

H11

DRÓNLÉGCSAVAR TOLÓERŐMÉRÉSE

1. A mérés célja

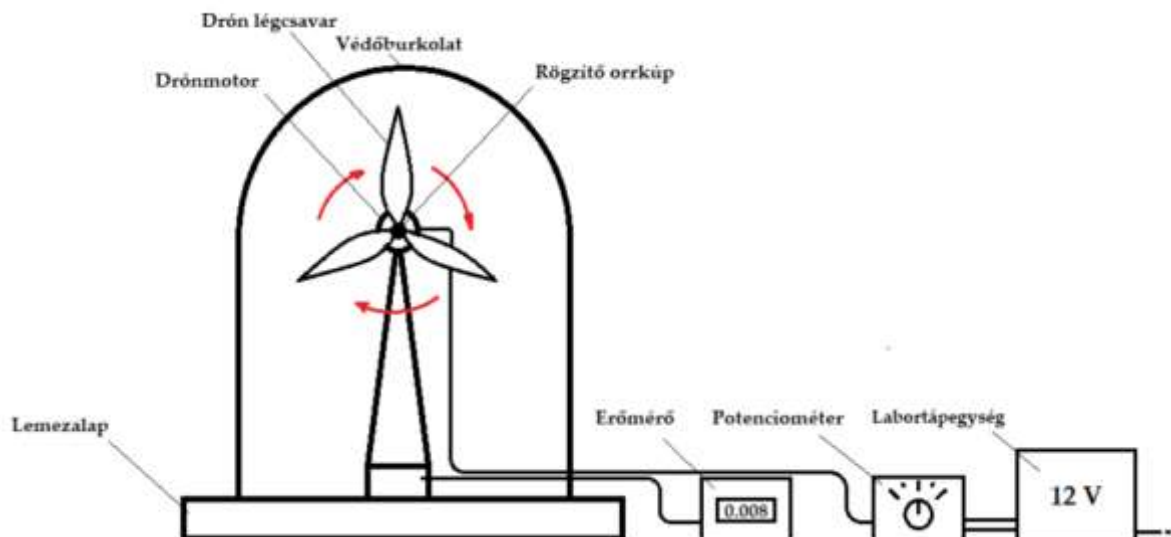
A mérési feladat egy drónmotor által meghajtott légcsvavar keltette tolóerő mérése. A motor fordulatszáma szabályozható, többféle légcsvarral szerelhető fel. A légcsvavar áramlási terének sebességeloszlását méréssel határozzuk meg, amelyből integrálással számolható a tolóerő, a szállított térfogatáram és a hasznos teljesítmény.

2. A mérési berendezés leírása

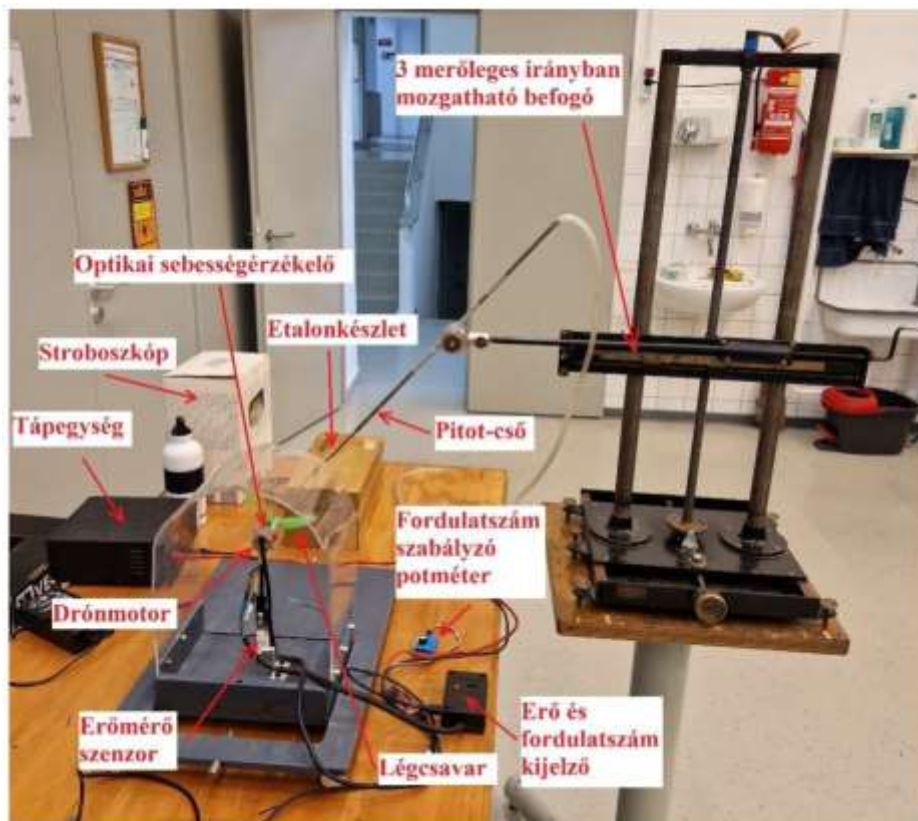
A mérőberendezés egy masszív acél lemezen alapszik és könnyen mozgatható. A lapra van felcsavarozva a légcsvavar tolóerejét elsődlegesen mérő erőcella. Az erőmérő cella másik oldalához egy konzol csatlakozik, amely a motort tartja pozícióban. A motor tengelyén levő menetes orrkúp rögzíti a légcsvavar. A motor elektromos hajtását egy 12V-os labortápegység és egy drón fordulatszám szabályozó egység biztosítja.

