

"Pneumatic" elemkönyvtár

A "Pneumatic" könyvtárban levő almodellek a termodinamika első és második főtételét veszik alapul.

Az alábbi feltételezések mellett:

- a gáz sebessége nem szuperszonikus,
- az áramlás egydimenziós,
- a gáz vagy tökéletes ("perfect"), vagy ideális ("semi-perfect") vagy reális ("real"),
- a gravitáció hatása nincs figyelembe véve,
- az intenzív változók (pl. nyomás, hőmérséklet) az egész térfogatra vonatkozó átlagértékekkel vannak figyelembe véve (koncentrált paraméter),
- a kamrákban a kinetikus energia nincs figyelembe véve,
- az átömlőnyílásokban reverzibilis termodinamikai folyamatokat tételez fel.

Tökéletes ("perfect") gáz $\frac{p}{\rho} = R \cdot T$

ahol p az abszolút nyomás [Pa], ρ a sűrűség [kg/m^3], R a gázállandó [$J/kg/K$] és T a hőmérséklet [K].

A fajlagos hőkapacitások állandók.

Érvényes kis nyomáson, kis hőmérséklet-ingadozás mellett, távol a telítettségi hőmérséklettől ("saturation temperature").

Példa: száraz levegő atmoszferikus viszonyok mellett.

Ideális ("semi-perfect" vagy "ideal") gáz

Hasonló összefüggés, de a fajlagos hőkapacitások hőmérsékletfüggők.

Érvényes közepes nyomáson, akár jelentős hőmérséklet-ingadozás mellett, távol a telítettségi hőmérséklettől. Példa: levegőáramlás gázturbinában.

Tökéletes és/vagy ideális gázok keveréke

A gáztulajdonságok a keverékarány alapján kerülnek kiszámításra.

Reális gáz $\frac{p}{\rho} = Z \cdot R \cdot T$

ahol Z az összenyomhatósági faktor [*null*].

Négy állapotmodell áll rendelkezésre: van der Waals, Redlich-Kwong, Redlich-Kwong-Soave és Peng-Robinson.

A dinamikai ("absolute") viszkozitás, az állandó nyomáson vett fajhő, és a hővezetési tényező a hőmérséklet függvényében, egy másodrendű polinommal számítható.

Reális gázok nem használhatók gázkeverékekben.

Reális gázok alkalmazása esetén a kamrákban ill. a csövekben nem javasolt a politróp ("polytrophic") modell alkalmazása, ugyanis abban az esetben a reális gáz bizonyos jellemzői nem lesznek figyelembe véve.

A pneumatikus elemkönyvtár használata

Két fő komponenstípus van ebben az elemkönyvtárban:

- Kapacitív komponensek: olyan térfogatok (akár csövek is), amelyekben a hőmérséklet és a nyomás a bemenetként kapott tömeg- és entalpiaáramokból számíthatók.
- Rezisztív komponensek: amelyekben a tömeg- és entalpiaáramok a bemenetként kapott nyomás és hőmérséklet értékekből számíthatók.

Következésképpen egy pneumatikus modell mindig úgy épül fel, hogy egy rezisztív elem ("R") mindig egy kapacitív elemhez ("C") kapcsolódik.

Bizonyos esetekben a számítások szokatlanul lelassulnak a nagyszámú diszkontinuitások miatt. Ezt akár az ún. "integrációs zaj" is okozhatja, ahol egyes állapotváltozók kisméretű ingadozásai túlzott mértékben felerősödnek.

A tolerancia csökkentése csökkenti ezt a zajt, akár annyira, hogy a lassulás nem lesz számottevő. Célszerű először a 10^{-7} értéket kipróbálni. Ha nem segít, akkor lehet tovább kísérletezni, de lehetőség szerint a 10^{-3} - 10^{-12} tartományon belül.

Kamrák

Politróp modell: $\frac{p}{\rho^\kappa} = \text{const.}$ vagy $p^{1-\kappa} \cdot T^\kappa = \text{const.}$
(pl. PNCH021)

Hőcserés ("with heat exchange") (javasolt): $\frac{dU}{dt} = \sum \dot{m}_i \cdot h_i + \frac{dQ}{dt} + \frac{dW}{dt}$
(pl. PNCH022)

A belső energia (U) változása egy nyitott rendszerben, a termodinamika első főtétele alapján.

$\dot{m}_i h_i$ az entalpiaáram a portokon (a beáramlás pozitív), $\frac{dQ}{dt}$ a térfogatba/ból be/kilépő hőáram, és $\frac{dW}{dt}$ a nyomásból származó erők munkája.

Ez a munka a mechanikai térfogatváltozásból származik, ha egy dugattyú csatlakozik a térfogathoz:

$$\frac{dW}{dt} = -p \cdot \frac{dV}{dt}$$

ahol $\frac{dV}{dt}$ a térfogat változása.

Statikus és dinamikus nyomás

Tökéletes vagy ideális gázt feltételezve a statikus nyomás az alábbi összefüggéssel számítható:


$$p_{stat} = p_{tot} \left(1 + \frac{v^2}{2 \cdot c_p \cdot T} \right)^{-\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

ahol v az átlagos áramlási sebesség, c_p az állandó nyomáson vett fajhő, T a hőmérséklet, és κ a fajhőviszony ("specific heat ratio") (adiabatikus kitevő).

