

2.4.2 Főgép-teljesítmény meghatározása

A hajó alapvető funkcióját a *főüzemi berendezés* biztosítja, mégpedig azt, hogy képes legyen személyeket, árukat vagy egyéb berendezéseket és felszereléseket (pl. hadihajók esetében fegyverzetet) szállítani, vagy olyan járműveket vontatni, amelyek az említett feladatot látják el vagy amelyeket egy kijelölt helyre el kell juttatni, illetve olyan eszközöket, amelyek géperővel nem rendelkeznek, mint a halászhálók, saját géperejükkel ebben segíteni (*tengeri vontatók, halászhajók*), esetleg más járműveket *kikötési, dokkolási* vagy egyéb *helyzetben* a kívánt helyzetbe hozni (*kikötői vontatók*). A főüzemi berendezés központi elemét a *főgépek* képezik, amelyek azonban szoros kölcsönhatásban vannak két másik területtel:

- egyik a *hajó főméretei*, amelyekhez a hajó feladatának meghatározása alapján a hajótervező hosszadalmas elemző munka segítségével jut el a hajó hidrosztatikai, ellenállási, szilárdsági és hullámos vízen való mozgási jellemzőinek kiválasztása során,
- a másik a *propulziós berendezés*, amely az előző pontban említett jellemzők és a rendelkezésre álló főüzemi berendezések függvénye.

Már a második pontból is következik, hogy az említett két terület és a főüzem egymással szoros összefüggésben van, nemcsak a másik kettő hat a főüzemi jellemzőkre, hanem a főgép és ahhoz tartozó berendezések paraméterei is számos esetben változtatásokat kívánnak meg a másik két területen.

A 4.2.1.1 fejezetben a szóba jöhető főgép-típusokat ismertetjük, az ott említett statisztikai adatok mutatják, hogy a nagy teljesítményű *dízelmotorok* méreteinek állandó növekedése miatt (jelenleg 100.000 LE felett van a műszaki lehetőségek határa) a nagyobb hajók főüzemét is ma már lehetséges ezzel a géptípussal megvalósítani, ahol korábban kizárólag a *gőzturbina* volt az egyetlen lehetőség, ma már több dízelmotor hatásfokban, helyigényben és zajszintben kedvezőbbnek mutatkozik, tehát a dízelmotorok aránya tovább emelkedik.

2.4.2.1 A működésmód és üzemanyag kiválasztása

A főüzemi berendezés *működési módjának* és ezzel az *üzemanyag típusának* kijelölésénél a hajó méretét, a leggyakrabban igénybe vett hajózási útvonalakat és számos más tényezőt kell számításba venni.

A hajó mérete azért a legfontosabb, mert a tervezés legelső fázisától kezdve, amikor a hajótervező az elképzelést rajzba önti, majd azok alapján számításokat végez, ismernie kell azokat a korrelációs kapcsolatokat, amelyek a méret és a főüzemi berendezés típusa között fennállnak. Az első *ellenállásbecslésektől* egészen a *modellkísérleti eredményekig* a hajó méretei bizonyos intervallumon belül jelölik ki a főgép teljesítményét, amely ugyan a szükségessé váló esetleges módosítások miatt változhat bizonyos mértékben, de nagyságrendileg nem. A főgépként alkalmazható gépek leginkább *teljesítmény, üzemi fordulatszám* és a *rendelkezésre álló hely* miatt csoportosíthatók.

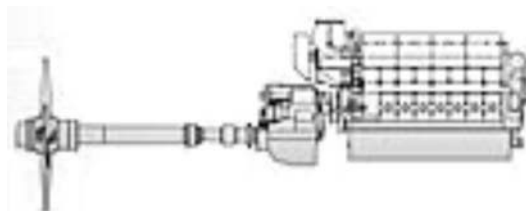
BBBZ-kódex

A kisebb hajóknál és azoknál a típusoknál, ahol a rendelkezésre álló hely nagyon korlátozott, a *magas fordulatszámú dízelmotorok* alkalmazása van leginkább elterjedve.



