

4.3.2 Hajócsavar

A *hajócsavar* olyan propulziós eszköz, amely a hajó hossz tengelyével párhuzamos vagy közel párhuzamos *hajócsavar tengelyre* szerelve a hajó farrésze mögött, teljesen a víz alatt kerül beépítésre, működtetése a tengely forogatásával történik a hajótestben vagy a fedélzeten elhelyezett *propulziós főgépről*; a hajótest mozgatásához szükséges *tolóerőt* olyan módon hozza létre, hogy az aszimmetrikus profilúra kialakított *csavarszárnyak* (kettő, három, négy, öt vagy hat szárny) mindegyikén *felhajtóerő* ébred, amelyek eredője tengelyirányú és előremenetben a hajóorr felé mutató értelmű.

Működése szempontjából a hajócsavar axiális vízturbina, munkagép üzemmódban működtetve. Az előző fejezetben ismertetett különleges feltételek azonban szükségessé tették, hogy a többi hasonló vízgéptől elkülönítve, a hajócsavar tudománya külön szakterületként jelenjék meg.

4.3.2.1 Történeti áttekintés

Kezdeti törekvések

Hasonló jellegű gépelemekkel már évszázadok vagy inkább évezredek óta termeltek energiát, vagyis azokat turbina üzemmódban alkalmazták. A legismertebb ezek között a szélkerék, amelynek egyik képviselője a gabonaörlésre használt szélmalom.

A *spirális* forma megalkotása a gyakorlatban Püthagorász tanítványának, Architásznak a nevéhez fűződik, aki egy henger külső felületére ferde síklapokat szerelt kb. i.e. 400-ban.

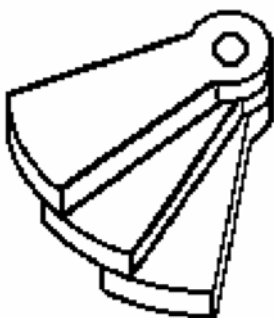
Elméleti alapot Archimédesz adott a spirálisnak, amely azóta az ő nevééről ismert, ő egyébként a gyakorlatban is alkalmazta a spirált vízkiemelésnél.

Az ősi egyiptomiak még korábban szivattyút hajtottak meg szélkerékkel, a régi rómaiaknál pedig turbinát működtettek füstgázzal.

A régi konstrukciók két eltérő megoldásból indultak ki. Ezek egyike az *archimédeszi spirális* volt, a másik az elemekből összeállított lapátszerkezet.

Robert *Hooke* (1635-1703) szélkerékkel próbálkozott hajóhajtásnál 1680-ban.

Leupold 1724-ben archimédeszi csavarral kísérletezett, de az elméleti profiltól meglehetősen eltért, mivel elemekből állította össze az eszközt.



4.3.2.1.1 ábra Elemekből összeépített spirális

David *Bernoulli* 1752-ben olyan szerkezetet készített, amely központi abroncsra szerelt lapátokkal dolgozott. A lapátok szögét (emelkedés) 60° körülire választotta.

James *Watt*, aki a gőzgép továbbfejlesztett változatát találta fel és alkalmazta is 1774-től, 1770-ben javasolta hajócsavar alkalmazását propulziós eszközként, de akkor még nem ajánlotta a gőzgép hajón való használatát.

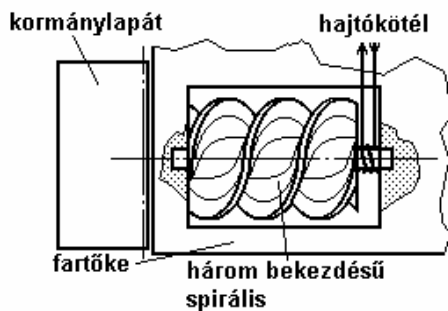
1783-ban Claude de *Jouffroy d'Abbans* márki a Saone folyón oldalsó lapátkereket szerelt *Pyroscaphe* nevű 45-méteres, 160-tonnás hajójára és sikeres próbautat hajtott végre. Az energiát gőz adta.

BBBZ kódex

Robert *Fulton*ról ismeretes, hogy ő építette az első gőzhajót, amelynél oldalsó *lapátkerekeket* használt. Azt azonban kevesen tudják, hogy majdnem 30 évvel korábban végzett kísérleteket egy négyszárnyú hajócsavarral, 1794-ben.

