



INTÉZMÉNYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2024. november 20.

ÁRAMLÓ LEVEGŐ VIZSGÁLATA

Examination of flowing air

Készítette: Ludányi László Zengő Tamás
Premontrei Gimnázium Premontrei Gimnázium

Témavezető: Dr. Víg Piroska
egyetemi docens
MATE, Matematika és Természettudományi Alapok
Intézet, Fizika Tanszék

Lehetséges OTDK szekció: Műszaki Tudományi Szekció

Gödöllő
2024

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	3
Áramló közegek törvényei	4
Bernoulli törvény alkalmazásai	10
Kísérletek	11
Mérések	17
Összegzés	30
Irodalomjegyzék	31

BEVEZETÉS

A dolgozatunkban áramlásokkal, ezek közül is a levegő áramlásával foglalkozunk. A célunk az volt, hogy a fizika tananyag folyadékok és gázok mechanikája fejezetéhez kapcsolódóan kicsit mélyebben beleássuk magunkat a levegő áramlásának fizikájába, jobban megértsük az alkalmazásokat és mérésekkel számszerű eredményeket is nyerjünk.

A levegőnek és a légmozgásnak számos hatása van a környezetünkre. A levegő áramlása a természet egyik alapfolyamata, mindennapjainkat is befolyásolhatja. A szél és a csapadék is a levegő mozgásának köszönhető. A levegőmozgás környezeti hatásai lehetnek előnyösek, de lehetnek kedvezőtlenek is. Ezen hatások közül a fontosabbak a következők:

Előnyös, pozitív hatások:

Hűtés és szellőzés: A légmozgás természetes módon hűti a környezetet és az épületek belsejét. A friss levegő áramlása szabályozza a hőmérsékletet anélkül, hogy mesterséges hűtésre lenne szükség. Ez különösen a forró, párás éghajlatú területeken előnyös hatás.

A szélenergia megújuló energiaforrás: A szélenergia hasznosítása a légmozgás egyik kitüntetett pozitív hatása. A szélturbinák képesek átalakítani a légmozgás mozgási energiáját villamosenergiává, így tiszta, fenntartható és költséghatékony ez az energiaforrás.

Ökoszisztéma megújulása, szaporodás: A szél létfontosságú a természeti környezetünk számára, mivel segít a fotoszintézishez szükséges széndioxidot a növényekhez juttatni, és növények által termelt oxigént az állatokhoz, emberekhez szállítani. Részt vesz továbbá a növények beporzásában, és a növények magjainak szétszórásában, amely folyamatok nagyon fontosak a növény- és állatvilág fennmaradásához.

Hűtő- és fűtőközeg: A levegőt a mindennapokban gyakran használjuk hűtő- és fűtőközegként. Hűtésre pl. a belső égésű motorok és gépek, hűtőszekrények, klímaberendezések használata során keletkező hőfelesleg elvezetésére. Fűtésre leggyakrabban belső terek felmelegítése során használható fűtőközegként.

Leszorítóerő pl. az autósportban: A légáramlás sebességének és keresztmetszetének szabályozásával, a Bernoulli törvényt kihasználva, növelhetjük a járművek leszorítóerejét, ami növeli a gumiabroncsok tapadási súrlódási erejét, ezáltal nagyobb kanyarodási sebesség érhető el.

Negatív hatások:

Szélerózió (defláció): A szél erodáló hatással van a talajra, ami a föld termőrétegének elvesztéséhez vezethet. Nem csak a talajanyag eróziója okoz gondot a termőterületeken, hanem a termőterületre kijutatott tápanyagok és növényvédő szerek szél általi eltávolítása is probléma. A defláció ellen védekezhünk talajt megkötő növényzettel, termőterületek körül szél ellen védő növényssávokkal.

Káros hatások építményekre: Az erős légmozgások, pl. a viharok, tornádók, jelentős károkat okozhatnak épületekben, infrastruktúrában, ami veszélyezteti az emberi életet és jelentős gazdasági veszteségeket okozhat. Védekezhünk a környezeti hatásoknak ellenállóbb épületek, infrastruktúrák tervezésével, építésével.

Mezőgazdasági kihívások: Bár a légmozgás elősegítheti a pollenszóródást, az erős szél károsíthatja a növényeket, virágokat és terményeket, ami csökkentheti a termés hozamot és gazdasági veszteséget okozhat. Védhetjük növényeinket a termőterületek körül épített szél ellen védő műtárgyakkal, ellenálló növényssávokkal.

Egészségügyi problémák: A légmozgás hordozhat szennyeződések, polleneket és egyéb allergéneket, ami légúti problémákat és allergiás reakciókat okozhat az emberekben és az állatokban, ami ellen az allergén növények gyérítésével, a levegő szűrésével védekezhünk.

Az emberiségnek folyamatosan alkalmazkodnia kell a természeti jelenségekhez. Ki kell használni a levegő és légmozgások pozitív hatásait és ugyanakkor minimalizálni a káros következményeket. A pozitív hatások felhasználása, a negatív hatások mérséklése érdekében fontos az előrelátó tervezés, ahol gazdaságos a szél, mint energiaforrás hasznosítása és a környezettudatos magatartás.

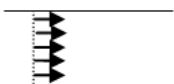
A dolgozatunkban az áramló levegővel foglalkozunk, először áttekintjük a főbb törvényeket, majd a Bernoulli törvényre fókuszálva a legfontosabb alkalmazási területeket. Ezt követően részletezzük a mérőszorozatunkat, és az ezekből levonható következtetéseket.

ÁRAMLÓ KÖZEGEK TÖRVÉNYEI

Az áramló közegek viselkedésének leírása bonyolult egyenletekkel történhet, melyek speciális esetekben egyszerűsödnek.

A levegő szigorúan véve viszkózus közeg, ami azt jelenti, hogy a mozgása során a részecskék közötti súrlódást (belső súrlódás) figyelembe kell venni. Ennek a belső súrlódásnak a mértéke megadására a viszkozitás nevű fizikai mennyiség szolgál. Ha a közeg viszkózus, az áramlása lehet réteges (lamináris) vagy örvényes (turbulens) (1. b, c, ábrarész) attól függően, hogy az áramlás paraméterei milyenek. Ha ez a belső súrlódás elhanyagolható, akkor ideális közegről, ideális áramlásról beszélünk (1. a, ábrarész).

ideális folyadék áramlása



réteges áramlás



örvényes áramlás



1. ábra: Sebességprofilok csőben áramló közegek esetén

Bár az áramló közegek szigorúan véve viszkózus közegek, gyakran jó közelítést kaphatunk akkor is, ha ideálisnak tekintjük. Az ideális áramlásnál egy csőben az áramlási keresztmetszet minden pontjában ugyanakkora az áramlás sebessége. Figyelembe véve az összenyomhatatlanságot (inkompresszibilitás) a Bernoulli egyenlet és a kontinuitási törvény érvényes az áramlásra.

Bernoulli törvénye

A Daniel Bernoulli holland-svájci matematikus és természettudós után elnevezett törvény azt mondja ki, hogy áramló közegben egy áramvonal mentén a különböző energia-összetevők összege állandó. Ez azt jelenti, hogy egyes energiák megváltoztatása ellenkező irányban változtatja az egyéb energiákat. Például a sebesség növelése a nyomás csökkenéséhez vezet. Az egyenletnek két változata van. Egyik összenyomható, másik pedig összenyomhatatlan közegre vonatkozik.