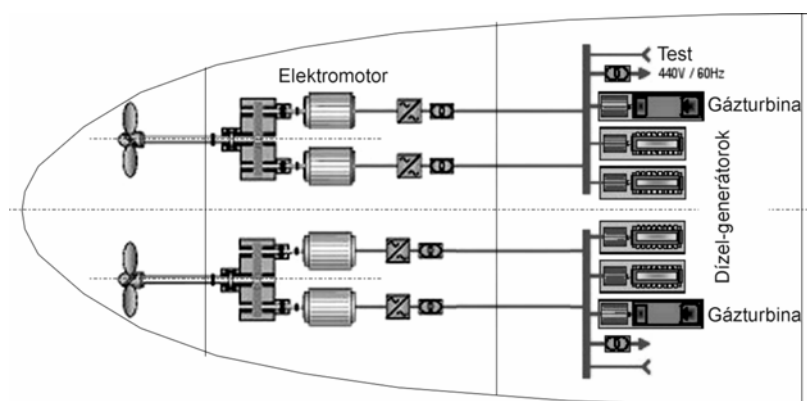
2.4.2.1.1 ábra Propulziós főgépnek alkalmas 16-hengeres V-elrendezésű magas fordulatszámú dízelmotor

Ezek sebességtartománya 800 és 1.000 1/min körül van, általában 1.200 a felső határ. A kisebb hajóknál ezekkel a gépekkel közvetlenül hajtják meg a hajócsavart, ahol azonban a helyigény miatt fordulnak ehhez a megoldáshoz, ott a főgép és a hajócsavar közé *hajtómű* kerül, hogy a hajó egyéb méretei, pl. a farrész kialakítása és a merülés által meghatározott méretű hajócsavar fordulatszáma az optimális értéket elérhesse.



2.4.2.1.2 ábra Magas fordulatszámú dízelmotor fordulatszám-csökkentő hajtóművel

A főgép vagy főgépek és a hajócsavar vagy hajócsavarok közé *elektromos tengely* is kerülhet, ahol a dízelmotorok elektromos hálózatra kapcsolt generátorokat hajtanak meg, a hajócsavarokat pedig elektromotorok hajtják.



2.4.2.1.3 ábra Elektromos főüzem

Ez az utóbbi megoldás kompoknál és személyhajóknál gyakori, mivel azoknál a típusoknál a propulzió teljesítményigénye a segédüzemi

fogyasztáshoz képest nem annyira döntő, mint áruszállítóknál, és az elektromos főüzem lehetővé teszi *közös elektromos hálózat* alkalmazását. A magas fordulatszámú dízelmotorok teljesítményének felső határa 800-1.000 LE.

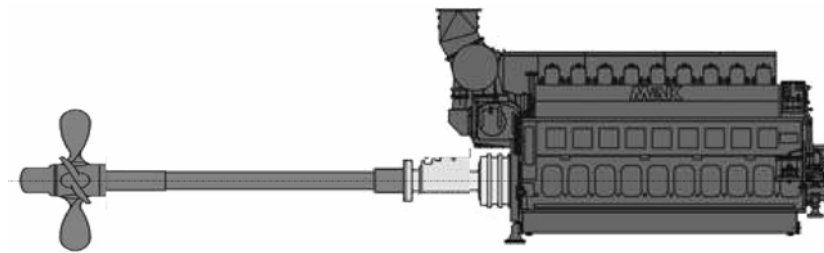
A *közepes fordulatszámú dízelmotorok* sebességtartománya 300 és 600 1/min közé esik, ebből a leggyakoribban a 300-400 1/min fordulatszámon dolgozó erőgépek, alsó határként a 200, felsőként a 650 1/min fordulatszám fordul elő. Teljesítmény