PÉLDA

Pneumatikus átömlőnyílások modellezése

Csövekben és átömlőnyílásokban, ahol a nyomásviszony ($p_{\text{down}}/p_{\text{up}}$) kisebb mint 0.9999, az áramlás laminárisnak van feltételezve.

PNAC001 – átömlőnyílások számításának beállítása !

Ez az almodell lehetővé teszi, hogy ez a határ 0.999, 0.99, vagy egy megadott értéket vegyen fel. Csökkentheti a számítási időt, de az eredmény pontatlanabb lesz.

Az átömlőnyílások adiabatikus komponensek. Az általuk disszipált energia teljes egészében átadódik a közegnek. A környezet felé nincs hőcsere.

Kauzalitás: az 1. porton számított tömegáram pozitív, ha a közeg a 2. port felől az 1. port felé áramlik.

PÉLDA

Az áramlás kinetikus energiája el van hanyagolva. A tömegáram a nyomások és a belépőoldali ("upstream") hőmérséklet függvénye:

$$\dot{m} = A \cdot c_q \cdot c_m \cdot \frac{p_{up}}{\sqrt{T_{up}}}$$

ahol p_{up} és T_{up} a belépőoldali nyomás és hőmérséklet,
 c_m az áramlási paraméter ("flow parameter").

Az átömlési tényező ("flow coefficient") (c_q) azért lett bevezetve, hogy az elméleti összefüggést a kísérleti eredményekhez lehessen igazítani. Ez a tényező veszi figyelembe pl. a lokális súrlódást, a kinetikus energia disszipációját, vagy épp a geometria okozta áramlási iránytörésből adódó veszteséget (kontrakció).

Tökéletes vagy ideális gáz esetén az áramlási paraméter az alábbi módon számítható:

$$c_m = \sqrt{\frac{2\kappa}{R(\kappa - 1)}} \sqrt{\left(\frac{p_{dn}}{p_{up}}\right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_{dn}}{p_{up}}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}}} \quad \text{ha } \frac{p_{dn}}{p_{up}} > p_{cr} \text{ (szubszonikus)}$$

$$c_m = \sqrt{\frac{2\kappa}{R(\kappa - 1)}} \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} \quad \text{ha } \frac{p_{dn}}{p_{up}} < p_{cr} \text{ (szonikus)}$$

Ha az áramlás szonikus (hangsebességű), akkor az áramlási paraméter konstans, és csak a gázjellemzők függvénye.

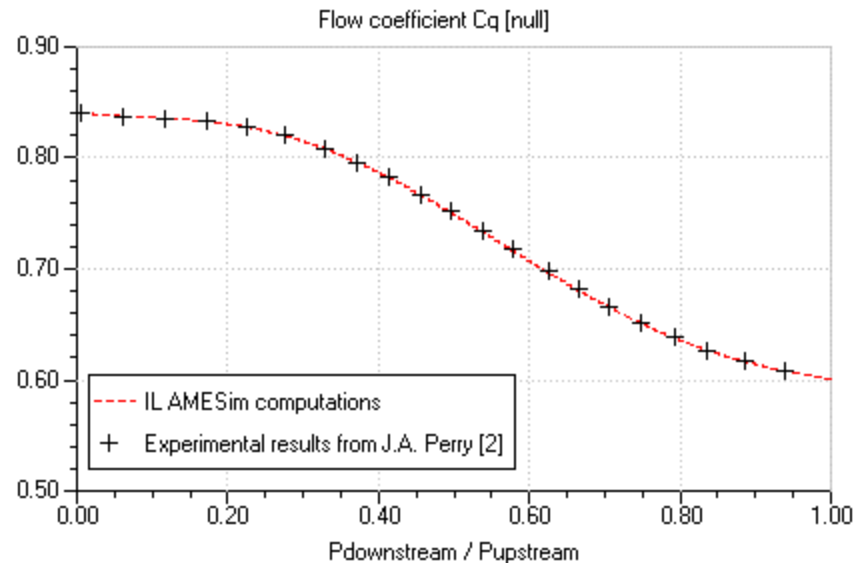
Szubszonikus áramlásban az áramlási paraméter a nyomásviszony függvénye is.

A kritikus nyomásviszony, ahol az áramlás szonikusra vált:

$$p_{cr} = \left(\frac{2}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$$

Átömlési tényező számítása:

- Konstans
- Perry (p_{dn}/p_{up} függvénye)



- ISO 6358 szabvány: két paraméterrel jellemzi az átömlőnyílást:
 - Kritikus nyomásviszony (b) ami definiálja a szubszonikus és szonikus áramlás közti határt
 - Szonikus vezetőképesség (C) ami az átömlőnyílás áramlási karakterisztikáját jellemzi.

PÉLDA

Áramlás számítása veszteségi tényezővel (zeta)

TP2P00 "thermal-pneumatic restriction"

Ez az almodell csak akkor használható, ha az áramlás Mach-száma 0.3 alatti.
(összenyomhatatlan közeg feltételezése).

$$c_q = \frac{1}{\sqrt{\zeta}}$$

PÉLDA