A fordulatszám mérésére egy optikai érzékelőt építettünk a motorra. A fordulatszámmerést és az erőmérés kiértékelését és megjelenítését egy arduino és az ahhoz kapcsolt kijelző végzi.

A légcsvavar kilépő oldalán történik a sebességmérés. A pozicionálás egy 3D manuális pozicionáló segítségével történik. A sebességmérést Pitot csővel történik, a nyomáskülönbség mérésére EMB-001 digitális nyomásmérőt használunk.



1. ábra Mérési elrendezés elvi kapcsolása és a berendezés elemei



2. ábra Mérési elrendezés

A tengelyre különböző légszárak szerelhetők fel (3.-4. ábra):

- 7" átmérőjű, kétlapátos légszár
- 6" átmérőjű, kétlapátos légszár
- 5" átmérőjű, kétlapátos légszár
- 4" átmérőjű, 3 lapátos légszár
- 4" átmérőjű, 4 lapátos légszár



3. ábra Egyszerű légcavarok



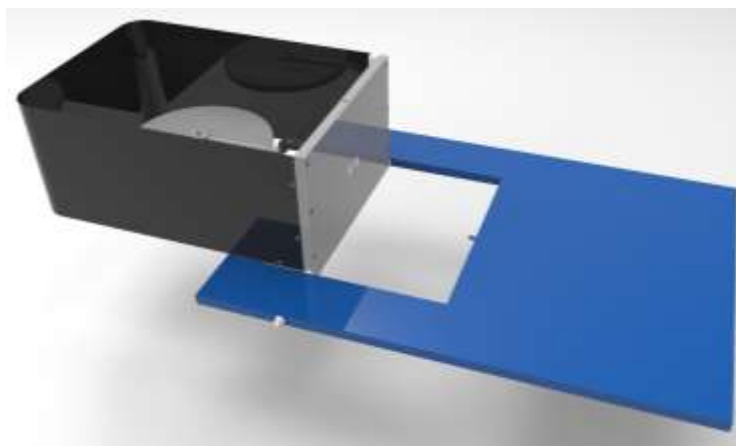
4. ábra Verseny légcavarok

3. A mérés menete

Erőmérő cella kalibrálása

A mérések megkezdéséhez szükséges az erőmérőt nullázni és kalibrálni.

A kalibráláshoz az erőmérő középső, forgatható részét úgy kell átfordítani, hogy a motort tartó konzol vízszintes helyzetbe kerüljön (ld. 5. ábra.). Érdemes a kalibráláshoz a motor elektromos csatlakozóit leválasztani, de legalább figyelni arra, hogy a motor elektromos kábele ne feszítsék elő az erőmérő cellát.