Összenyomhatatlan közeg

Állandó földi nehézségi gyorsulás mellett az egyenlet eredeti alakja:

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = \text{konstans}$$

Ezen egyenlet érvényesülésének feltételei a következők:

- Elhanyagolható viszkozitású közeg.

- Stacionárius, vagyis időben állandósult áramlás.
- Összenyomhatatlan közeg. A közeg sűrűsége az áramvonalak mentén állandó. Az áramvonalak között azonban változhat.

Az egyenlet általában egy áramvonal mentén érvényesül, állandó sűrűségű áramlás esetén azonban igaz az áramlás minden pontjára.

Az egyenletnek ezt a formáját először Leonhard Euler vezette le.

A Bernoulli egyenlet egy áramvonal mentén a viszkozitás és a hőhatások elhanyagolása mellett az Euler-egyenletek integrálásával és az energiamegmaradás törvényéből is levezethető.

Az első levezetésnél a gravitációt is figyelmen kívül hagyjuk kizárólag a szűkülő és táguló szakaszok hatását vizsgáljuk x tengelyű egyenes csőben

A folyadék mozgásegyenlete a cső mentén:

$$m \frac{dv}{dt} = F$$

$$\rho A dx \frac{dv}{dt} = -A dp$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\frac{dp}{dx}$$

Állandósult áramlás esetén $v=v(x)$, így

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v = \frac{d}{dx} \frac{v^2}{2}$$

Ha a cső vízszintes, a mozgásegyenletet így lehet leírni

$$\frac{d}{dx} \left(\rho \frac{v^2}{2} + p \right) = 0$$

Vagy

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = C$$

ahol C konstans jelent.

A második levezetés során az energiamegmaradásra támaszkodunk. Ez a levezetés a gravitáció figyelembevétele mellett és nem egyenes áramlás esetén is fennáll, de a sűrűdést elhanyagoljuk és feltételezzük, hogy nincsenek energiaváltozást okozó egyéb erőhatások sem.

A munkatétel alapján a közegre ható erők eredőjének munkája egyenlő a kinetikai energia megváltozásával

A nyomáskülönbségből származó erők munkája:

$$F_1 s_1 - F_2 s_2 = p_1 A_1 v_1 \Delta t - p_2 A_2 v_2 \Delta t.$$

A nehézségi erő munkája:

$$mgh_1 - mgh_2 = \rho g A_1 v_1 \Delta t h_1 - \rho g A_2 v_2 \Delta t h_2$$

A kinetikai energia növekedése:

$$\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} \rho A_2 v_2 \Delta t v_2^2 - \frac{1}{2} \rho A_1 v_1 \Delta t v_1^2.$$

A fentieket összevetve:

$$p_1 A_1 v_1 \Delta t - p_2 A_2 v_2 \Delta t + \rho g A_1 v_1 \Delta t h_1 - \rho g A_2 v_2 \Delta t h_2 = \frac{1}{2} \rho A_2 v_2 \Delta t v_2^2 - \frac{1}{2} \rho A_1 v_1 \Delta t v_1^2$$

Vagy

$$\frac{\rho A_1 v_1 \Delta t v_1^2}{2} + \rho g A_1 v_1 \Delta t h_1 + p_1 A_1 v_1 \Delta t = \frac{\rho A_2 v_2 \Delta t v_2^2}{2} + \rho g A_2 v_2 \Delta t h_2 + p_2 A_2 v_2 \Delta t.$$

Mindkét oldalt egyszerűsítve ($A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t = V - vel$) ezt kapjuk:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Ebből az alakból vízszintes áramlás esetén ($h_1 = h_2$) jól kiolvasható a törvény lényege: ahol megnő az áramlás sebessége, ott lecsökken a nyomás. További alakokhoz juthatunk a sűrűséggel osztva:

$$\frac{v_1^2}{2} + g h_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + g h_2 + \frac{p_2}{\rho}$$

Vagyis

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} = C$$

illetve osztva g -vel:

$$\frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\rho g} = C$$

Összenyomható közeg esetében:

Az egyenlet általános alakja:

$$\frac{1}{2}v^2 + \phi + \epsilon + \frac{p}{\rho} = \text{konstans}$$

A jobb oldalon szereplő konstans gyakran Bernoulli-állandónak nevezik. Ez állandósult sűrűdésmentes adiabatikus áramlás esetén állandó bármely adott áramvonal mentén.

Ennek a levezetése hasonló az összenyomhatatlan közegekéhez. Ehhez egy A_1 -ből A_2 keresztmetszetűre változó csövet használunk. Az A_1 keresztmetszetű részben a levegő p_1 nyomás mellett a talajtól h_1 magasságban tesz meg s_1 utat v_1 sebességgel egységnyi idő alatt. A cső A_2 keresztmetszetű részében pedig a levegő p_2 nyomás mellett a talajtól h_2 magasságban tesz meg s_2 utat v_2 sebességgel szintén egységnyi idő alatt. Itt is a tömeg- és energiamegmaradás törvényét alkalmazzuk. A tömeg megmaradásából az következik, hogy eltérő keresztmetszeteken egységnyi idő alatt azonos mennyiségű anyag áramlik át:

$$0 = \Delta M_1 - \Delta M_2 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t - \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$

Szintén feltételezzük, hogy belső energiaforrás vagy energiaelnyelés nem áll fenn

$$0 = \Delta E_1 - \Delta E_2$$

ami az energia mennyisége, mely az A_1 keresztmetszeten beáramlik, és az A_2 keresztmetszeten távozik.

A bejövő energia a közeg mozgási energiájának, a gravitációs helyzeti energiájának, a termodinamikai energiájának és pdV mechanikai munka alakjában jelentkező energiájának az összessége:

$$\Delta E_1 = \left[\frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \phi_1 \rho_1 + \epsilon_1 \rho_1 + p_1 \right] A_1 v_1 \Delta t$$

Hasonló egyenletet írhatunk fel az E_2 -re is, majd ezzel behelyettesítünk:

$$0 = \left[\frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \phi_1 \rho_1 + \epsilon_1 \rho_1 + p_1 \right] A_1 v_1 \Delta t - \left[\frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \phi_2 \rho_2 + \epsilon_2 \rho_2 + p_2 \right] A_2 v_2 \Delta t$$

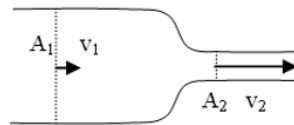
Amit így alakíthatunk át:

$$0 = \left[\frac{1}{2} v_1^2 + \phi_1 + \epsilon_1 + \frac{p_1}{\rho_1} \right] \rho_1 A_1 v_1 \Delta t - \left[\frac{1}{2} v_2^2 + \phi_2 + \epsilon_2 + \frac{p_2}{\rho_2} \right] \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$

Felhasználva a korábbi egyenletet a tömeg megmaradására, így lehet egyszerűsíteni:

$$\frac{1}{2} v^2 + \phi + \epsilon + \frac{p}{\rho} = \text{konstans}$$

A Bernoulli törvény mellett ideális áramlás esetén fontos törvény a már korábban is említett Kontinuitási (folytonossági) törvény, amely azt fogalmazza meg, hogy az áramlás keresztmetszete és az áramlás sebessége fordítottan arányos, vagyis a két mennyiség szorzata állandó (2. ábra)



2. ábra: A kontinuitási törvény, szűkületnél megnő a sebesség

Ennek a törvénynek a háttérében a tömegmegmaradást találjuk, a gyakorlatban használt alakja:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2.$$

Viszkózus közegek réteges áramlására fontos összefüggések a Newton-féle viszkozitási törvény, ami annak eldöntésében segít, hogy egy közeg newtoni (viszkozitása az erőhatástól független), vagy nemnewtoni (viszkozitása függ az erőhatástól).