Ez a kettős formai tendencia mindaddig uralkodó volt, amíg az első sikeres hajócsavarok meg nem jelentek, ami az 1820-as években történt, és az út odáig sok akadályt rejtett.

1794-ben *Lyttleton* a következő ábrán látható szerkezetet hozta létre.



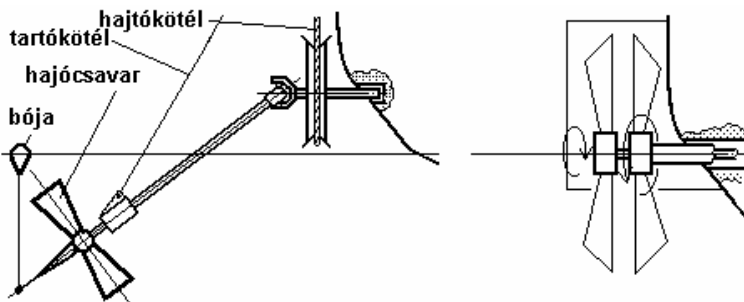
4.3.2.1.2 ábra Lyttleton hajócsavarja

További próbálkozás volt 1800-ban szélkerékkel, amely *Edward Shorter* nevéhez fűződik. A fartőkében megcsapágyazott tengely másik vége kardáncsuklóval csatlakozott a szélkereket hordozó csavartengelyhez, amelynek szabadon elmozduló végét függesztő kötéllel tartott

csapágyperselyen vezették át. A vízszintessel szöget bezáró tengely végére volt felszerelve a csavar, legvégére bóját akasztottak. Meghajtását egy függőleges tengelyű *csörlőn (járgány)* és a fartőkében megcsapágyazott tengelyre szerelt kötél tárcsán átmenő kötél szolgáltatta, a csörlőt 8 ember forgatta. A *Dragon* nevű hajó 1,5 csomót tudott elérni ezzel a propulzióval.

1825-ben *Perkins* próbálkozott kontracsavarral, ő már a hajótesten vezette át a tengelyt, de a két csavarnak csak egy része merült vízbe.

Ezt a két megoldást mutatja a következő ábra.



4.3.2.1.3 ábra Shorter és Perkins hajócsavar próbálkozásai

1829-ben *William Church* saját kontracsavarját szabadalmaztatta. Ironikus, hogy a szerkezet *Morgankerék* néven vált ismertté.

A hajócsavar kifejlesztése

Ezek a korai próbálkozások, bár a mai megoldásokba szinte mindegyikből került be valami belőlük, nem értek el nagy sikereket.

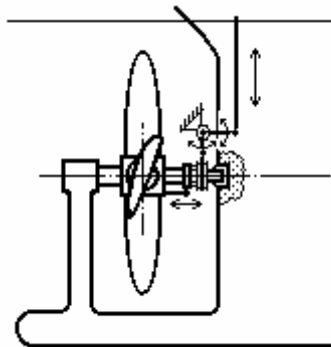
A hajócsavar megteremtői közül két ember, egy angol és egy amerikai érdemli a legnagyobb figyelmet. Az angol mérnök *F.P. Smith*, az amerikai (svéd születésű) *John Ericsson*. Természetes, hogy mindegyiknek saját hazájában egyedül tulajdonítják a hajócsavar felfedezését. *Smith* Angliában 1836-ban szabadalmaztatta saját csavarját, amelyről még szó lesz. *Ericsson* ugyanabban az évben az Egyesült Államokban kapott

4.3 Hajók propulziója

3. kiadás 2012.