5. ábra Az erőmérő kalibrálási helyzetben

Ezt követően nullázni kell az erőmérőt. A nullázás az erőmérő cella feldolgozó és megjelenítő egységének piros gombjával történik. Egyszeri megnyomás után 4 másodperccel nullázza magát az erőmérő berendezés. Ez a műveletet javasol a mérések során is többször megismételni olyan állapotban, amikor a motor áll.

Ezt követően mérősúlyokat kell a motort rögzítő elemre akasztani és felírni az erőmérő által mért értéket. A méréseket az erőmérő cella mérési határáig, azaz 9,81 N-ig kell végezni, legalább 5-10 lépésben. Amikor elérték a méréshatárt, visszafelé érdemes egy két pontban ellenőrző mérést végezni, csökkentve a konzolra helyezett súly mértékét. Fontos, hogy nem szabad az erőmérő cellát túl nagy súlyokkal vagy nyomással túlterhelni! A mérési eredményekből az otthoni kiértékelés során meg kell határozni az erőmérő cella kalibrációs egyenletét és a tolóerő mérések során annak segítségével kell korrigálni az erőmérés rögzített értékeit.

Motor csatlakoztatása, indítás

A kalibrálást követően az elektromos vezetékeket ismét csatlakoztatni kell. A 3 kábel sorrendjének nincsen jelentősége, amennyiben a motor nem a megfelelő irányban forog, kettőt fel kell cserélni.

Oda kell arra figyelni, hogy az elektromos vezetékek ne terheljék az erőmérő cellát!

A vezérlő egység banándugóit a labortáphoz kell csatlakoztatni, a labortápot kezdetben 6,5V-ra kell állítani. A labortáp kijelzőjén megjelenő szám lehet az áramerősség és a kapcsolófeszültség, a kijelzendő mennyiséget a kijelző melletti gombbal lehet állítani.

A motor indítását a vezérlő egység pótméterével érhetjük el. Függetlenül a korábbi állástól a pótmétert le kell tekerni minimális állására és onnan feltekerve lehet a motort először elindítani, aztán a fordulatszámát növelni.

Tolóerő mérése a fordulatszám függvényében

A mérés következő lépése, hogy különböző fordulatszám értékeket beállítva megmérjük a tolóerő mértékét. A fordulatszám változtatása 2 féleképpen is lehetséges. Lehetőség van a labor tápegységen változtatni a kapcsolófeszültséget. A minimális feszültség 6V, ha ez alatt van a kapcsolófeszültség, akkor motor nem indul el. A maximális érték a 12V.

A másik lehetőség a kefe nélküli motor PWM (phase width modulation) szabályozásának a kitöltésének a változtatása. Erre a vezérlő egység pótméterének a forgatásával van lehetőség.

A fordulatszám mérésére kétféle eszköz biztosít lehetőséget. A berendezéshez tartozik egy beépített fordulatszám-mérő eszköz, amelynek segítségével meg lehet mérni a motor oldalán a forgási sebességet. A mért fordulatszám értéket az erőmérő kijelzőjén láthatjuk. A beépített szenzor optikai elven működik és a motor oldalán levő fekete csík elhaladásait számolja. A szenzor egyenlőre teszt üzemben működik, az működése egy másik fordulatszám-mérő eljárással ellenőrzendő.

A másik lehetséges módszer a stroboszkóp használata. A stroboszkóp használata során egy lámpát villogtat ismert frekvenciával az eszköz. Ezzel kell a légcsavart megvilágítani. Fontos, hogy az egyik légcsavart meg kell jelölni, hogy az felismerhető legyen a vizsgálat során! Ha a lámpa villogási frekvenciája megegyezik a légcsvavar fordulatszámával, akkor a lámpa akkor villan fel amikor a légcsvavar egy bizonyos helyzetben van és a légcsvavar látszólag megáll. A stroboszkóp kijelzőjén leolvasható a fordulatszám. Fontos, hogy a stroboszkópos méréseknél ellenőrizni kell a dupla és a fele frekvenciákat is, mert azokon szintén állni látszik a légcsvavar.

A mérések során 12 különböző fordulatszám értéket kell beállítani és leolvasni a fordulatszám és a tolóerő értékeit.