Stokes közegellenállási törvénye, ami egy r sugarú golyó vagy henger körüli réteges áramlásra vonatkozik, itt a közegellenállási erő (F_{St}) arányos a v sebességgel:

$$F_{St} = 6\pi\eta r v$$

ahol η a dinamikai viszkozitás.

Ha az áramlás paraméterei már örvényes áramlást eredményeznek a Newton-féle közegellenállási törvény válik érvényessé Stokes törvénye helyett, vagyis a közegellenállási erő a sebesség négyzetével arányos:

$$F = cA \frac{1}{2} \rho v^2$$

ahol c az alaki tényező, A a test homlokfelülete.

Az áramlásokat jellemző dimenzió nélküli mennyiség, a Reynolds szám segít az áramlás típusának eldöntésében, itt a kritikus értéke 1, ha ennél kisebb a szám, réteges, ha ennél nagyobb örvényes az áramlás. A Reynolds számot az alábbi összefüggés határozza meg:

$$Re = \frac{\rho r v}{\eta}$$

ahol ρ és η a közeg sűrűsége és dinamikai viszkozitása, r és v a golyó sugara és sebessége.

Csőben történő réteges áramlás esetén fontos még Hagen Poiseuille törvénye, ami egy l hosszúságú r sugarú csőszakaszon $p_2 - p_1$ nyomáskülönbség hatására időegység alatt átáramlott Q viszkozitású folyadéktérfogatot adja meg:

$$\frac{Q}{t} = \frac{\pi(p_2 - p_1)r^4}{8\eta l}$$

Itt a Reynolds szám kritikus értéke 1160, ha az áramlásra jellemző Reynolds szám ennél kisebb, csak akkor alkalmazható a formula.

Bernoulli törvénye áramló levegő esetén sok jelenségnél megfigyelhető, ezeket tekintjük át a következő részben.

BERNOULLI TÖRVÉNY ALKALMAZÁSAI

A repülőgépek szárnyprofilja úgy van megalkotva, hogy a felső felület mentén áramló levegőnek hosszabb utat kelljen megtennie a szárny hátsó éléig, vagyis gyorsabban kell haladnia. Ebből kifolyólag a szárny alatt lassabban áramló levegőnek nagyobb lesz a nyomása, ami a nyomás kiegyenlítődése következtében segíti a gép fennmaradását, repülését.

A versenyautók végére a repülőkéhez hasonló profilú szárnyakat szerelnek fel, csak fordítva. Így a nyomáskülönbségből származó erő lefelé mutat, ezáltal növelve a kocsit a talajra kifejtett nyomóerőt és vele a tapadási súrlódási erő maximális értékét is.

A labdajátékokban a labda csavarása is a Bernoulli törvény, pontosabban a Magnus-effektus kihasználásával történik. A forgó labda magával ragadja a körülötte levő levegőréteget. Ezáltal a haladási irányba forduló oldalon nagyobb lesz a rá ható nyomás, mely vízszintes haladásnál oldalirányú eltérést eredményez. Ennek kihasználása érdekében a játékosok nem centrális ütközéssel érintik, hanem a labda szélén futtatják végig ütőjüket vagy lábukat, ezáltal biztosítva a szükséges forgási sebességet.

A mozgó járművek mozgatják a körülöttük lévő levegőt, így annak nyomása lecsökken. A környezetben található nyugalomban lévő nagyobb nyomású levegő a mozgó jármű felé mozog a nyomás kiegyenlítődés során, így a mozgó jármű felé tolja a környezetben lévő testeket, tehát a nagy sebességű járműveknél különösen indokolt a biztonsági sáv alkalmazása.

Az áramlási jelenségek mélyreható tanulmányozása nehéz feladat, de erre léteznek eszközök és bemutathatók kísérletek, amelyek a jelenséget mutatják.

A szélcsatorna azon az elven alapszik, hogy az áramlási jelenségek tanulmányozásánál nincs jelentősége annak, hogy a test mozog vagy a közeg áramlik, csak a kettő egymáshoz viszonyított relatív sebessége számít. Ezekben a csatornában nagy keresztmetszetű, állandó sebességű légáramban vizsgálják a testre ható erőket és a körülötte kialakuló áramlást. Ezt többek között például járművek tesztelésére használják. Így tudják azok formáját optimalizálni például az üzemanyag-fogyasztás csökkentése érdekében. Itt fontos megemlíteni, hogy a valós és a szélcsatornás áramlás akkor hasonló, ha a méretek arányossága mellett az áramlásokra jellemző Reynolds számok megegyeznek.

Mi is végeztünk saját kísérleteket a légáramlás és a fenti törvények érvényesülésének megfigyelésére. A következőkben ezeket foglaljuk össze.

KÍSÉRLETEK

1. Kísérlet:

Két papírlap között levegőt áramoltatunk, miközben a lapokon kívül nyugalomban van a levegő.

Tapasztalat:

A két papírlap közelít egymáshoz.

Magyarázat:

Bernoulli törvényéből (a sebesség növelése a nyomás csökkenésével jár) azt a következtetést vonhatjuk le, hogy amikor a két papírlap közé fújtunk, akkor ott megnőtt a levegő sebessége, így lecsökkent a nyomás, ezért a papíron kívül lévő nagyobb nyomású levegő a nyomás kiegyenlítődése során összenyomta a két papírlapot (3. ábra).



3. ábra: Két papírlap közé fújunk

2. Kísérlet:

Egy vízszintesen tartott papírlap fölött levegőt áramoltatunk.

Tapasztalat:

A papírlap megemelkedik és addig ott marad amíg áramoltatjuk a levegőt.

Magyarázat:

Bernoulli törvényét ismerve azt a következtetést vonhatjuk le, hogy amikor a papírlap fölött áramlik a levegő, akkor ott lecsökken a nyomás és a nyomás kiegyenlítődése során a papírlap alatti nagyobb nyomású levegő megemeli a papírlapot mozgása közben (4. ábra).



4. ábra: Papírlap fölött elfújunk

Ugyanez az oka annak, hogy a szél a könnyebb tárgyakat (falevél, papír vagy műanyag szemét) magával tudja ragadni. A falevél alatt nyugalomban lévő levegőnek nagyobb a nyomása, mint a levél felett áramló levegőnek, ez megemeli a leveleket, amit aztán a szél könnyedén magával sodor.

De ez az oka, hogy az erős szél a tetőről lefújhatja a cserepeket. A padlástérben nyugalomban lévő levegő a nagyobb nyomása miatt megemeli a cserepeket, amit aztán a szél könnyedén le tud szedni.

3. Kísérlet:

Egy porszívóval levegőt fújunk, majd az áramló levegőbe belehelyezünk egy pingpong labdát.

Tapasztalat:

A labda a levegőáramlatban marad, és ha mozgatjuk a levegőáramlatot, akkor a labda követni fogja azt.

Magyarázat:

Bernoulli törvényét ismerve ezt a kísérletet úgy magyarázhatjuk, hogy miközben a gyorsan áramló levegőben volt a labda, addig körülötte a nyomás lecsökkent. Mozgatáskor az áramló levegő mentén marad a kisebb nyomás, így a környezetéből arra mozog a levegő. Ezt a jelenséget látni nem látjuk, de a könnyű pingponglabda jól mutatja (5. ábra).