4.3.2 Hajócsavar 4.3.2.1 Történeti áttekintés

szabadalmat első vázlatára, majd két évvel később a továbbfejlesztett konstrukcióra. Smith a hosszú több bekezdésű archimédeszi spirális elvét erőltette, a csavar anyaga fa volt. Megvalósításnál mindkettő tévesnek bizonyult. Még egy gyakorlati hiba volt a szabadalmi leírásban, a propulziós eszköz meghajtására kettős kúpkeresekes hajtóművet képzelt el, a függőleges tengelyt egy vízzáró aknában vezette volna le. A hajócsavar helye a hajófenék alatt a tőkesúlyban vágott négyszögletű nyílásban volt elképzelve a hajótest hosszának az orrtőkétől mért kétharmadában. Ericsson első elképzése egy ma szokásos egycsavaros tengelykivezetés volt a fartőkén keresztül, de kettős tengellyel két ellenkező forgásirányú csavart akart meghajtani, és a kormánylapátot valamilyen megoldással a csavar előtt helyezte volna el. 1838-ban kapott szabadalma egy hamisítatlan *Z-hajtást* ábrázol, amely a hajófar mögött merül a vízbe és az eredeti elképzés kontracsavarját mutatja. A hajócsavarok maguk háromküllős gyűrűk, amelyek külső peremén vannak a ferde szárnyak elhelyezve. Ericsson nem állt meg a hajócsavarnál, hanem a propulziós erőgép területén is dolgozott. Egy 1840-es szabadalma szerint a hajóközépen elhelyezett gőzgép két párhuzamos tengelyt hajt meg egy-egy (itt már egyedül működő) hajócsavarral. 1853-ban egy New York-i próbán valamilyen belsőégésű motorral hajtotta meg a hajót, amelynek hatásfoka az akkori adatok szerint tízszerese volt a szokásos gőzgépének (ez nem volt nagy diadal, mert a műszaki háttér miatt csak kisnyomású – 2,5-3 ppsi, vagyis legfeljebb 0,2 bar túlnyomás – telített rendszerrel dolgoztak).



4.3.2.1.4 ábra A Woodcraft-szabadalom vázlata az állítható emelkedésre

A mai hajócsavarforma részben a véletlennek köszönheti megszületését. Smith 1836-os szabadalma alapján 1837-ben egy 6-tonnás hajó 6-lóerős gőzgéppel próbaútra indult. Az idő kedvezőtlen volt, az archimédeszi spirális formájú hajócsavar nagyon rossznak mutatkozott. A próbaút végén az erős szél a hajót a kikötő falához

19. század közepén orrpropeller elrendezése

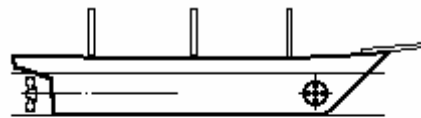
nyomta, a fából készült része letört.

Meglepetésre a hajó kitűnően lehetett vele

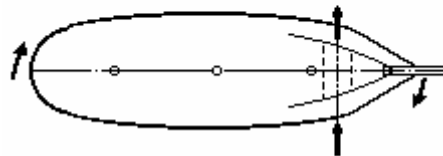
Bebizonyosodott tehát, hogy

szárnyának csak viszonylag kis felületűnek kell lennie. Ettől kezdve ezt a gyakorlatot követték.

A hajócsavarok az évek folyamán tökéletesebbek lettek, de a 19. század közepén a fő hajtóenergia a szél maradt, ezért a gőzgéppel és hajócsavarral is felszerelt vitorlás hajók



4.3.2.1.5 ábra A alkalmazott



hajócsavar nagy megtámaszkodott, és mozogni. a hajócsavar

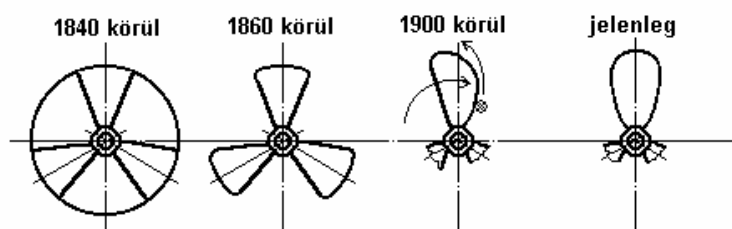
esetében a hajócsavarokat változtatható emelkedésűre kellett készíteni, hogy a különböző sebesség-értékeknél egyformán optimálisak lehessenek. Ezt csak *állítható csavarszárnyak* esetén lehetett megvalósítani.

Az első szabadalmat az állítható emelkedésű hajócsavarokra *Woodcroft* jegyeztette be. Konstrukciója a 4.3.2.1.4 ábra szerinti megoldás volt.

A hajócsavar a vitorlás hajók korában nemcsak propulzióként, hanem *orrpropellerként*, vagyis a hajó kormányzását megkönnyítő szerkezetként is megjelent. A hajótest orr részén a hossz tengelyre merőleges helyzetben szerelték fel, ez a megoldás a mai napig elfogadott, főként a nagy vízkiszorítású, viszonylag kis sebességű tankhajóknál. Az orrpropellerre az első szabadalmat 1850-ben jegyezték be.

