

Gerdien kondenzátor mechanikai tervezése rakétakísérlet céljából – Mechanical design of a gerdien condenser for rocket experiment

LŐRINCZI Ottó Botond ¹⁾, GUBICZA Ágnes ²⁾, VÁRADI Zsolt ³⁾

¹⁾ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék
1111 Budapest, Bertalan L. utca 4-6. e-mail: lorinczi@mogi.bme.hu, tel: +36-1-463-2145, www.mogi.bme.hu

²⁾ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fizika Tanszék 1111 Budapest, Budafoki út 8.
e-mail: gubicza_agi@yahoo.co.uk, dept.phy.bme.hu

³⁾ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
1111 Budapest, Goldmann Gy. tér 3. e-mail: varadi@mht.bme.hu, tel: +36-1-463-4319, www.mht.bme.hu

Abstract

Creating the optimal construction is a highly complex task in case of the development of equipment intended for space research purposes compared to daily-use devices. In the following, the aspects of development will be presented regarding a gerdien-condenser – mounted on the exterior surface of a rocket; the equipment will be used to measure atmospheric ion density. The paper describes flow and thermal calculations, finite-element analysis, determination of dimensions and the CAD model of the device.

Összefoglaló

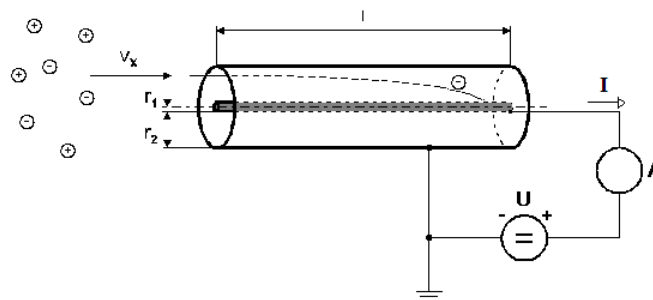
Az űrkutatási célból készülő berendezések tervezésekor sokkalta szerteágzóbb feladat a megfelelő konstrukció megalkotása, mint a napi használatra szánt eszközök esetén. A következőkben egy – a rakéta oldalán kívül elhelyezett – légköri ionsűrűség mérésére szolgáló gerdien-kondenzátor tervezési szempontjait mutatjuk be, áramlás- és hőtani számításoktól kezdve végelemes elemzésen és különböző méretezési megfontolásokon keresztül a CAD modell elkészítéséig.

Kulcsszavak

Gerdien-kondenzátor, CAD, végelem-módszer, áramlástan, hőtan

1. BEVEZETÉS

A Gerdien-kondenzátor a légköri ionsűrűség mérésére alkalmas eszköz, felépítése az 1. ábrán látható. Működése azon alapul, hogy a kondenzátor fegyverzetei közötti potenciálkülönbség hatására az áthaladó levegőben található ionok – mozgékonyságuk függvényében – bizonyos mértékben eltérnek pályájukról, a kondenzátor fegyverzeteibe csapódnak, így áram mérhető.



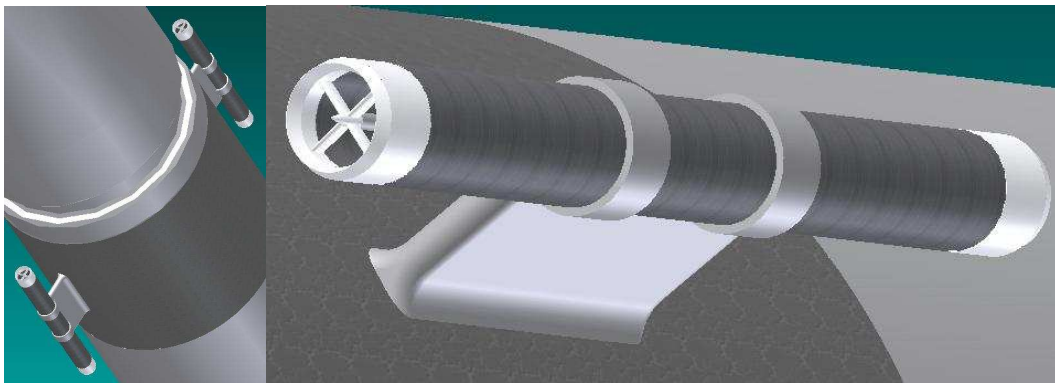
1. ábra

A Gerdien-kondenzátor működési elve [1]

2. A KONDENZÁTOR CAD MODELLJE

A 2. ábrán látható modell megalkotásakor egymásnak ellentmondó feltételek teljesítése érdekében a tervező sok esetben kompromisszumos megoldásra kényszerül. Az egyszerű gyárthatóság és az aerodinamikailag optimális geometria nem érhető el egyszerre, jelen esetben egyértelmű, hogy az utóbbi szempont jut érvényre, mivel a kísérlet paramétereit a nem megfelelő áramlási viszonyok több szempontból is erőteljesen befolyásolják; ez a következőkben részletesen ismertetésre kerül.