5. ábra: Pingponglabda a levegőáramban

Ezen az elven működik a párelszívó is. Az elszívó bekapcsolásakor a tűzhelynél keletkező szag és gőz molekulák az áramlás miatti kisebb nyomás következtében nem terjednek szét a lakásban, mert a tűzhelyen kívüli nyugalomban levő nagyobb nyomású levegő arra áramlik, így a tűzhely felett maradnak és az elszívó felé mozognak, az elszívó szűrője pedig a megtisztított levegőt engedi csak a lakás többi részébe.

4. Kísérlet:

Egy porszívó segítségével levegőt fújatunk, majd az áramló levegőbe belehelyezünk egy pingpong labdát, utána a labdánál egy kicsit nagyobb átmérőjű üres hengerbe juttatjuk a labdát.

Tapasztalat:

A labda a levegőáramlatban marad, amíg a hengerbe nem kerül, ahonnan gyorsan kirepül (6. ábra).

Magyarázat:

Bernoulli- és a kontinuitás törvények ismeretében, ezt a kísérletet azzal magyarázhatjuk, hogy miközben a gyorsan fújó levegőben volt a labda, addig körülötte a nyomás lecsökkent. Az odaáramló levegő, így ott tartotta a labdát. Mikor a labda belekerült a hengerbe, az átmérő, ahol a levegő mozog kisebb lett, így felgyorsult a levegő, ezzel kilőve a labdát.



6. ábra: Pingponglabda a hengerben

5. Kísérlet:

Egy kis fakockából ki van vágva egy kisebb henger alakú, kúpban végződő rész (7. ábra). A kivágott rész nem szorosan illeszkedik a helyére. A kocka fölött gyorsan levegőt áramoltatunk.

Tapasztalat:

A henger kirepül a kockából.

Magyarázat:

Bernoulli törvényének ismeretében, ezt a kísérletet azzal magyarázhatjuk, hogy amikor gyors levegő mozog a kocka felett, akkor ott a nyomás lecsökken. Ezért a kockában lévő levegő megemeli a hengert, majd kilöki a helyéről.

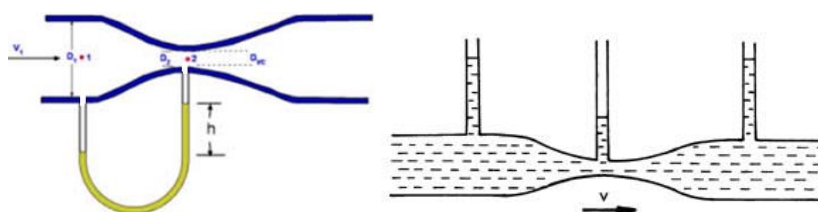


7. ábra: A fakocka a kúpban végződő hengerrel

Néhány további jelenség, amelynek a hátterében Bernoulli törvénye áll:

- Erős szélben nehezen kapunk levegőt
- Tornádó magával ragadja a tárgyakat
- Porlasztó működése
- Bunsen égő működése

A Bernoulli törvény és a kontinuitási törvény együttes alkalmazása lehetőséget kínál gázok, illetve folyadékok sebességének mérésére (8. ábra). A csövek geometriai adataiból és a folyadékszint különbségéből ismerve a közegek sűrűségét az áramlások sebessége meghatározható.



8. ábra: Csövek áramló gáz, illetve folyadék sebességének meghatározásához

MÉRÉSEK

A dolgozatunk további részében saját méréseinkhez kapcsolódó munkánkat mutatjuk be.

1. Fázis

A munkánk során azt vizsgáltuk, hogy milyen alakú testek esetén milyen erős az aerodinamikai felhajtóerő és hogy mennyire számít az, hogy milyen szögben éri a testet a levegő áramlása.



9. ábra: A prototípus

Először prototípus gyanánt a 9. ábrán látható gyufásdobozt vizsgáltunk. A gyufásdobozhoz egy szívószálat rögzítettünk, amibe egy hurkapálcikát tettünk annak érdekében, hogy majd a levegőáramban szabadon csúszkálhasson. A kezdetben használt alapanyagokat a 10. ábra mutatja.



10. ábra: Az alapanyagok

A leírtak szerint előkészített gyufásdobozt ventilátor levegőáramába tettük (11. ábra).



11. ábra: A gyufásdoboz a levegőáramban

Kezdetben nem történt semmi változás, a gyufásdoboz szinte meg sem mozdult a pálcikán. Ez azért történhetett, mert a felületéhez képest túl nagy volt a tömege és a hurkapálcika is túl szorosan volt a szívószálban, így meg tudott szorulni.

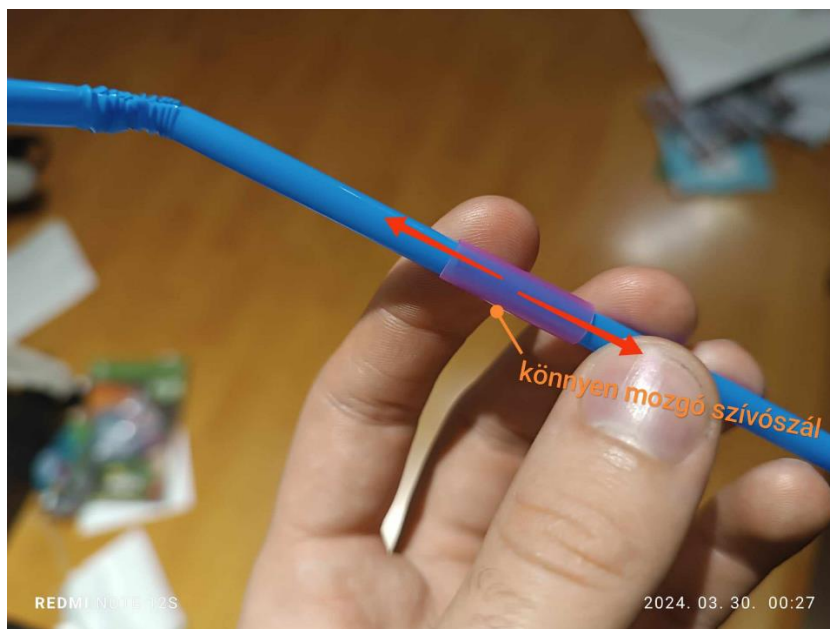
2. fázis



12. ábra: Doboz 2 szívószálon

A gyufásdobozt egy üres kártyadobozra cseréltük és két szívószálat is rögzítettünk hozzá (12. ábra), hogy ne tudjon körbe forogni. Itt már elemelkedett a doboz, de nem érte el a várt hatást. A kísérleti beállítás tehát további fejlesztést igényelt.

Ennek során a hurkapálcikát leváltottuk egy másik méretű szívószálra (13. ábra) mivel a pálcika felületének érdes volta miatt gátolva volt a mozgás. (A nagyobb átmérőjű szívószálat kis darabokra vágtuk, hogy könnyen rögzíthető legyen a kísérleti tárgyakhoz.)



13. ábra: Hurkapálcika helyett könnyen elcsúszó szívószálak

Ez a megoldás biztatónak ígérkezett, így ezzel folytattuk a kísérleteinket.