Hajócsavar-formák

A hajócsavarok alakját az alkotói fantázia igen változatosra formálta. A legtöbbször mégis a célszerűség dolgozott a hajóépítő mesterben, 1840 körül például a hajócsavarok anyagának gyengesége és más tényezők miatt a zárt gyűrűvel merevített háromszárnyú csavarok voltak elfogadottak. Az öntött csavarok szilárdsága kielégítővé vált az öntési technológia fejlődésével, ami már egy tetszetősebb, a gépészetben tért hódító egyszerűszilárdsági elvnek jobban megfelelő alakot hozott létre. Ez a fázis az 1860-as években következett be. A hajócsavarok gyártói még mindig többnyire a háromszárnyú változatot követték, amelynek tengelyirányú nézete lekerekített szárnyvégű, de egyébként egy mai *Kort-gyűrűs* csavaréra emlékeztető volt. A fejlődés további iránya az *aszimmetrikus* (ívelt) *szárny-kialakítás* felé mutatott, mert a vitorlás korszakban még sok kötéllel dolgoztak, amelyek a vízbe jutva belegabalyodtak a forgó hajócsavar szárnyaiba, és megbénították a hajót. A hátrafelé ívelt szárny belépő-éléről a kötél le tudott gördülni, és saját magát szabadította ki (előremenetben!). Ez még nevet is kapott, megalkotójáról, *Thornycroft*ról.



4.3.2.1.6 ábra A hajócsavar alakjának alakulása fejlődése során

A kötelek mennyisége, amit a hajón használnak, mára jelentősen lecsökkent, így a mai

hajócsavarok ismét a szimmetrikus szárnyformát hordozzák, kivéve, ha lengéstani okból van szükség ívelt szárnyra. Ez az alak azonban már a közel nyolcvan éve elvégzett első *modellkísérletekből* származik, és az azóta elvégzett változtatások a szemlélő számára nem döntőek.

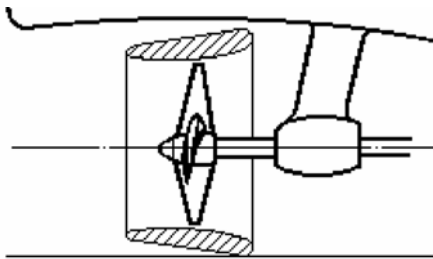
A jelen hajócsavarja

Gyűrűben dolgozó hajócsavarok. A 20. század harmincas évei a belvízi hajózás fellendülését hozták, ekkor kezdett a folyami vontatóhajózás a gőzösökről a dízelmotoros géphajókra áttérni. A kis vízmélység miatt korlátozott hajócsavar-átmérőhöz olyan megoldást kellett találni, amely az optimális üzemállapothoz

közelítette a kisebb hajócsavart (ld. 4.3.1 fejezet, tolóerő-tényező). Ezt a folyamatot segítette elő a német hatóságok rendelete, amellyel a hajótulajdonosokat kötelezték a hajócsavaron elhelyezett védőcső alkalmazására a szűk belvízi csatornák kimosódásának megakadályozása érdekében. 1930-ban *Ludwig Kort*, egy hannoveri repülőmérnök amerikai szabadalomért folyamodott ebben a témában. 1934-ben szabadalmaztatta a hidrodinamikailag megalapozott profillal készülő gyűrűt, amely a hajócsavar helyén jobb áramlási viszonyokat teremt, ezzel megnövekszik a propulziós hatásfok, ugyanolyan teljesítményű főgéppel nagyobb tolóerőt lehet adott vontatási sebességnél elérni, ami nagyobb vonta továbbítását teszi lehetővé. További előnye a Kort-gyűrűnek, hogy a korlátozott vízmélységnél védi a hajócsavart magát a fizikai hatásoktól.

A KORT-GYŰRŰ FOGALMA. A hajócsavart körülvevő gyűrű alkalmazása egyidejű a hajócsavar alkalmazásával. Részben a csavar védelme, részben az áramlási viszonyok rendezése érdekében alkalmazták. Kort szabadalmi bejelentésében sem újszerű megoldásként szerepel, hanem csupán a gyűrű célszerű kialakítására vonatkozó eljárást kívánta szabadalmaztatni. Ennek ellenére a csavart körülvevő gyűrűt igen sokan *Kort-gyűrű* néven ismerik.

Működésének elve a 4.3.2.1.7 és 4.3.2.1.8 ábrából látható.



