

John Bucknall

TOLÓERŐ, ÁRAMLÁSRENDEZŐK,
KORMÁNYZÁSI ÉS EGYENES VONALÚ HALADÁSI
STABILITÁS

Fordította: Németh Richárd

2004. október 04.

John Bucknall

Bevezetés

Az AMG'03 –at követően megkértek arra, hogy írjam meg az áramlásrendezőkről tartott előadásom anyagát. Bízom abban, hogy ez a jegyzet segít tisztázni a hajó hátsó részében folyó rejtélyt... A következőkben szemügyre vesszük a Rotax motorral -a ventilátort a belépőoldalról nézve- az óramutató járásával megegyező irányba, és a TZR típusú felépítés esetén az óramutató járásával ellentétes irányba forgatott ventilátorokat.

Remélem, hogy hasznos tanácsokkal látom el azokat, akik megpróbálják az utolsó pár newtonnyi tolóerőt is kihozni a hajóból.

Tolóerő

A légpárnás működésének alapelve nagyon egyszerű, egyik irányba kitolt levegő hatására a hajó a másik irányba mozdul el (Ellentétben azzal a helytelen nézettel, hogy a ventilátor utat vág magának a levegőben, a ventilátor hátrafelé tolja a levegőt, előre mozgatva a hajót).

A ventilátort elhagyó levegő nemcsak a légcatornán történő áthaladás során megnövelt impulzussal, hanem -a ventilátor forgásirányával megegyező- megnövekedett forgási impulzussal is rendelkezik, ezért tehát egy Rotax rendszer az óramutató járásával megegyező irányba forgó, megnövekedett impulzusú légtömeget produkál.

A légcatornán áthaladó levegő megnövekedett sebessége adja a tolóerőt. (Az erő az impulzus megváltozásának a mértékével egyenlő, ezt az impulzusváltozást, pedig a légsebesség és a levegő tömegének a szorzata adja, tehát egy adott légcatorna-méret mellett a tolóerő egyenesen arányos a levegő sebességével.)

A forgási sebességnövekedés azonban csak a hajó stabilitását borítja fel, mivel forgatóerőt gyakorol a hajótestre. A Rotax rendszer óramutató járásával megegyező légörvénye az óramutató járásával ellentétes irányú forgatóerővel hat a hajótestre. Ez a vezetőülésből nézve azt jelenti, hogy amikor az erő a hajó jobb oldalára kerül, akkor a hajótest a felszín felé megdől, és a vezetőnek balra kell mozdulnia, hogy megőrizze annak vízszintes helyzetét. Ez általában akkor figyelhető meg, amikor a hajótest a levegőbe kerül, és az egyik sarka könnyebben emelkedik fel.

Mit tehetünk a kedvezőtlen jelenségek ellen?

Áramlásrendezőket használunk a ventilátort elhagyó levegő forgási sebességének a megszüntetésére, alkalmazásuk két okból is kedvező:

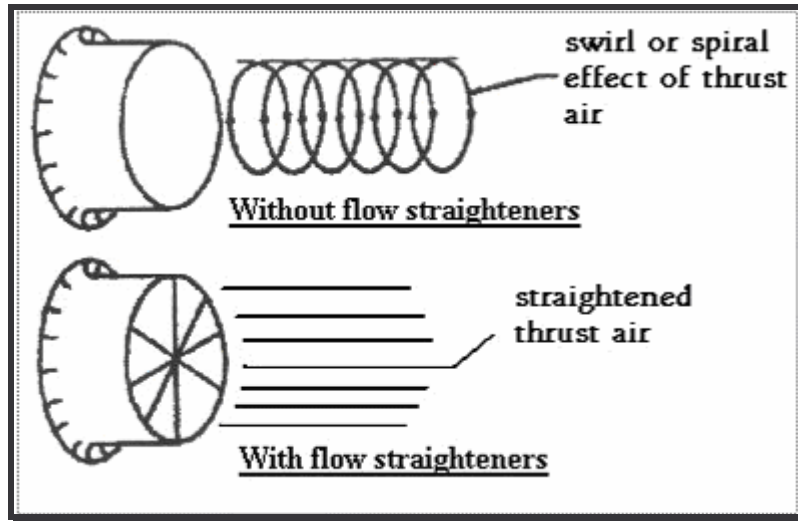
Először is megszűnik az összes forgatóerő (kivéve azokat az erőket, amik a hajtásegység elemeinek a gyorsításakor és lassításakor szükségserűen ébrednek). Az áramlásrendező nagyobb stabilitást és kiszámíthatóságot biztosít, miközben a hajó váratlan felszínfeletti manőverbe kezd.