Egyértelmű, hogy a rakétakísérlet során nagy mértékű mechanikai terhelés éri a kondenzátor elemeit, így a különböző kötések helyes megválasztása rendkívül fontos. A rezgések hatását kiküszöbölendő, az anyaggal, erővel és alakkal záró kötések megfelelő kombinációit alkalmazzuk, a csavarkötések kilazulása rugós alátéttel, önzáró csavaranyák és menetrögzítő együttes alkalmazásával előzhető meg.



2. ábra

A kondenzátor felépítése és elhelyezkedése a rakétán

3. SZÁMÍTÁSOK, SZIMULÁCIÓK

3.1 Termikus számítások, anyagválasztás

A légkörben haladó tárgy sűrűlési hőmérsékletének megbecsülésére a következő tapasztalati képlet használható [2]:

$$T_{\text{sűr}} = T_{\text{null}} \cdot (1 + 0,174 \cdot M^2) \quad (1)$$

Ahol

- $T_{\text{sűr}}$ a keresett, sűrűlésből származó hőmérséklet
- T_{null} a környező levegő hőmérséklete, ez 11 km magasság felett -56 °C (a sztratoszférában a légkör még viszonylag sűrű, a hőmérséklet pedig állandó)
- M a Mach szám, esetünkben megközelítőleg 3

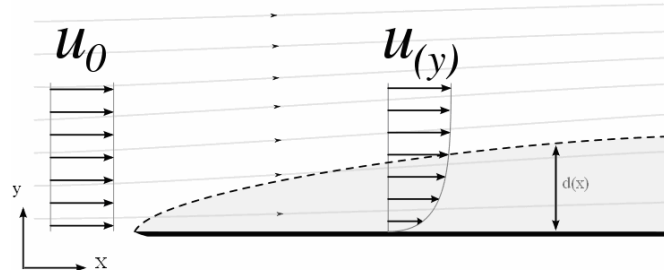
A fenti képletbe behelyettesítve a $T_{\text{null}} = -56\text{ °C} = 217\text{ K}$ és $M = 3$ értékeket, a következő eredmény adódik:

$$T_{\text{sűr}} = 217 \cdot (1 + 0,174 \cdot 3^2) = 556\text{ K} = 283\text{ °C} \quad (2)$$

Ez felső becslés, a különböző hűtadási folyamatokat nem veszi figyelembe, így ennél mindenképpen alacsonyabb hőmérsékletre lehet számítani. A hővezetés optimalizálása érdekében a kondenzátor távtartóinak és külső burkolatának anyaga megegyezik a rakétates anyagával (alumíniumból készül). A 200 °C feletti hőmérséklet kritikusabb a forraszanyagok megválasztása esetében; az űrtechnológiában továbbra is engedélyezett az ólom forraszanyagként történő alkalmazása ($T_{\text{olv}} = 327,4\text{ °C}$), használható kadmium ($T_{\text{olv}} = 320,9\text{ °C}$), cink ($T_{\text{olv}} = 419,4\text{ °C}$), esetleg a még magasabb olvadásponttal rendelkező keményforraszok valamelyike.

3.2 Áramlástanai számítások

Áramlástanai szempontból három feltétel alapján tervezendő a kondenzátor. Az egyik, hogy a mérőegység a rakéta oldalfala mellett levő határrétegen (3. ábra) kívül essen, a másik, hogy a belső elektroda távtartói ne keltsenek turbulenciát a kondenzátor belsejében, a harmadik pedig a teljes kondenzátor légellenállásának minimalizálása annak érdekében, hogy a rakéta a lehető legmagasabbra juthasson.