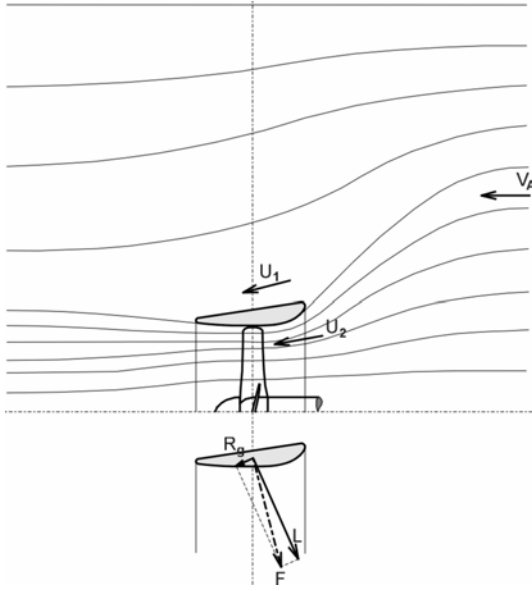
4.3.2.1.7 ábra Kort-gyűrűben dolgozó hajócsavar szokásos beépítése

A gyűrűben jelentkező tengelyirányú sebesség a csavar működése következtében általában többszöröse a propeller haladási sebességének. A szabadon elhelyezett hajócsavar áramlási viszonyaihoz képest az alábbi két lényeges

változást tapasztaljuk.

1. A gyűrűben levő hajócsavar rendezett, a csavar környezetében csaknem teljesen tisztán tengelyirányú sebességmezőben dolgozik.
2. Az áramlási képből láthatóan a gyűrű külső részén a helyi sebesség (U_1) lényegesen kisebb a belső részén kialakuló helyi sebességnél (U_2). Így a gyűrűn felhajtóerő keletkezik, amely az eredő megfűvási irányra merőleges (a 4.3.2.1.8 ábrán L -el jelölt erő). A 4.3.2.1.9 ábrán egy Kort-gyűrű fala mentén mérésrel meghatározott nyomásértékek változását látjuk. A függőleges tengelyen a mért nyomás (p) és a helyi sztatikus nyomás (p_0) különbségének a torló-nyomáshoz viszonyított értéke van felmérve. A gyűrű külső és belső falánál jelentkező nyomások különbségének eredője a felhajtóerő. A felhajtóerő és a *gyűrűprofil ellenállásának* (R_g) eredőjét (F) a 4.3.2.1.8 számú ábrából láthatóan felbonthatjuk két komponensre, a tengelyre merőlegesen befelé és a haladás irányába mutató (tengelyirányú) összetevőre. Ezek az összetevők az áttekinthetőség érdekében az ábrán nem szerepelnek. Így a gyűrű mentén körben fellépő erők egyrészt a gyűrűt zsugorítani akarják, másrészt a tengelyirányú összetevők tolóerőt adnak.

A gyűrű és a benne elhelyezett hajócsavar együttesen alkotják a propulziós eszközt. A gyűrűben a hajócsavar felgyorsítja a propulziós eszközhöz V_A (hajócsavar haladási) sebességgel érkező vizet. Így az áramvonalak az ábrában rajzolt módon alakulnak ki.



4.3.2.1.8 ábra Kort-gyűrűs hajócsavarnál a gyűrűn ébredő erők

A megfelelően kialakított Kort-gyűrűnél a gyűrűn keletkező tolóerő jelentős lehet, értéke a gyűrű mentén kialakuló helyi sebességektől (U_1 és U_2) függően a hajócsavaron ébredő tolóerőnek a 30-50%-át is kiteheti. Mivel a gyűrű belsejében kialakuló tengelyirányú sebességek a helyesen megtervezett csavarnál az egyes szárnymetszetek emelkedési szögével, valamint kerületi sebességével kifejezhetők, a gyűrűn kívül kialakuló sebesség pedig a V_A hajócsavar-haladási sebességtől nagymértékben függ, a gyűrűn ébredő tolóerő nagysága lényegében a