Létrehozott légsugár sebességterének mérése

A létrehozott légsugár sebességterének a mérését vagy két távolságban vagy két fordulatszámon vagy két légcsavar esetén kell elvégezni! **A mérés során a lépésköz ne legyen nagyobb, mint 4mm! A sebességértékeket a 0 Pa dinamikus nyomású ponttól a 0Pa dinamikus nyomású pontig kell felvenni a szimmetriatengelyen!**

Ehhez egy 3 irányban, kézzel állítható mozzgatót használunk, amelyre egy sebességmérő eszközt szerelünk fel (Pitot-cső). A sebességeloszlás mérését szimmetriatengelyek mentén érdemes elvégezni. A függőleges szimmetriatengely alsó részén, a tartó pilon nyomában nem érdemes mérni.

Tehát egy sebességeloszlásmérés szükséges a vízszintes szimmetriatengelyben a teljes szélességben és egy sebességeloszlás mérése a függőleges szimmetriatengelyben a motor közepétől fel a kiáramlás felső széléig.

Mérési elrendezés rögzítése

A mérést megelőzően vagy követően rögzíteni kell a következő adatoka:

- környezeti adatok (légnomás, hőmérséklet)
- légcsavar adatai (átmérő, emelkedés, lapátszám stb.)
- sebességmérés távolsága

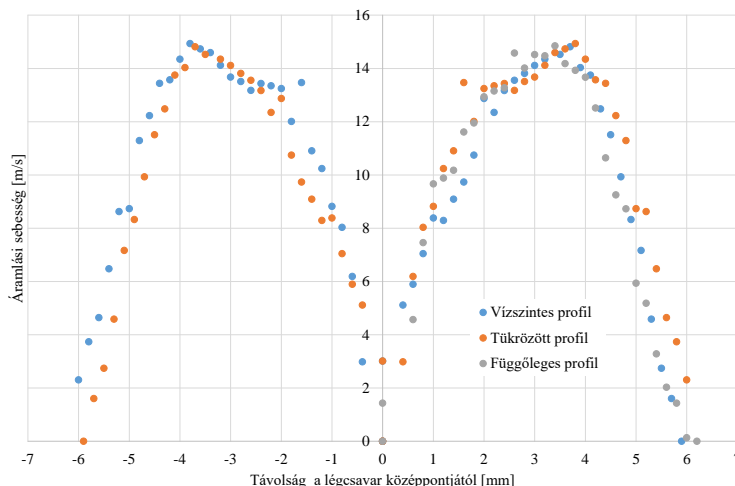
4. Feldolgozás

Szimmetriatengely meghatározása

A sebességértékek kiértékelése során feltételezzük a sebességter körszimmetrikus voltát, ezért rendkívül fontos, hogy pontosan határozzuk meg a szimmetriatengely helyét!

Ennek menete a következő:

A sebességeloszlást tükrözni kell a feltételezett szimmetria tengelyre és egy diagramban ábrázolni kell egymáson a sebességeloszlást és a tükrözött eloszlást. A szimmetriatengely helyét addig kell mozzgatni, amíg az eredeti és a tükrözött sebességeloszlás a legjobban fedik egymást (ld. 6. ábra). Az így meghatározott szimmetriatengely pozíció jellemzően eltér a mérés során szemre feltételezett szimmetriatengelytől. A szimmetriatengely felvételén 1mm-es tévedése jelentős hibát okoz az integrálásnál!