3. ábra

A határréteg elhelyezkedése sík fal mentén

A rakéta oldalfala mellett elhelyezkedő határréteg vastagsága a következőképpen számítható ki, ha a határrétegen belül turbulens az áramlás (3 Mach sebességnél a határrétegen belül szinte biztosan turbulens áramlás lép fel, de a határrétegen kívül az áramlás jellege természetesen eltérő lehet)[2]:

$$d(x) = \frac{0,382 \cdot x}{\sqrt[5]{Re_x}} \quad \text{és} \quad Re = \frac{u \cdot X}{\nu} \quad (3),(4)$$

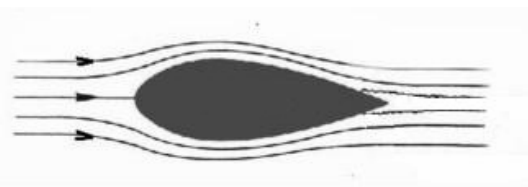
ahol:

- x : a belépő éltől (a rakéta csúcsától) vett x irányú távolság [m]
- X : jellemző hossz méret [m]
- d : a határréteg vastagsága [m]
- Re_x : Reynolds-szám [-]
- u_0 : háborítatlan áramlás sebessége [m/s] (≈ 1250 m/s)
- ν : az áramló közeg kinematikai viszkozitása [m^2/s]

A (4) összefüggésben használt jellemző méret pl. repülőgép szárnyak esetén a profil hossza, így célszerű a kondenzátor teljes hosszát alapul venni. Ebből $X \approx 0,3$ m adódik. Így $Re = 2,8355 \cdot 10^7$ (ha a Reynolds szám értéke $Re \leq 2320$ lenne, akkor feltételezhetnénk a határréteg belsejében is lamináris áramlást).

A levegő adott magasságban jellemző tulajdonságai és az eddig számított adatok alapján a határréteg vastagsága $x = 1,4 - 1,7$ m esetén $d_{\min} = 0,018$ m $d_{\max} = 0,021$ m. Egy $n=2$ biztonsági tényezőt figyelembe véve a végeredmény: $d_{\max} \cdot n = 0,020989 \cdot 2 = 0,041978$ m [2].

A kondenzátor belsejében levő áramlás optimalizálása és a teljes légellenállás minimalizálása szempontjából ugyanaz jelenti a megoldást; a távtartók keresztmetszetének megfelelő megválasztása. Az ideális keresztmetszet a repülőgépek szárnyprofiljára emlékeztető, azonban szimmetrikus kialakítás (4. ábra). Ezt alkalmazva érhető el lamináris áramlás a kondenzátoron belül, illetve kis légellenállás a kondenzátor egészét tekintve.

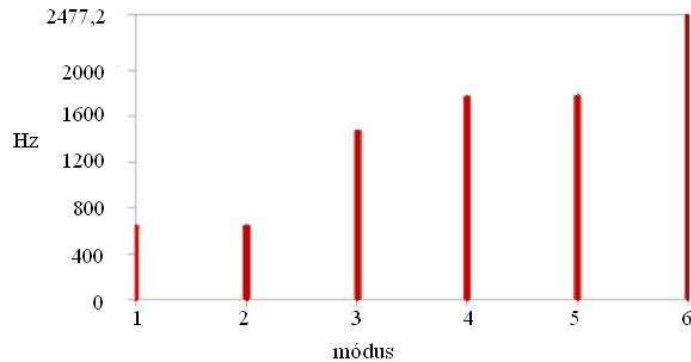


4. ábra

A távtartók keresztmetszete

3.3 Modálanalízis végeelem-módszer segítségével

A modálanalízis a vibrációs tesztek részét képezi, fő célja a rakétatesttel történő rezonancia elkerülése a repülés teljes időtartama alatt. Ennek biztosítása érdekében a kondenzátor sajátfrekvenciája lehetőség szerint minél nagyobb értékre hangolandó. A szimulációk eredménye alapján (5. ábra) a sajátfrekvenciák 600 Hz és 2500 Hz közé esnek [2], amely elegendően magas ahhoz, hogy ne jelentsen nehézséget a kísérlet során.



5. ábra
A kondenzátor sajátfrekvenciái

4. KONKLÚZIÓ

Végkövetkeztetésként elmondható, hogy a kondenzátor tervezése a szükséges kiigazítások, és a hátralevő optimalizálási feladatok után a közeljövőben befejeződhet, a gyártás után a mérőegység segítségével a kísérlet az elvárásoknak megfelelően végrehajtható lesz.

Köszönetnyilvánítás

Segítségükért köszönet illeti az European Space Agency, a Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, a Swedish Space Corporation – Esrange Space Center, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszékének REXUS programban résztvevő dolgozóit.

"Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0009 program támogatja."

Irodalmi hivatkozások

- [1] Zdeněk Roubal: New Construction of Gerdien Tube with Active Shielding and Ion-Trap, 15 th conference student Electrical Engineering, Information and Communication Technologies 2009 – volume 3. pp. 161-165.
- [2] Zsolt Váradi, Ágnes Gubicza, Bálint Kollek, Ottó Botond Lőrinczi, Dávid Szabó: EuroLaunch Rocket Experiment for University Students – RX 13/14 Student Experiment Documentation ver. 1.1, 2012