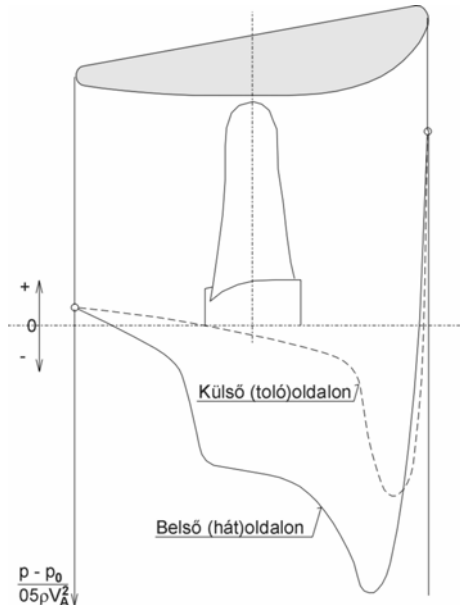
$$J = V_A/nD$$

sebességtényezővel változik. Ezt látni fogjuk a *hajócsavar modellkísérletek* ismertetésénél. Kis sebességtényezőnél (ahol kicsi a sebesség, ezzel szemben nagy az átmérő vagy a fordulatszám) a gyűrű tolóereje nagyobb, nagy sebességtényezőknél viszont kisebb. A jelenleg szokásos gyűrűalakoknál az említett kísérletsorozat szerint a gyűrű tolóerő-tényezője a $V_A = 0$ értéknél maximális, növekvő sebességtényezőknél csökken, és a sebességtényező 0,5-0,7 értéke felett már negatívvá is válhat, azaz csökkenti a hajócsavar tolóerejét.

A KORT-GYŰRŰ ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI. Mindezek alapján a Kort-gyűrűs hajócsavar az alábbi előnyös tulajdonságokkal rendelkezik a gyűrű nélküli hajócsavarhoz viszonyítva.

- A gyűrű a hajócsavart védi a felütések esetén bekövetkező sérülések ellen.
- A gyűrűben elhelyezett hajócsavar rendezettebb áramlást kap, így kavitációs viszonyai pontosabban számíthatók, ezáltal a tervezés során jobban megközelíthetjük az elérhető legjobb hatásfok értéket.
- A csavaron áthaladó víz axiális sebessége nagyobb, így az optimális átmérő lényegesen kisebb lehet, mint a szabadon elhelyezett hajócsavaré. Természetesen a hajócsavart körülvevő gyűrűnek is van helyszükséglete, így a teljes helyszükséglet nem mindig kisebb lényegesen, mint szabad hajócsavarok alkalmazása esetén.
- A nagyobb tengelyirányú sebességek miatt a hajócsavar optimális fordulatszáma

nagyobb lehet, mint a szabadon elhelyezett hajócsavaré. Ez a nagyobb fordulatszám lehetővé teszi a nagyobb fordulatszámú könnyebb főgépek alkalmazását, illetve sok esetben szükségtelenné teszi fordulatszám-csökkentő hajtómű beépítését. Emellett a nagyobb fordulatszám miatt azonos tengelyteljesítmény esetén a tengelyen átvitt nyomaték kisebb, tehát a tengelyrendszer alkatrészei kisebb méretűek lehetnek.



4.3.2.1.9 ábra Nyomáseloszlás a gyűrű hossza mentén

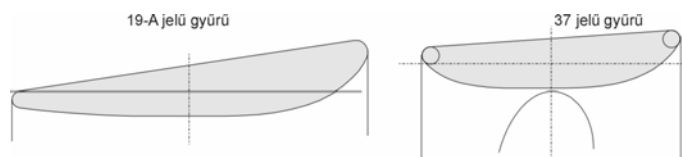
- e) Vontatóhajók propulziós eszközeként alkalmazva, igen előnyös az a tulajdonsága, hogy a hajócsavar fordulatszáma különböző hajóhaladási sebességeknél alig változik. Ez a Kort-gyűrűs hajócsavarok nyíltvízi mérési eredményei alapján abból is látható, hogy a sebességtényező vontatóknál előforduló kis értékeinél a csavar nyomatéktényezője (K_Q) csak kevésbé változik. Így a főgép teljes töltésű üzeme esetén a tervezési sebességtől eltérő sebességeknél kevésbé csökken a motor leadott teljesítménye a névleges teljesítményhez képest, mint a gyűrű nélküli hajócsavaroknál.
- f) A hajócsavart körülvevő gyűrű a csavarszárny megfelelő alakja (*K-típusú csavar*) esetén megakadályozza a szárnyvégek körüli nyomás-kiegyenlítődést, így a csavarszárny mentén sugárirányban haladva, a *tolóerő eloszlása* egyenletesebb, ami jobb hatásfokot biztosít.
- g) A gyűrűn keletkező tolóerő tehermentesíti a hajócsavart. A szárnyak a kisebb erőhatások miatt vékonyabbak lehetnek, ezáltal a kavitáció elkerülésére rövidebb szárnymetszet (kisebb nyújtott felületviszonyú csavar) elegendő. Ez lényegesen csökkentheti a szárnymetszeteken fellépő ellenállásokat, ami a csavar felvett nyomatékát csökkenti, a tolóerőt pedig növeli. Így azonos tolóerő-kifejtés esetén a Kort-gyűrűs hajócsavar jobb hatásfokú lehet, mint a szabad hajócsavar.
- h) A Kort-gyűrűt csapágyazott kormánytengelyre szerelve függőlegesen tengely körül elfordíthatóvá tehetjük, így *aktív kormányként* is használható. A *Kort-kormány* igen hatásos aktív kormány. Lényegesen nagyobb kormányerőket ad, mint a közönséges kormánymegoldások. A legnagyobb kormányerő már 18-22° értékű elfordulásnál fellép, így nem szükséges a szokásos kormánylapátoknál biztosítandó 30-35° elfordítási lehetőség, sőt, nagyobb szögkitérések esetén egyre csökkenő kormányerőt kapnánk.