Másodsorban a forgási impulzust hátrafelé ható mozgásmennyiséggé alakítja, ennélfogva nő az össztolóerő, ami a vezetőnek többlettolóerőt biztosít.

Ventilátorlapátok

A lapátokat arra tervezték, hogy örvénymentes áramlást hozzanak létre, ezért a csatornán áthaladó teljes légmennyiség ugyanakkora sebességgel halad és forog, ami egy nagy forgó „levegőhurka” kialakulását eredményezi.

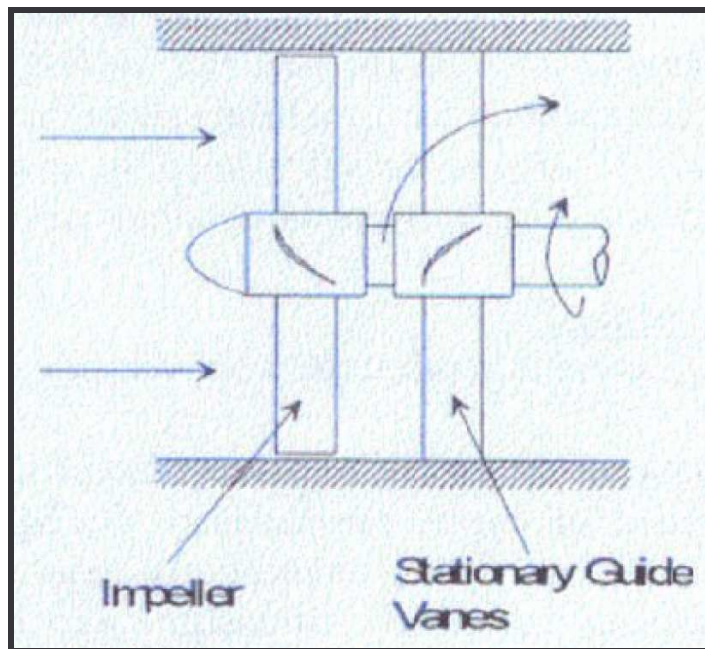
Az **1.sz. ábra** ezt a jelenséget és az áramlásrendezők alapkoncepcióját mutatja.