3. fázis

A kártyadoboz után egy könnyebb anyagot kerestünk így a hungarocellre esett a választás. Már megfigyelhető az is ezzel a hungarocell téglá testtel, hogy igenis számít, hogy milyen szögben tartjuk a levegőáramlás irányához viszonyítva (14. ábra).



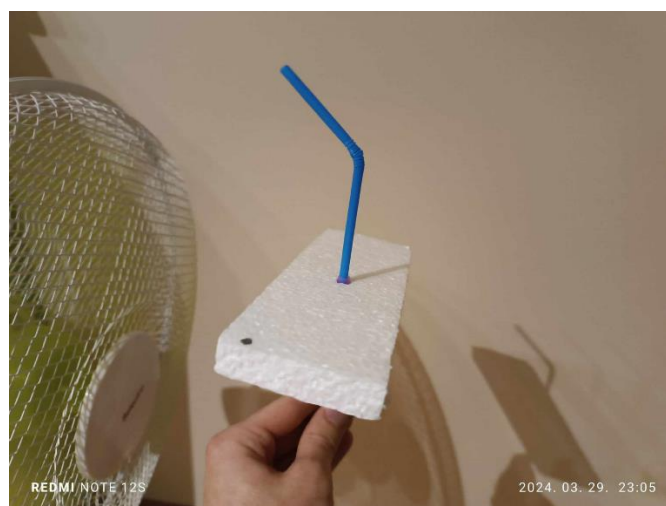
14. ábra: Téglatest alakú hungarocell test az áramlásban

Lefele döntve lenyomódik a föld felé. Vízszintesen tartva nem emelkedik és nem is nyomódik a föld felé (15. ábra).



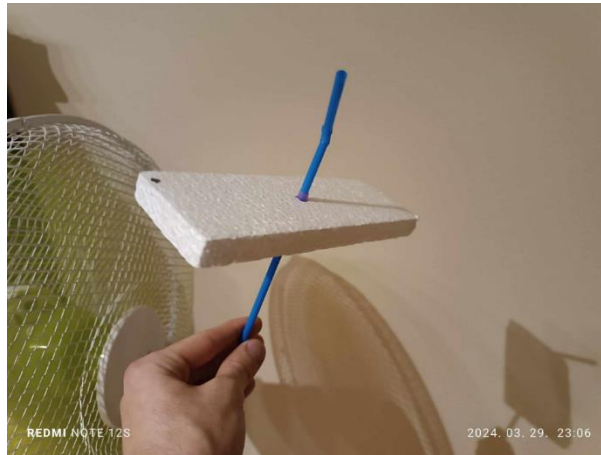
15. ábra: Vízszintes helyzetben vízszintes áramlásban

Kissé megdöntve már elkezd felemelkedni (16. ábra).

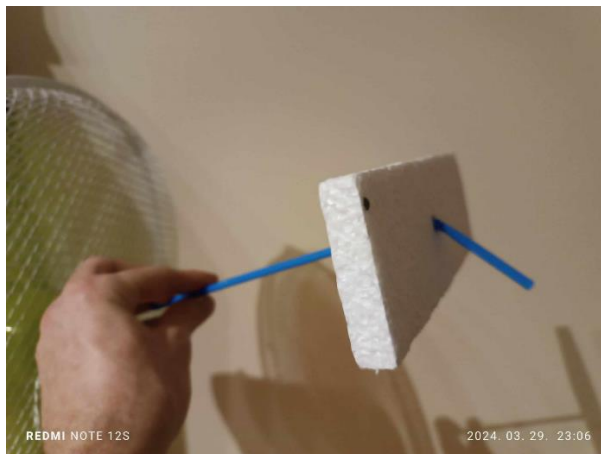


16. ábra: Megdöntve tartva

És minél tovább döntjük annál inkább felszáll (17. ábra), majd, ha nem lenne a szívószál hajlata le is szállna róla (18. ábra).



17. ábra: A felemelkedő test



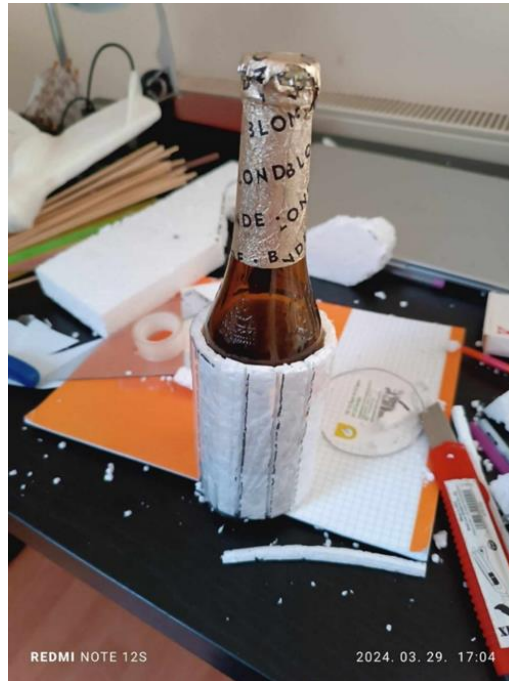
18. ábra: Az elrepülést akadályozó hajlat

Ez mind azzal magyarázható, hogy minél gyorsabban mozog a bármilyen közeg (jelen esetben levegő) annál kisebb a nyomása. És a téglatestnél a levegő, ami alulról kerüli meg lassabb, mint ami felülről kerüli így a felette levő nyomás kisebb. A két nyomás különbsége pedig egy felfelé irányuló erőt fejt ki, ami ha nagyobb, mint a gravitációs erőhatás a test fel tud emelkedni. A döntéssel meg azt tudjuk szabályozni, hogy mekkora legyen a sebesség különbség a két oldalt megkerülő levegőáramlatnak.

A következő lépésben henger alakú testet vizsgáltunk ugyanezzel a módszerrel.

4. Fázis

Annak érdekében, hogy ellenőrizhessük a kísérlet eredményének igazát, csináltunk egy hengert is, aminek a törvény alapján nem szabadna felemelkednie. A hengert úgy készítettük, hogy négy hungarocell lapot párhuzamosan bevagdostunk a könnyebb hajlíthatóság érdekében. A 19. ábra képe az elkészítést mutatja.



19. ábra: A henger készítés menete

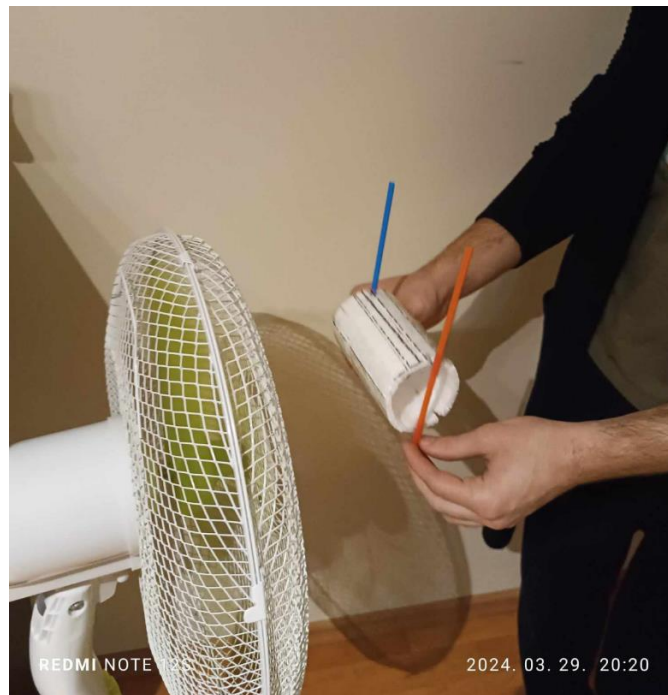
Majd miután kellően stabil lett rögzítettünk hozzá egy-egy könnyen mozgó szívószálat mindkét oldalra (20. ábra).



