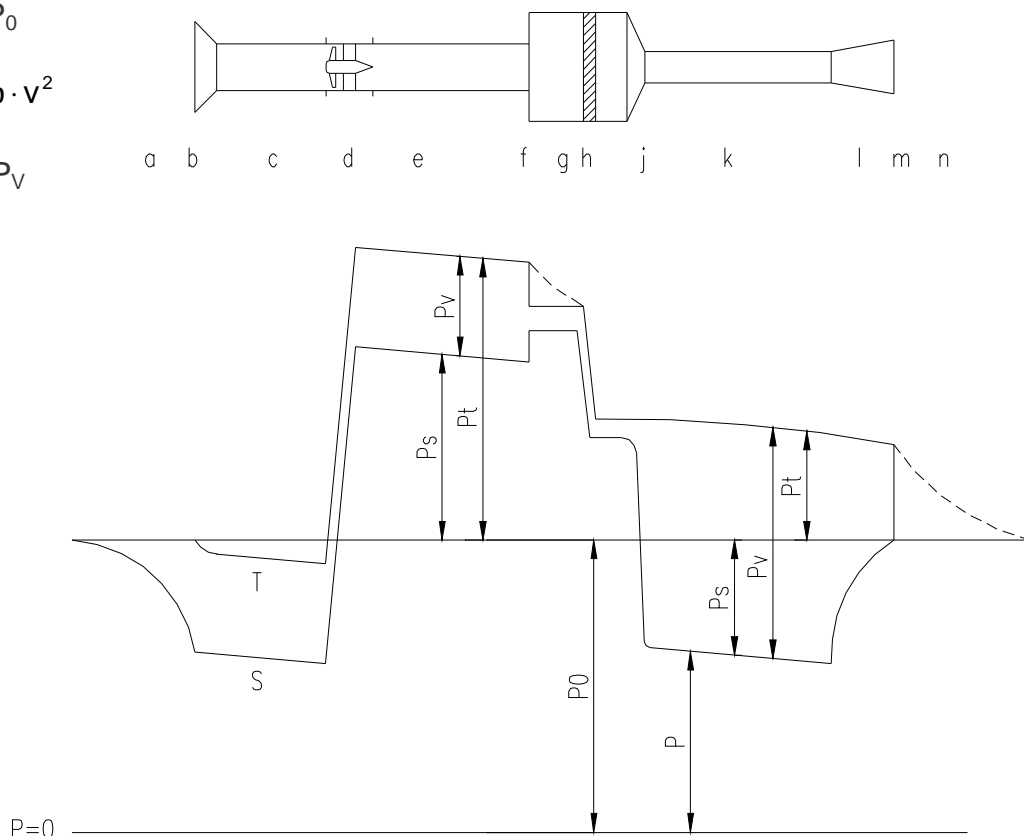
A ventilátoros légcsatornarendszer nyomásviszonyai

Az **1.sz. ábra** a légcsatornahálózatban kialakuló nyomásviszonyokat mutatja. Az ábrán vastag vonalakkal ábrázolt a levegő statikus- (S) és össznyomásának (T) a változása a belépéstől a kilépésig. P_0 a légköri, P az abszolút nyomást jelöli, melyeket az oldal alján található $P=0$ vonaltól jelöltük fel. A jellemző nyomásértékek a nyilakkal jelölt szakaszok alapján azonosíthatóak.