1.sz. ábra

Az áramlásrendezők kialakítása

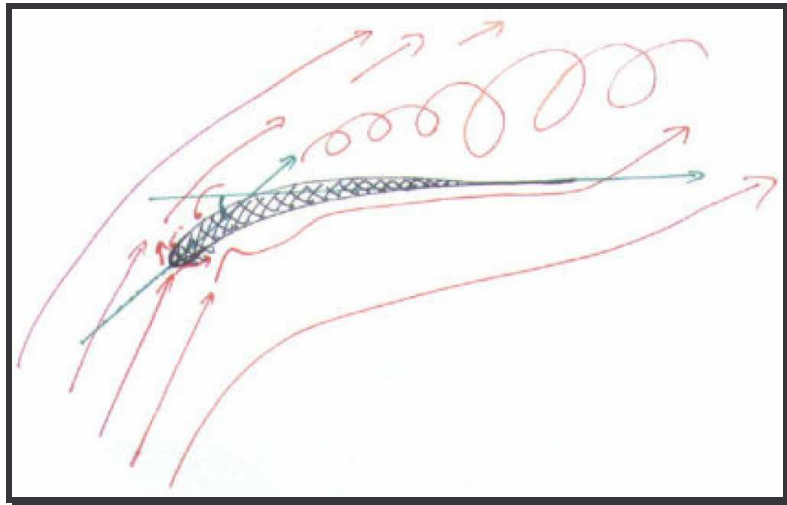
Az áramlásrendezők tervezése eléggé trükkös, és ha rosszul történik, akkor turbulens áramlást okoz a csatornában, ami rontja a teljesítményt és növeli a zajszintet. Azonban ha a következő lépéseket követjük, akkor nő a teljesítmény, illetve a hatásfok és csökken a zaj. A **2.sz. ábra** egy olyan rossz elképzelést ábrázol, amellyel a kívánt célunkat nem tudjuk elérni. Az ábra felülnézetben egy hátulról, az óramutató járásával ellenkező irányba meghajtott ventilátort, és az utána elhelyezett álló szárnylapátozást (sztátor) mutat.



2.sz. ábra

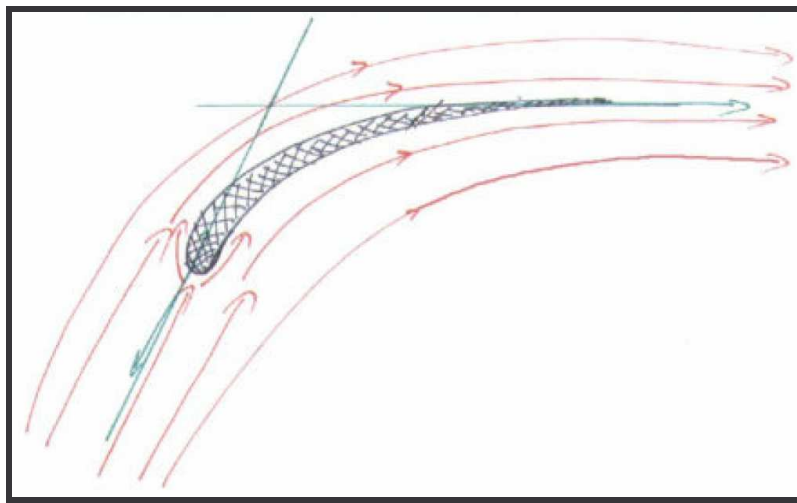
A légáram tervezése

Az általános áramlásrendezők nagyjából megfelelőek, ha a hajlásszögek eléggé meredek ahhoz, hogy a hátoldalon ne jöjjön létre áramlásleválás. A túlhúzott lapátszelvény okozta áramleválást a **3.sz. ábra** mutatja. Az ábrán látható, hogy a (piros párhuzamos vonalakkal jelölt) levegő túl meredeken érkezik a lapáthoz képest. Az áramlásrendező hajlásszögének (zöld vonalakkal jelölt egyenesek által bezárt szög) egyezőnek kell lennie a levegő piros vonalakkal jelölt áramlási szögével. Az egyezés hiánya áramlásleválást és (a piros kunkorodó vonallal jelölt) turbulenciát okoz. Ezek eredménye, hogy a levegő nem a kívánt szögben lép ki (nem illeszkedik a közel vízszintes zöld vonallal jelölt egyenesre). A turbulencia tulajdonképpen vákuumot okoz, és a levegő elhagyja a szárnylapát mellső (alsó) felületét, ami az áramlásrendezőt elhagyó levegő ismételt forgásához vezet. A turbulencia okozza a ventilátor zajszintjének a megemelkedését (ezt nevezhetjük az áramlásrendező zajának is).