20. ábra: A henger a szívószálakkal

Miután kipróbáltuk több szögben is tartva és nem történt változás (nem szállt fel és nem nyomódott a föld felé) beláttuk, hogy a feltételezésünk igaz volt. Miszerint az olyan alakzatok,

amelyek tengelyesen szimmetrikusak nem szállnak fel és nem is nyomódnak a föld fele, ha a szimmetria tengellyel egy egyenesből fújjuk meg (21. ábra) vagy ha a szimmetriatengely a szögfelezője az ugyanolyan erősségű beeső áramlásoknak.

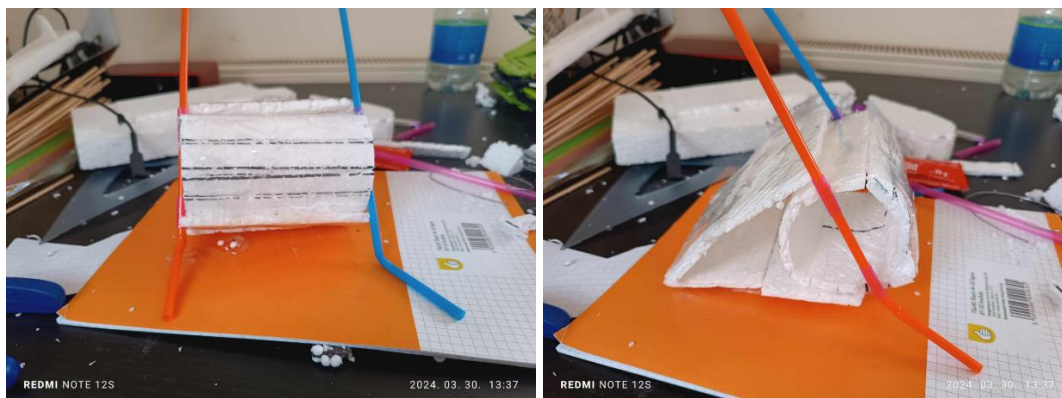


21. ábra: A henger a ventilátor levegőjében

Következő lépésként a hengerre rögzítettünk két lapot, hogy megvizsgáljuk így fel tudja-e kapni a ventilátor szele.

5. Fázis

A 22. ábrák képei az alkészítést és a kész modellt mutatják.



22. ábra: Az elkészítés lépései

Következő fázisként az így kapott alakzatot teszteltük.

6. Fázis

A 23. ábra képei a tesztelés során készültek



23. ábra: A tesztelés első fázisai

Vízszintesen, illetve lefele döntve ugyanazt az eredményt kaptuk, mint a téglatest esetén.

Kissé megdöntve is ugyanaz a hatás volt, mint a téglatesttel egy fontos különbség jött elő csupán: a nagyobb súlya miatt nehezebben emelkedett fel ez a “csepp” alak, így finomabban lehetett játszani azzal, hogy mennyire emelkedjen fel döntés hatására (24. ábra).



24. ábra: A tesztelés további fázisai

A fent részletezett mérési sorozatban még nem törekedtünk számszerű eredményekre, csak a viselkedés megfigyelése, megtapasztalása volt a cél. A vizsgálataink folytatásában a következő fázisban méréseket végeztünk a számszerű összehasonlításokhoz.

7. Fázis

A ventilátor keltette levegőáramot kézi anemométerrel (25. ábra) mértük.



25. ábra: Az anemométer

Először vizsgáltuk a ventilátor keltette áramlás homogenitását. A ventilátortól adott távolságban, a ventilátor közepénél és bal, jobb illetve alsó felső helyzetben a középtől ugyanolyan távolságban végzett mérések alapján megállapítottuk, hogy a ventilátor nem kelt teljesen homogén áramlást, így a méréseinknél minden esetben a középpontjának vonalában helyezkedett el a test. A ventilátortól mért különböző távolságok közül a 30 cm bizonyult optimálisnak, így a könnyű test a méréseink során ekkora távolságban volt. A testet rugós erőmérő közvetítésével állványra függesztettük. A ventilátor közepét a felfüggesztett test felé fordítva vizsgáltuk a különböző irányokból érkező levegőáramnál az egyensúlyban tartáshoz szükséges aktuális erők értékét, melyeket a rugós erőmérő mutatott.

Az áramlásba helyezett test (26. ábra) és fontosabb adatai:

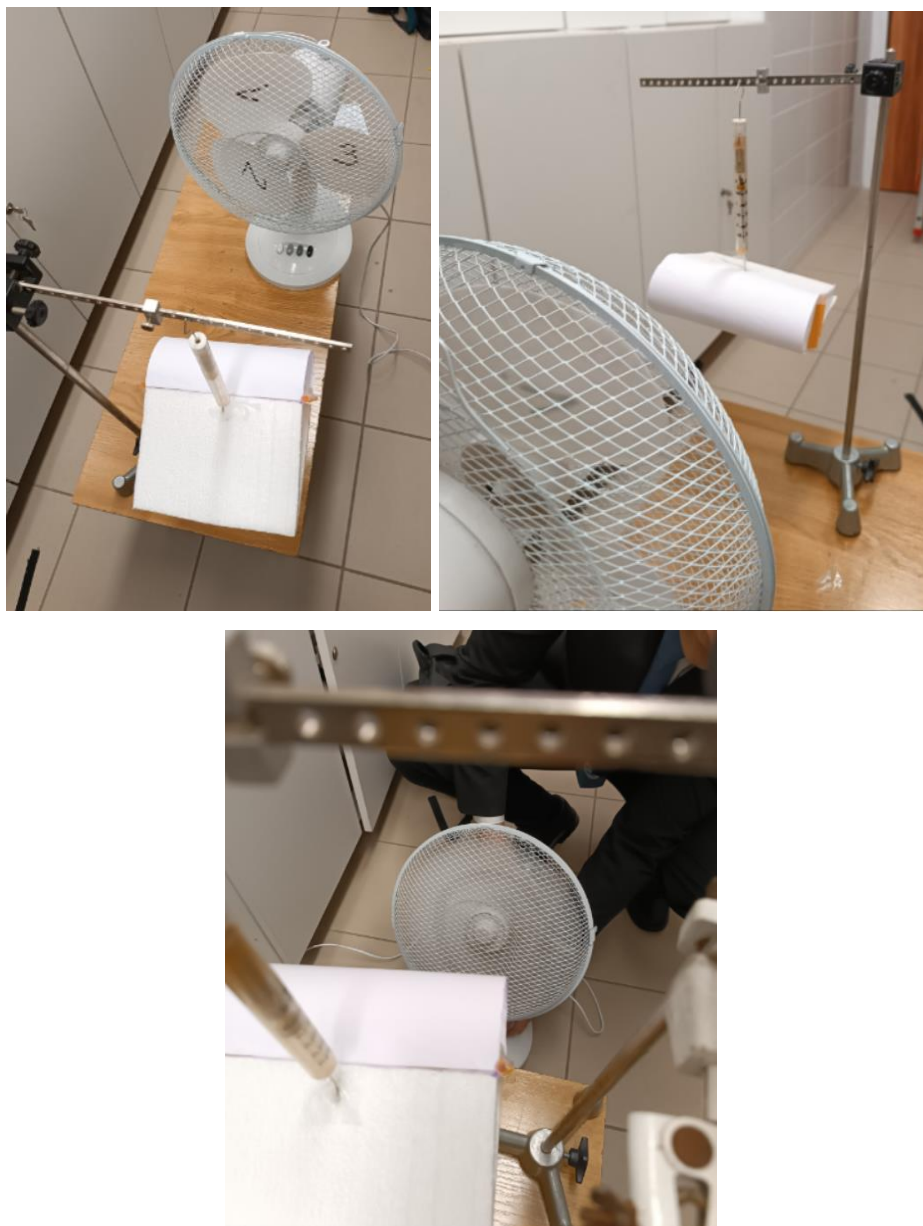


26. ábra: Az áramlásba helyezett test

A test főbb adatai:

hungarocell lapok mérete:	13,5 x 18,5 cm
papír félhenger felülete:	18,5 x 14 cm
félhenger sugara:	4,5 cm
test felülete:	758.5 cm ²
test súlya:	0,12 N

A ventilátor és a test elhelyezkedését a 27. ábra képei mutatják különböző nézetekből.

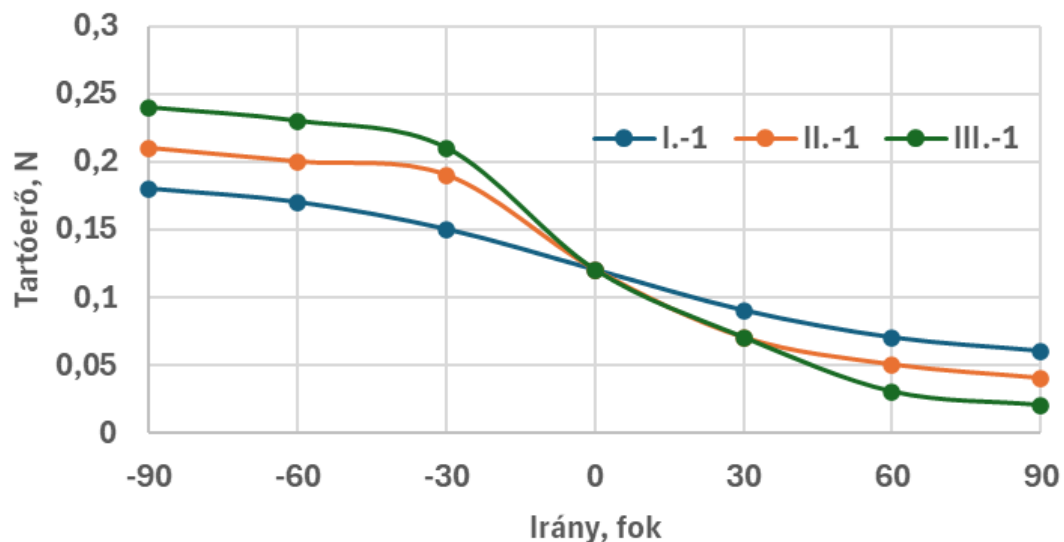


27. ábra: A mérési beállítás különböző nézetekből

A 3 fokozatba állítható ventilátor középvonalában, 30 cm távolságban mért áramlási sebességek a következők voltak:

1. fokozat: 1,57 m/s
2. fokozat: 1,86 m/s
3. fokozat: 2,36 m/s

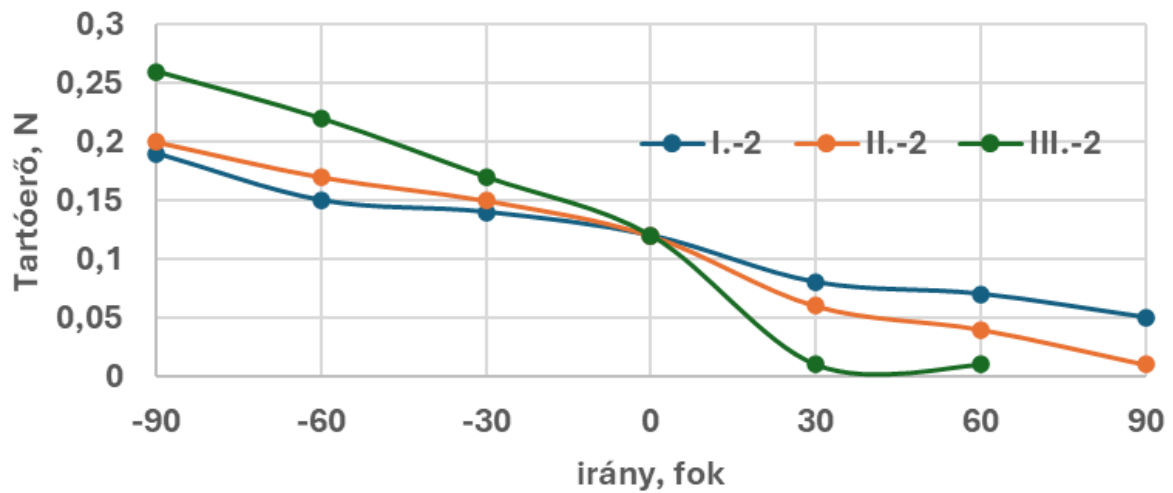
Az egyes fokozatok esetén kapott Tartóerőket a légáramlás irányok függvényében a 28. ábra mutatja, miközben a test vízszintes helyzetű. A + irány alulról felfelé, míg a - felülről lefelé áramló levegő irányára utal.



28. ábra: Tartóerők a különböző levegőáram sebességeknél az áramlás irányának függvényében

- Az adatok alapján elmondható, hogy kisebb áramlási sebesség kisebb, nagyobb sebesség nagyobb változásokat idéz elő a tartóerőkben. Nagyobb szögeltérés is nagyobb eltérést eredményez a tartóerőkben.
- A szimmetriatengely irányából érkező (0 fok) áramlás a vizsgált alakú testnél alatta és felette szimmetrikus áramlást eredményez. A függőleges irányú tartóerőkomponens így nem módosult.
- Majdnem szimmetrikus viselkedés figyelhető meg.

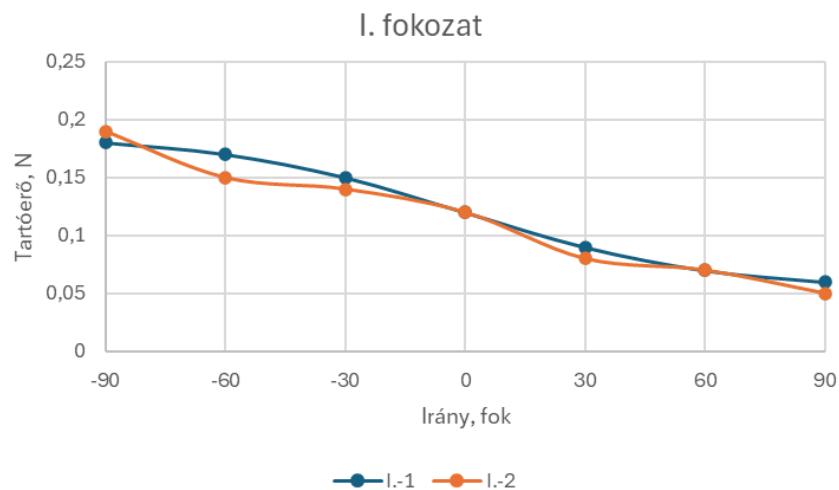
Az egyes fokozatok esetén kapott Tartóerőket vízszintes légáramlás esetén, miközben a test szimmetriatengelye adott szöget zár be a vízszintessel a 29. ábra mutatja. A + irány esetén a test felfelé, míg a - irány esetén lefelé fordul.