$$P_s = P + P_0$$

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

$$P_t = P_s + P_v$$



1.sz. ábra

Jelmagyarázat, értelmezés

- a. a légsebesség a nulla (nyugvó levegő) értékről a csatornába történő belépés irányába haladva elkezd nőni. Nincsen nyomásvesztés, ezért a P_t össznyomás állandó értékű, nagysága megegyezik a külső légnyomás értékével. Az áramlási sebesség növekedésével a levegő P_s statikus nyomása csökken a dinamikus nyomás egyre növekvő értékével.
- b. P_t össznyomás a rendszerbe történő belépési nyomásvesztés miatt kicsit csökken.
- c,e. P_t össznyomás fokozatosan csökken a súrlódási nyomásvesztés következtében. A dinamikus nyomás állandó értékű (nem változik az áramlási sebesség, mivel állandó az áramlási keresztmetszet) és $P_s = P_t - P_v$.
- d. P_t össznyomás, a ventilátor össznyomás-emelésének mértékével megnő. A P_s statikus nyomás is ugyanekkora mértékben nő, mivel a példában illusztrált rendszerben a ventilátor be- és kilépő oldala azonos keresztmetszetű. Nem szabad elfelejteni, hogy P_s statikus nyomásváltozás soha sem egyenlő a ventilátor statikus nyomás-emelésével.
- f. A légcsonna-keresztmetszet hirtelen növekedése során P_t össznyomás a nyomásvesztésnek megfelelően lecsökken. A névleges nyomásesés nagy, a változást mutató egyenes vonal meredeken lejt. A szaggatott vonal a nyomásvesztés valós alakulását mutatja a csatorna hosszában. P_s statikus nyomás élesen emelkedik mind névleges értékében, mind a ténylegesen a csatornafalon mérhető nyomás értékében. Ezt nevezzük statikus nyomásvisszanyerésnek, mivel az e és a g pont közötti szakaszon bekövetkező dinamikus nyomásesés teljes értéke nem veszik el.
- g,h. A P_t össznyomás változása azt a hasznos munkát mutatja, amit a levegő végez, miközben legyőzi a rendszer olyan szükséges elemének az ellenállását, mint pl. egy fűtőelem (kalorifer). A P_s statikus nyomás szintén ugyanekkora mértékben csökken, mivel a levegő sebessége a g pontban ugyanolyan –alacsony (mivel itt a legnagyobb a csatorna keresztmetszete)- értékű a fűtőelem előtt és után.
- j. A levegő felgyorsul (lecsökkent a légcsonna keresztmetszete), ami P_t össznyomás kismértékű, P_s statikus nyomás nagymértékű csökkenésével párosul, mivel P_v dinamikus nyomás megnő.
- k. P_t össznyomás és P_s statikus nyomás a nyomásvesztés-gradiens értékével csökken a hálózatban, ahol v_k nagyobb, mint v_c .
- l. A hálózat keresztmetszetének fokozatos növekedése kismértékű nyomásesést okoz P_t össznyomás értékében és a statikus nyomásvisszanyerés (lecsökkent légsebesség) velejárójaként P_s statikus nyomás növekedését eredményezi. Ez a diffúzor alkalmazásának egy példája, amit kifejezetten azért építenek a rendszerbe, hogy növeljék annak hatékonyságát.
- m. Minden rendszer szabad térbe történő kiáramló részénél a légáram teljes kinetikus energiája elveszik (a sebesség nullára csökken). Így –ellentétben a belépő oldallal, ahol P_s statikus nyomás lecsökkent és P_t össznyomás nulla értékű maradt- a kilépésnél a P_t össznyomás nullára csökken, miközben P_s a rendszerből történő kilépés előtt az m pontban nullára csökken, és az is marad.
- n. A szaggatott vonal a valós energiavesztést mutatja a kilépő légsugár mentén, a P_t össznyomás m pontban történő erős csökkenése után.

A fenti leírásból látható, hogy az ideális légcsonna hálózat az, amelyben nincsen energiavesztés miután a levegő energiáját a ventilátorral megnöveltük, kivéve, ha az energia hasznos munkavégzésre fordítódik.

Mindez azonban lehetetlen a fellépő sűrűlási- és alaki ellenállások (keresztmetszetváltozás, iránytörés stb.) miatt. A gyakorlatban a legkedvezőbb légcsatornahálózat az, amelynél alkalmazzuk az előzőekben tárgyalt alapelveket, hogy a legkisebb értékűre csökkentsük a veszteségeket és a ventilátor energiáját a legnagyobb mértékben hasznos munkavégzésre fordítsuk.

Az optimális hálózat tervezési követelményei:

1. A tervezés során a legkedvezőbb méretű csőhálózatot kell kiválasztani.
2. A kerülni kell a hirtelen keresztmetszet-változásokat, ha szükséges, akkor azok fokozatos átmenettel készüljenek.
3. Minden iránytörés és más elemek kialakítása olyan legyen, hogy minimálisra csökkentsük a sűrűlási, a turbulenciát és a statikus nyomás megváltozását.
4. A rendszer bármely pontjában lévő össznyomást arra alkalmazzuk, hogy mind a statikus, mind a dinamikus nyomást optimális értéken tartsuk.

IRODALOMJEGYZÉK

- BB Daly: Woods Practical Guide to Fan Engineering
- Osbourne: Fans
Pergamon Press Oxford
- Homebuilt Hovercraft
Flight International Supplement 1964