3.sz. ábra

A turbulencia szemmel látható bizonyítéka a zavaros áramlási kép vagy a terelőlemezek zaja. A célunk az, hogy a levegő belépési szöge essen egybe az áramlásrendező élszögével, és a hátsó él legyen párhuzamos a levegő kívánt kilépési irányával. A **4.sz. ábra** ezt a helyes áramlásrendező-kialakítást mutatja.



4.sz. ábra

Az áramlásrendező tervezéséhez tudnunk kell, hogy mi történik akkor, amikor a levegő éppen elhagyja a ventilátorlapátot.

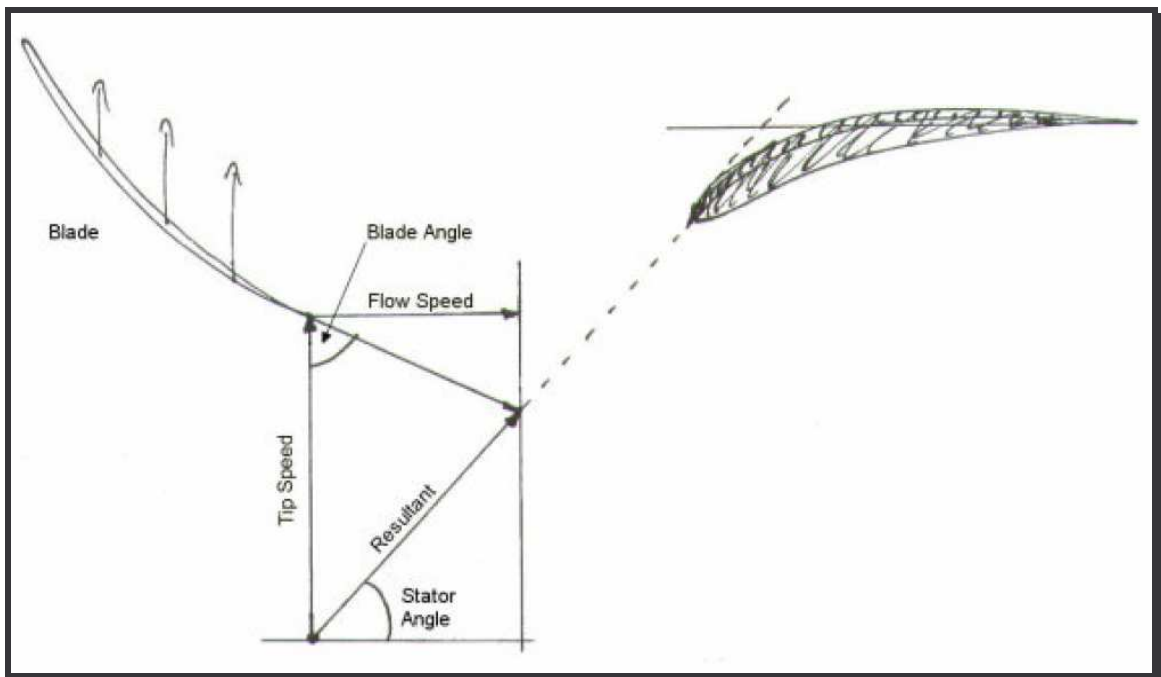
A tervezés előtt a következőket kell kimérnünk, vagy kiszámítanunk:

- A ventilátorlapát legkülső pontjának kerületi sebessége
- A lapáttő kerületi sebessége
- A levegő lineáris, vagy áramlási sebessége a csatornában (a gyártó tapasztalati, vagy Keith Smallwood publikált ventilátoradatai alapján vehető fel. Közelítő értéke a légcsatorna méretéből, vagy a motorteljesítményből is számítható, azonban az utóbbi alkalmazása nem javasolt)
- A lapátcsúcs kilépési szöge
- A lapáttő kilépési szöge
- A lapátcsúcs és a lapáttő sugara

Sebességi háromszögek

Ez egy egyszerű geometriai módszer arra, hogy meghatározzuk az áramlásrendezőnk hajlásszögeit. A szerkesztéshez szükség van milliméterpapírra, szögmérőre stb. A szerkesztést a ventilátor mindkét végére el kell végezni. Első lépésként válasszuk az $1\text{mm}=1\text{m/s}$ -os léptéket (a sebességvektor nagyságával arányos hosszat szerkesztünk).