Ugyanakkor a gyűrű nélküli hajócsavarhoz képest bizonyos hátrányai is vannak.

- i) Hátramenetben a Kort-gyűrűs hajócsavar kisebb tolóerőt fejt ki. Ennek oka az, hogy amíg előremenetben megfelelő méretezés esetén a gyűrűn keletkező erő növeli a csavar tolóerejét, hátramenetben *negatív tolóerőt* ad, azaz csökkenti a hajócsavar hátramenetben egyébként is kisebb tolóerejét.
- j) Kort-kormány alkalmazásakor a kormány esetenként labilis egyensúlyi állapotú. Tehát nem a kormány kitéréséhez kell erőt kifejteni a kormánymozgató berendezésen keresztül, hanem az egyenesbe való visszatéréshez kell erőhatás. Ha magára hagynánk a Kort-kormány tengelyét, akkor a gyűrű igyekezne kifordulni valamelyik végállás felé. Ez a hátrány megfelelő terelőlapok alkalmazásával csökkenthető.
- k) Hátramenetben a Kort-kormány alkalmazásakor a kormányzás bizonytalanná válhat. Ennek oka az, hogy a gyűrű hátsó végének keresztmetszete kisebb a mellsőnél, ezért diffúziós jelenség lép fel. Az erős diffúzorban pedig könnyen bekövetkezik az áramlás leválása. Ezek a leválások nem egyenletesen oszlanak el a gyűrű kerületén, hanem váltakozóan egy-egy kisebb kerületrészen lépnek fel. Így időben szakaszosan fellépő oldalirányú erőhatásokat is adhatnak, amelyek a kormányzás erőhatásával ellentétesek lehetnek és ronthatják a kormányhatást. A hátrameneti leválások elkerülésére különleges gyűrűkiképzéseket próbáltak alkalmazni, ezek azonban természetesen a hátramenet javítása mellett az előremeneti előnyöket csökkentik.

A Kort-gyűrűket eleinte elsősorban csak aránylag nagyterhelésű hajócsavaroknál alkalmazták, így különösen a kis merülésű, nagy tengelyteljesítményű folyami vontatóhajóknál terjedt el. Alkalmazása azonban más területeken is előnyös lehet. Így például egy hazai gyártású tengeri vontatóhajó állópróbájánál 150 N/LE fajlagos kötélhúzóerőt is elértek, ami az adott motorteljesítmény és fordulatszám esetében kiemelkedő érték, amelyet szabad csavarral nem lehetett volna biztosítani.

A Kort-gyűrűnek két változatát használják manapság. A *19-A típus* egyenes alkotójú csonka-kúpos külső palástarttal rendelkezik (toló-oldal), rövid hengeres szakasza van a gyűrű középső szakaszán a belső felületen (hátoldal), a profil belépő-éle lekerekített, és viszonylag nagy görbülettel csatlakozik a hengeres részhez. a kilépő-él rádiusza kisebb, de a profil csak kisebb görbületű és így a gyűrű kilépő-keresztmetszete alig nagyobb a hengeres gyorsító szakasznál. Ezt a gyűrűt olyankor alkalmazzák, amikor nagy tolóerőre van szükség előremenetben, de ritkán használják hátramenetben, mivel akkor az előremeneti tolóerőnek csak legfeljebb 60%-át hozza létre. Fő alkalmazási területe a vontatók, különleges szervizhajók és a vonóhálóval dolgozó halászhajók (trawlerek) propulziója. Sebességhatára a 10 csomót nem haladja meg (18,53 km/h).