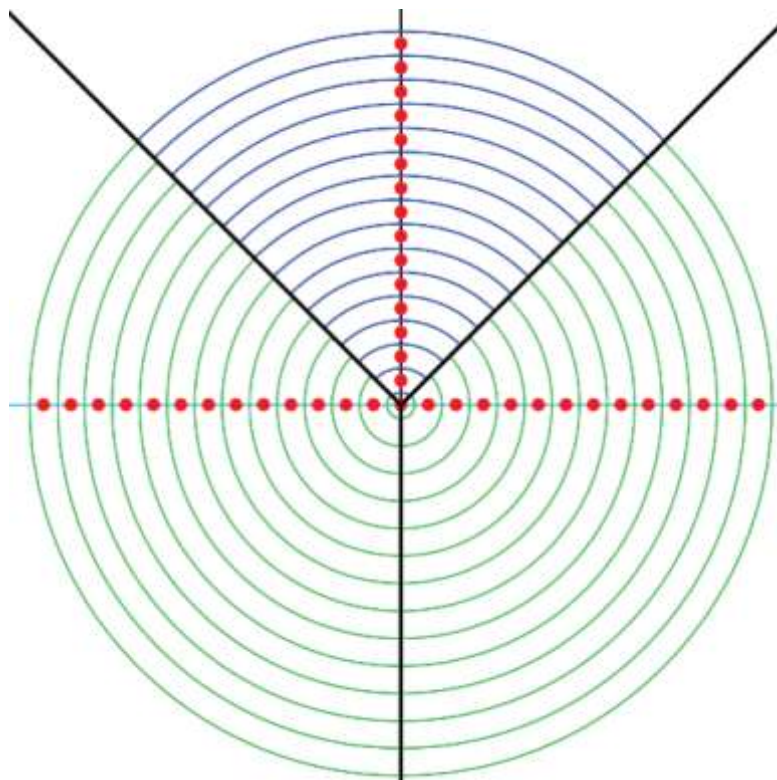


6. ábra Sebességprofil pozícionálása

Légsugár térfogatáramának, tömegáramának és impulzusáramának az integrálása

A megfelelő pozícionálás után meg kell határozni a létrehozott légsugár térfogatáramát, tömegáramát és impulzusáramát. A meghatározott impulzusáram a légcsovar tolóerejével kell, hogy megegyezzen. A térfogatáram a hatásfokszámításhoz szükséges.

Feltételezhetjük, hogy a sebességeloszlás a megfelelő pozícionálás után körszimmetrikus. A mért sebességprofilokban meg kell határozni az egy rádiushoz tartozó területeket. A vízszintes szimmetriatengelyen levő pontokhoz $3/8$, a függőleges tengely mért pontokhoz $1/4$ körívtüzetek tartoznak (ld. 7. ábra). A sebességgel megszorozva az adott rádiushoz tartozó körgyűrű rész területeket körgyűrűn áramló levegő térfogatáramát kapjuk. Ha a sebességnégyzetet szorozzuk a területtel és a sűrűséggel, a gyűrű felületnek az impulzusárama az eredmény. A körgyűrű felületeknek a térfogatáramait és impulzusáramait összegezni kell a teljes felületre.



7. ábra Mérőpontok térfogatáram integrálása során

$$dq_{v,i} = v_i \cdot dA_i = v_i \cdot \left(\frac{3}{8} \text{ vagy } \frac{1}{4} \right) \cdot (2 \cdot r_i \cdot \pi \cdot dr) \quad (1)$$

$$d\dot{I}_i = v_i^2 \cdot \rho \cdot dA_i = v_i \cdot \rho \cdot dq_{v,i} \quad (2)$$

ahol r_i a mérőpont távolsága a középponttól, dr a lépésköz, v_i a sebesség a mérőpontban, dq_v a résztérfogatáram, dI a rész impulzusáram.

Hatásfokszámítás

A hatásfok számításához szükséges a bevezetett elektromos teljesítmény, ami a kapocsfeszültség és az áramerősség szorzata. Ezek az adatok a tápegységről leolvashatók.

$$P_{\text{befektetett}} = U \cdot I \quad (3)$$

A hasznos teljesítmény számításához ismerni kell a térfogatáramot, amit a sebességmérésből kell kiintegrálni. Továbbá szükséges a létrehozott nyomásváltozást meghatározni, ami az eláramlási oldalon az átlagos sebességből számolt dinamikus nyomás. A kettő szorzata a hasznos teljesítmény:

$$P_{\text{hasznos}} = q_v \cdot \Delta p_{\text{din}} \quad (4)$$

A mérés során nem szabad megfeledkezni

- A kiértékelés során meg kell határozni a számított adatokat terhelő, a mérési adatok pontatlanságából származó mérési hibát
- A mérőberendezés bekapcsolása előtt, illetve általában a mérőberendezés üzeme során mindig meg kell győződni a balesetmentes használat feltételeinek teljesüléséről. A bekapcsolásról, illetve a mérés közben végrehajtott változtatásokról a berendezés környezetében dolgozókat figyelmeztetni kell.
- Minden mérési alkalommal a légköri nyomás és teremhőmérséklet feljegyzéséről!
- A felhasznált mérőműszerekről leolvasott értékek mértékegységének és a rájuk vonatkozó egyéb tényezők (Például a ferdecsoves mikromanométer mérőszál ferdítési tényezője.) feljegyzéséről.
- A felhasznált mérőműszerek típusának, gyártási számának és a benne lévő mérőfolyadék sűrűségének feljegyzéséről!
- A mérőműszerről leolvasott mennyiségek és a további számításoknál felhasznált mennyiségek mértékegységének egyeztetéséről.
- A nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának és a méréshatár kiválasztásánál. Általában mindegyik manométer típusnál, de kiemelten a ferdecsoves manométernél, figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csonkjaira a gumicsövet óvatosan, "ráközelítve", a mérőfolyadék szál viselkedését figyelemmel kísérve kell felhelyezni
- A nyomásközlő gumi, vagy szilikon csöveket mérés előtt, esetleg közben is célszerű ellenőrizni, nehogy repedés, szakadás legyen rajtuk, mert lyukas mérőcső esetén az összes addigi mérési eredmény kárba vész. Az ellenőrzést szemrevételezéssel, vagy nyomástartási próbával végezhetjük el. Kritikus pontok a műszerekre ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei.
- **A jegyzőkönyv elején emeljék ki a saját mérési feladatukat, amelyet mértek.**
- A jegyzőkönyv olyan legyen, hogy aki nem ismerné a mérést, és még nem járt a laborunkban, a leadott jegyzőkönyv alapján megérti a mérést, megtalál mindent, ami kell neki hozzá (Egyenleteket meg a kellékeket is), és ezek alapján ismételni tudja a mérést.

- A mintajegyzőkönyv meg a minta prezentáció azért színes, hogy látni lehessen, hogy melyik részeket kell átírni saját adatokkal. Tessék ezek kitöltése után valami rendes borító kinézetet adni neki.
- A hibaszámítás értékeit minden ábrán jelenítsék meg hibasávokkal, még a hibaszámítás előtt lévőkön is. A hibasávokat tessék hibasávként megadni, és nem oszlopdiagramban!
- A hibaszámítás által egy bizonytalansági sávot kapunk az értékeinkre, és nem egy számértéket a mérés jóságára! Kérem így kezeljék ezeket az értékeket. Az összefoglalóban ne a hibasávokról beszéljenek, hanem a kapott eredményekről.
- A jegyzőkönyv tartalmi és terjedelmi követelményeit ellenőrizze leadás előtt! Amennyiben nincsenek betartva, nem elfogadható a jegyzőkönyv.
- A Betz manométerhez való kalibrálást közölni kell a jegyzőkönyvben és még a számítások előtt figyelembe kell venni, amennyiben a két műszer eredményének eltérése indokolja.
- A leadott jegyzőkönyv fájl típus követelményeit ellenőrizze leadás előtt.
- A leadandó jegyzőkönyv megszabott határideit tartsa figyelemmel.
- Egyenleteket egyenletszerkesztővel és nem képként való beillesztéssel készítsék el
- Diagramokon a pontokat emeljék ki. Nem mérnek minden egyes pontban egy görbe mentén.
- Nagy és kevésbé lényeges táblázatokat, a beolvasott lapokat és más kötelező csatolmányokat a jegyzőkönyv végén található mellékletbe közöljék.
- Magyarázza meg bőven az eredményeit, következtetéseit, és hogy mit tanult a mérésből. Ezek alapján lehet megállapítani, hogy valaki mennyire sajátította el egy mérést. Ezeket érdemes a hivatkozott irodalomban találtakkal alátámasztani.
- Egy diagramban kell ábrázolni azokat az eredményeket, amelyeket érdemes összehasonlítani!
- A jegyzőkönyv leadása előtt erősen ajánlott a konzultációk igénybevétele.

Irodalom

- [1] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004) 9.9.3 és 11.1.2 fejezet
- [2] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004) 423.oldal
- [3] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004) 488.oldal