Az **5.sz. ábra** egy ilyen, a későbbiekben kidolgozásra kerülő példát mutat.



5.sz. ábra

A szerkesztés lépései:

1. Rajzoljunk a lapátcsúcs kerületi sebességének megfelelő függőleges vonalat.
2. A végpontból merőlegesen vegyük fel a levegő áramlási sebességét.
3. Ennek a végpontjából húzzunk egy, a lapátcsúcs kerületi sebességével párhuzamos egyenest. (hossza bármekkora lehet, mivel ez csak egy szerkesztővonal).
4. A lapátcsúcsnál lévő kerületi sebességvonal végéből húzzuk meg a kilépési szögnek megfelelő vonalat (pl. $40\text{-}60^\circ$) addig, amíg az el nem metszi a szerkesztővonalunkat.
5. A lapátcsúcs kerületi sebességének talppontját összekötve a kilépési szögnek megfelelően húzott vonal és a szerkesztővonal metszéspontjával, megkapjuk a levegő léptékhelyes eredő sebességvonalát.
6. Ezek után mérjük le az áramlásrendező lapátcsúcs-oldali hajlásszögét.

Versenyhajóknál, ahol a legnagyobb teljesítmény elérése a cél, szeretnénk az áramlásrendezők nyújtotta előnyöket kihasználni. A cirkálóhajókat átlagos utazósebességre tervezzük, hogy csökkentsük a zajkibocsátást és az üzemanyagfogyasztást. A teljes- és részterhelésekhez tartozó szögértékek eltérése egészen kicsi, mivel a levegő áramlási sebessége közel együtt változik a lapátcsúcs kerületi sebességével. Az áramlásrendező hajlásszögének szükséges megváltozása a sebességgel együtt változó ventilátorhatásfoknak tulajdonítható (emiattn nincs tökéletesen egyenes arányban levegő áramlási sebességváltozása a lapátcsúcs kerületi sebességének változásával). 10°-os szögtartomány alatt következik be az áramlásleválás.