4.3.2.1.10 ábra A 19-A és a 37 jelű Kort gyűrűk a MARIN intézettől

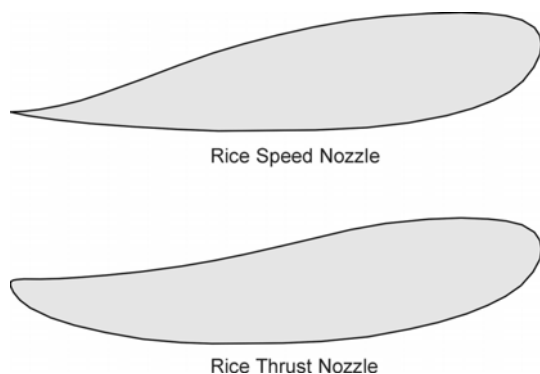
A *37 típus* toló-oldalának ferdesége kisebb, a gyűrű külső kúpfelülete majdnem hengeres. Mind a be-, mind a kilépő-él rádiusza nagy, a hátoldal profilja elől-hátul nagy görbületű és a profil majdnem szimmetrikus. Célszerűen ott használható, ahol gyakorta

kell hátramenetben üzemeltetni a hajócsavart, kisebb a különbség az előremeneti és hátrameneti tolóerő között. Sebességhatára a 19-A gyűrűével azonos.

A legutóbbi időben a Rice, egy Mexikóban bejegyzett amerikai cég, amely közel száz éve gyárt gyűrűs hajócsavarokat kisebb halászhajók számára, kifejlesztett egy új gyűrűprofil, és szabadalmaztatta. A gyűrű a cég neve után *Rice Speed Nozzle* (sebességi gyűrű), mert 15 csomó felett sem romlik a hatásfoka jelentősen. A gyűrű profilja jobban kielégíti az áramlástechnikai elveket, a profilt olyan repülőgép szárnymetszetek közül választották ki, amelyek felhajtóerő/ellenállás viszonya a legkedvezőbb volt, ezért a Rice-gyűrű nagyobb arányban vesz részt a tolóerő létrehozásában, mint a Kort profil. A gyűrű belépő szakasza sokkal nagyobb keresztmetszetű a kilépőnél, ezért a vízszög gyorsítása erőteljesebb. A toló-oldal nem egyenes, a kilépő-él pedig nem rádiuszos, hanem a profil csúcsban végződik. A Rice-gyűrűt a Kort-gyűrűvel mérésorozattal hasonlították össze. Ennek egyik lényeges tanulsága volt a gyűrű ellenállásának kedvező értéke: az ellenállás-tényező értéke

Rice profilnál $C_d = 0,01$ Kort-profilnál $C_d = 0,17$

A különbség oka a gyűrűn keletkező nagyobb járulékos tolóerő, amely közvetlenül a hajótestre adódik át.



4.3.2.1.11 ábra Rice gyűrűprofilok

A jelenlegi hajócsavarok néhány olyan tudósok vagy gyakorlati szakembernek köszönhetőek, akik közül a legkésőbbi is a 20. század elején tevékenykedett.

William Froude 1878-ban dolgozta ki a hajócsavarok tervezéséhez alapvetően szükséges szárnymetszet-elméletet. A szárnymetszetre ható erőkről és a profil

egyéb paramétereiről a tervezés ismertetése során fogunk többet beszélni.

A hajócsavarok tervezésében és gyártásában bekövetkezett fejlődés legfontosabb tényezőjeként a modellekkel végzett mérésorozatok értékelhetőek. A modellkísérleti mérések során a mért adatokból diagramokat rajzoltak, és ezek alapján az egyes feladatokhoz kiválaszthatók az optimális paraméterek. A modellkísérletekről a 4.3.2.3 Modellkísérletek fejezetben számolunk be.

A hajócsavarok hatásfokának elméletileg lehetséges maximuma a legutóbbi évtizedek során kifejlesztett és tökéletesített számítási módszerrel érhető el, ezt az eljárást nevezzük *örvényelmélet* szerinti hajócsavar tervezésnek. A tervezést a modellkísérleti diagramokból kiválasztott paraméterek alapján végezhetjük el, ezt a számítást a 4.3.2.4 Hajócsavar tervezés fejezet tartalmazza.