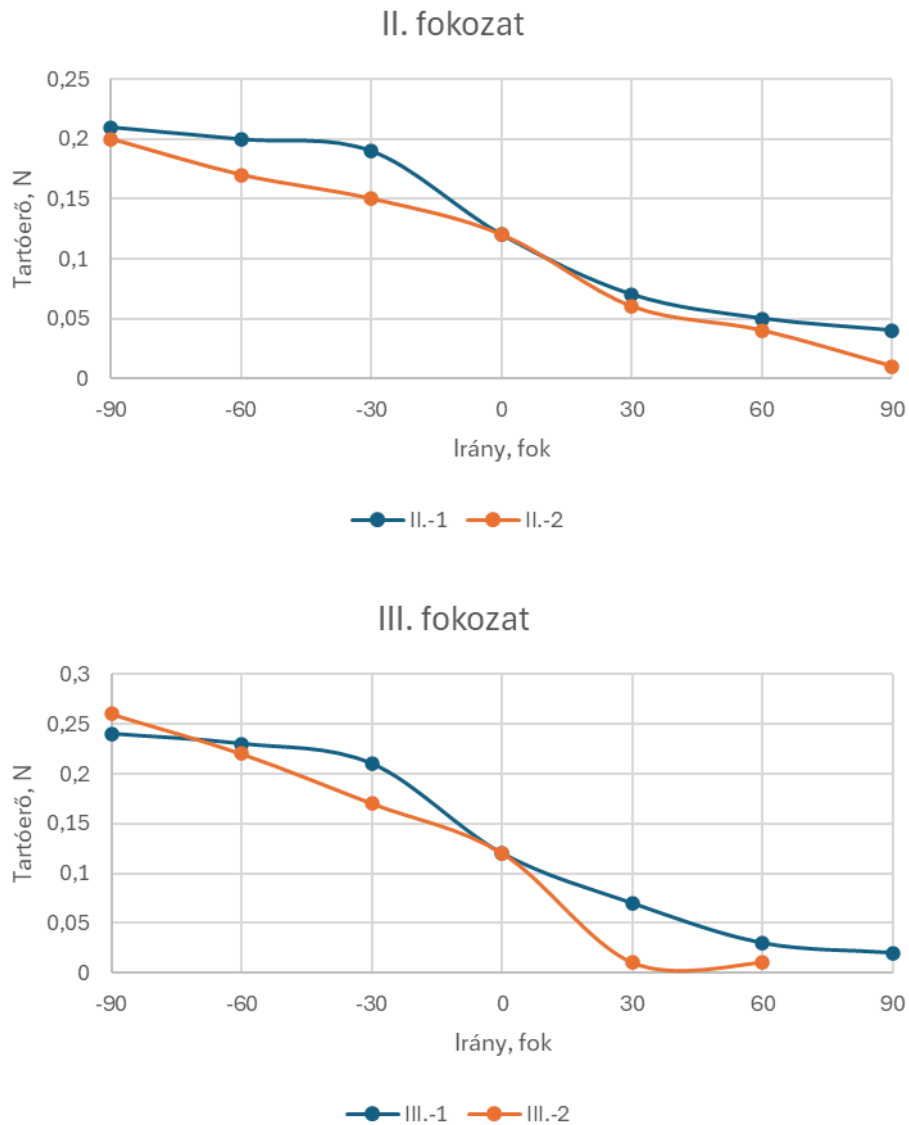


29. ábra: Tartóerők vízszintes levegőáram sebességeknél test irányának függvényében

- Az adatok alapján megfogalmazható, hogy ebben a vizsgálatban, ha a test nem szimmetrikus a levegőáramlás irányára, eltérések tapasztalhatók a tartóerőben.
- Nagyobb áramlási sebesség nagyobb különbséget eredményez.

Végül összehasonlítottuk az egyes fokozatokra vonatkozó eredményeket, a 30. ábra ábrásora mutatja az I., II. és III. fokozatra vonatkozó összehasonlításokat.





30. ábra: Tartóerők összehasonlítása adott áramlási sebességek esetén

Az összehasonlítás eredményeként megfogalmazható, hogy vízszintes áramlásnál a tartóerők 30 és 60 fokos testhelyzetekben kisebbek, illetve hogy a tartóerőkben különbséget jelent az, hogyha a test pozíciója, vagy az áramlás iránya az, ami változik.

A kísérleteink, méréseink nagyon tanulságosak voltak, sok tapasztalatra tettünk szert. Alapul szolgálhatnak egy pontosabb mérésbeállítás tervének, eszközeinek kidolgozásához.

A munka folytatásaként tervezzük egy homogénebb áramlást biztosító forrás alkalmazásával, 3D nyomtatással készített különböző speciális alakú, optimalizált tömegű testek körüli áramlások vizsgálatát mind a szívószálas megoldás, mind a felfüggesztéses megoldás továbbfejlesztésével. Távlati célunk egyedi profil kialakítása.

ÖSSZEGZÉS

1. A dolgozatunkban bevezetésként bemutattuk a természetes levegőáramlásban rejlő előnyöket, hátrányokat.
2. Áttekintettük azokat a törvényeket, amelyek megadják az áramló közegben az erőket, sebességviszonyokat ideális (elhanyagolható belső súrlódású) és viszkózus közegek esetén.
3. Alapkísérleteket végeztünk a Bernoulli törvény és a kontinuitási törvény megnyilvánulásának megtapasztalásához.
4. Kísérleteket állítottunk össze és végeztünk, különböző alakú testek esetén az áramlási viszonyok vizsgálatára.
5. Kísérleteink eredményei alapján megfogalmazhatjuk, hogy a felhajtóerő szempontjából számít az áramlásban lévő test alakja, és amennyiben az alak nem teljesen henger vagy gömb alakú, az is számít, hogy milyen szögben éri az áramlás.
6. A viselkedések minőségi összehasonlítása után méréseket végeztünk a számszerű összehasonlításokhoz.
7. A vizsgálataink során szerzett tapasztalataink alapul szolgálhatnak egy pontosabb, továbbfejlesztett mérés kidolgozásához.

IRODALOMJEGYZÉK

- https://hu.wikipedia.org/wiki/Bernoulli_t%C3%B6rv%C3%A9nye
- <https://prezi.com/-yhn26nb276-/bernoulli-torveny-alkalmazasa/>
- https://www.nkp.hu/tankonyv/fizika_9_10_i_nat2020_b/lecke_06_004
- https://www.youtube.com/watch?v=E3i_XHIVCeU&t=203s&ab_channel=TheEfficientEngineer
- Budó Ágoston: Kísérleti fizika, I. kötet, Tankönyvkiadó, 2010.
- J.B. Grotberg (2006) Dynamics of gas flow and pressure – flow relationships, Encyclopedia of Respiratory Medicine
- Ooi Yongsona, Irfan Anjum Badruddin, Z.A. Zainal, P.A. Aswatha Narayana (2017) Airflow analysis in an air conditioning room, Building and Environment 42(3), pp. 1531-1537.