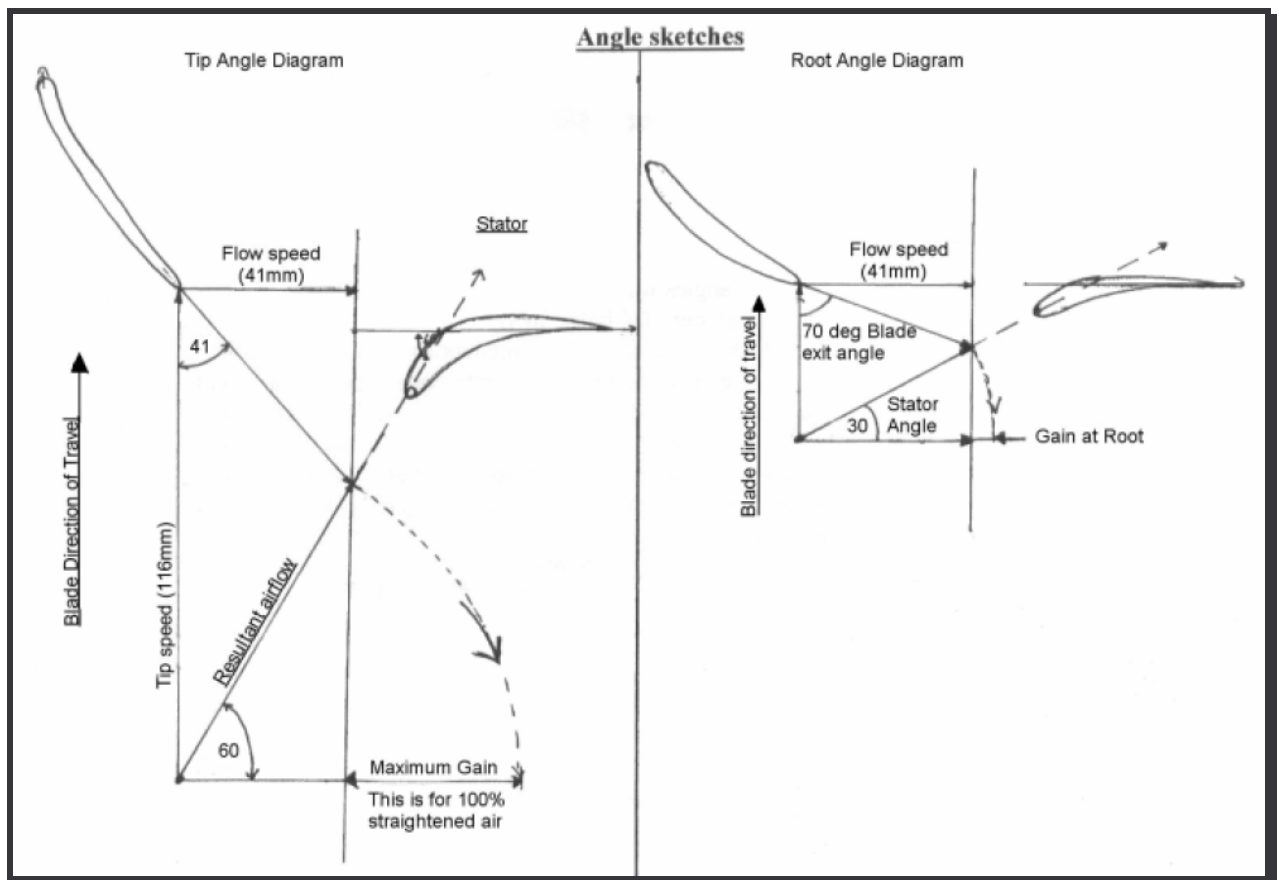
Kidolgozott példa (F3 versenyhajóra)

Kiindulási adatok:

- Légcsatorna mérete: 930mm
- Motorteljesítmény: 44.7kW (60LE)
- Lapáttípus: 6db 5Z típusú lapátkészlet, 45°-os lapátszög gel, az óramutató járásával ellentétes forgásiránnyal

Amiből:

- A levegő áramlási sebessége: 41.25m/s (ventilátoradat)
- A lapátcsúcs kerületi sebessége: 116m/s (számított adat)
- A lapáttő kerületi sebessége: 36m/s (számított adat)
- A lapátcsúcs kilépési szöge: 41.5° (mért adat)
- A lapáttő kilépési szöge: 70° (mért adat)



6.sz. ábra egy jellegzetes áramlásrendező hajlásszög-kialakítását mutatja, ahol a megadott szögértékek (60, illetve 30°) a legtöbb légpárnáshajónál jó közelítéssel alkalmazhatóak.

Hogyan működik az áramlásrendező?

A ventilátorlapátokat elhagyó levegő még mindig ugyanakkora forgási sebességgel (tehát impulzussal) rendelkezik. Akkor hogyan korrigál az áramlásrendező, és mi is történik valójában? Az áramlásrendező újabb változást hoz létre a levegő mozgásmennyiségében, ezért a levegő a rendezőnél ellenkező forgásiránnyal áramlik. A fellépő két ellentétes forgatóerő eredményeként a forgások kioltják egymást. Mindez azt jelenti, hogy az áramlásrendezőket szilárdan kell a légcsatornába rögzíteni, hogy elviseljék a járulékos erőhatásokat (A poliuretán anyagok jól alkalmazhatóak az áramlásrendezők élei és a légcsatorna belső fala közötti tömítések kialakításához). A rendezett levegőkiáramlás eredménye a vízszintes haladás és a könnyű kezelhetőség.

Kiosztás, szerkezeti kialakítás, kivitelezés

Az áramlásrendező lapátok száma mindig különbözik a ventilátor lapátszámától, ezért a lapátok egyidőben nem haladnak el az áramlásrendező előtt. Emiatt prímszámú áramlásrendezőlapát alkalmazása a legkedvezőbb, így 7 vagy 11 db áramlásrendezőt válasszunk, és azokat a csatorna kerülete mentén egyenletesen elosztva helyezzük el.

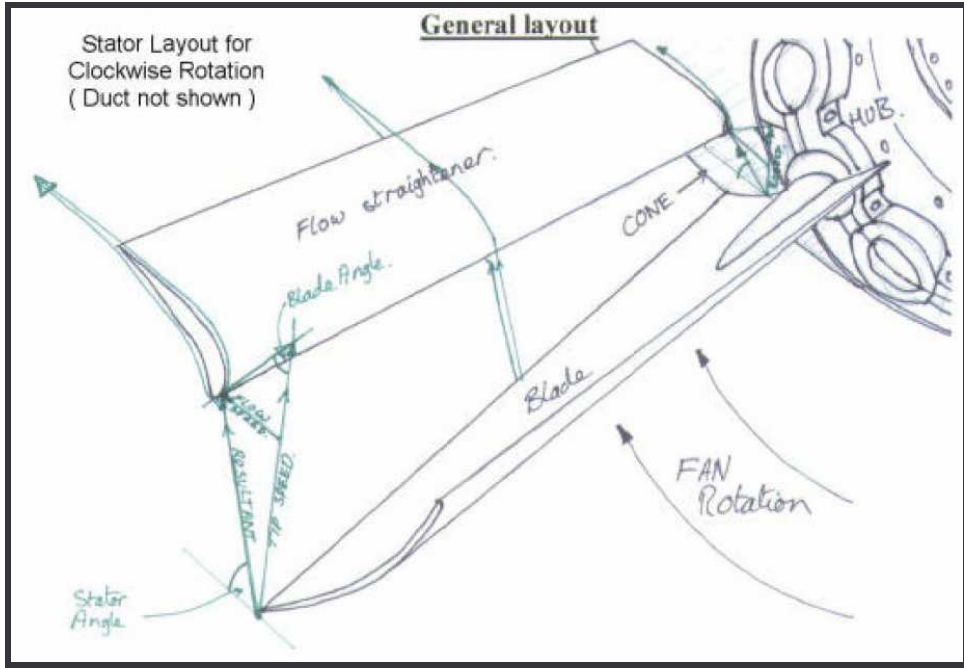
A **7.sz. ábra** az óramutató járásával megegyező forgásirányú ventilátorhoz készített áramlásrendező-kialakításokat mutat.



7.sz. ábra

Hogy biztosított legyen a megfelelő lapátkiosztás, vágjunk ki egy kör alakú falemezt és rögzítsük rá egy gyűrűt, hogy a kúpos agyat a megfelelő helyzetbe tartsuk. Készítsük el a megfelelő osztásjelölést a falemezen, és a lemezt helyezzük be a légcsatornába. Jelöljük át az osztásokat a csatorna belső felületére és a kúpra. Vegyük ki a fatárcsát és vágjuk ki a nyílásokat. Töltsük ki habbal az áramlásrendező lapátok üregeit, és belülről nyomjuk át őket a csatorna falán, majd a másik végüket tegyük bele a kúpba, ezután rögzítsük vissza a falemezt és tájoljuk a kúpos agyat. Kenjük ki poliuretán habbal a réseket, a csatorna külső falán használjunk üvegszálat. Hagyjuk, hogy az anyagok megkössenek. Távolítsuk el a falemez tárcsát és töltsük ki a kúp belsejét duzzadó kétkomponensű poliuretán habbal (ne használjunk flakonos PU habot). A végeredménynek úgy kellene kinéznie, mint a bal felső képen látható habbal kitöltött kúpnak. Lehetőség szerint a legfelső lapát függőlegesen álljon azért, hogy egyvonalba kerüljön az oldalkormánylapáttal.

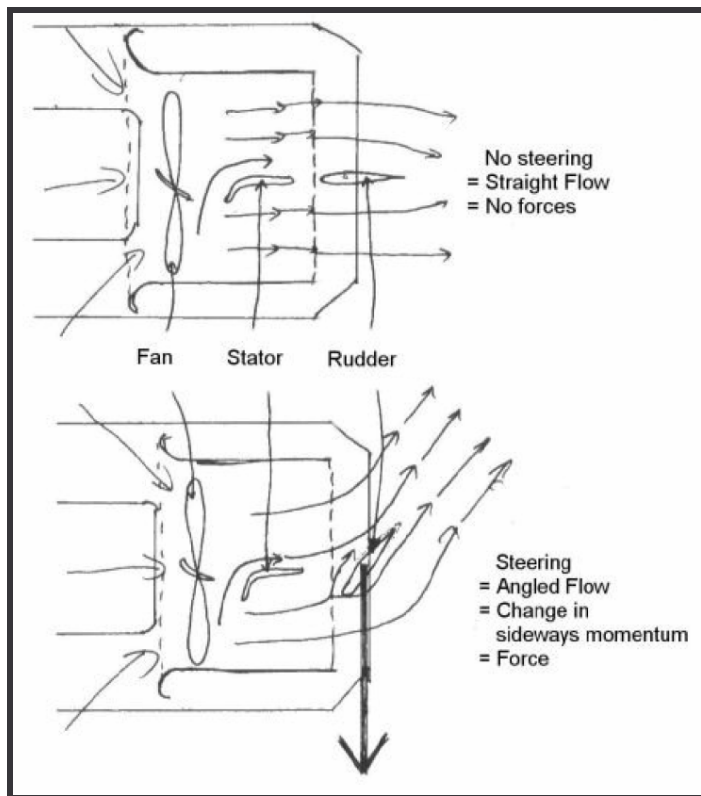
A **8.sz. ábra** egy olyan áramlásrendező lapátot mutat, amely hajlásszögeit a jegyzetben ismertetett módszerrel számítottunk ki, és egy óramutató járásával megegyező forgásirányú ventilátorhoz (Rotax rendszer) alkalmazunk. Bízunk abban, hogy a vázlat világgossá teszi az eddig leírtakat.



8.sz. ábra

Kormányzás

Kanyarodáshoz az oldalkormánylapátot használjuk. A lapát működése során a levegőt egyik irányba tolja, miközben a hajó a másik irányba mozdul el (a lapát oldalirányú impulzust ad a levegőnek, ami ezzel ellentétes irányú erőhatást vált ki). Megfelelően kialakított áramlásrendezők esetén elegendő csak egy oldalkormánylapát alkalmazása.



9.sz. ábra

Következtetések

A megfelelő áramlásrendező alkalmazása számos előnnyel jár, és egyes esetektől eltekintve, nem idéz elő kedvezőtlen jelenségeket. Minél nagyobb a lapátszög, annál kisebb az áramlásrendezőlapát hajlásszöge. A kilépő levegő kézbe tartása a hajó nagyobb teljesítményét biztosítja. További információkat találhatunk a különféle felsőfokú áramlástechnikai tankönyvekben.

A szerző által felhasznált irodalom: Mechanics of fluids, Bernard Massey
A szerző, John Bucknall e-mail címe: john@storm-hovercraft.co.uk