2.4 MENETTULAJDONSÁGOK

2.4.2 A FŐÜZEM ...

2.4.3 A KORMÁNY ...

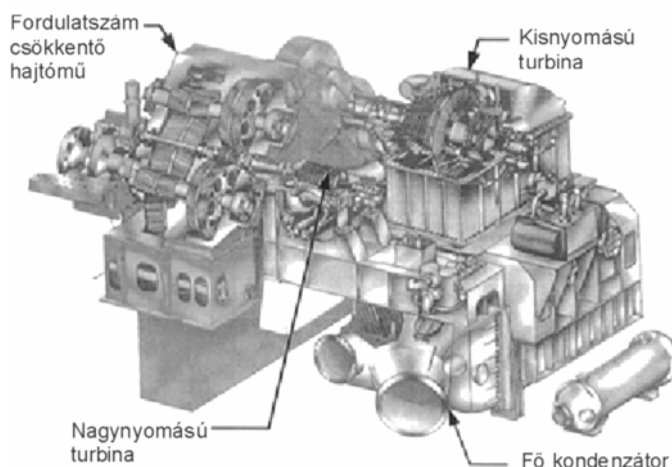
tartományuk 400 és 3.000 LE közé esik, de ez a tartomány felfelé kitolódhat a műszaki fejlődés miatt.



2.4.2.2.4 ábra
Közepes
fordulatszámú
dízelmotor állítható
szárnyú
hajócsavarral

Mind a magas, mind a közepes fordulatszámú dízelmotorok *négüttemű* elven működnek.

A dízelmotorok óriásai ezzel szemben *kétütteműek*. Ez lehetővé teszi a szelepek (legalábbis részleges) elhagyását, és a teljesítmény azonos méretek melletti jelentős emelését, ami annak közel megkétszerezését jelenti. Ezek a géporiások magukon hordozzák a *hajógőzgépek* jellegzetességeit. *Keresztfejes konstrukciójuk* is ilyen, valamint az is, hogy a gyártó műben való készre-szerelés után szétbontják őket, és a hajó gépterében ismét felépítik. A legnagyobb teljesítményű kétüttemű dízelmotorok sebessége a 90 és 120 1/min közötti tartományban van. A világ jelenleg legnagyobb ilyen gépe 94 1/min fordulatszámmal közvetlenül hajtja meg a hajócsavart, teljesítménye 130.000 LE.



2.4.2.2.5 ábra Kétlépcsős
gőzturbina főüzemhez

Azoknál a hajóknál, ahol a fenti három csoport valamelyikébe sorolható dízelmotor alkalmazás műszakilag megoldható, főleg a teljesítmény oldaláról nézve, ott majdnem biztos, hogy a dízelmotornak a termikus gépek között legmagasabb hatásfoka döntő érv lesz, és főgépként valamilyen dízelmotort választanak ki. Ez alól

természetesen lehet kivétel, fontos érv pl. a leggyakoribb (vagy kizárólagos) hajózási útvonal, és az ott legjobban elérhető üzemanyag (szénszállító hajók).

A legnagyobb hajók esetében, amilyenek a *kőolajszállító tankhajók*, érdemes megvizsgálni minden lehetőséget a főüzem típusát illetően. Ezeknél a hajóknál a propulzió oldaláról nincs korlát, akár egyetlen hajócsavarral elérhető az üzemi sebességhez szükséges tolóerő, az üzemanyag pedig a legegyszerűbb ásványolaj termék lehet abban az esetben, ha a gőzturbina mellett dönt a hajótulajdonos. Ezek a

hajóóriások általában ugyanazon az útvonalon járnak, a kitermelt kőolaj a rakományuk, a fogadóhely pedig rendszerint a kőolaj-feldolgozó telep, ahol a kőolaj-lepárlás maradéka, a *pakura* minden mennyiségben rendelkezésre áll fűtőanyagként.

Ennek ellenére a lassú-járású dízelmotorok képessége arra, hogy nehéz olajtermékeket is fel tudjanak használni, könnyen versenyképessé teheti az óriás dízeleket a gőzturbinával szemben.

A nagy hadihajók, mint a repülőgép-anyahajók, illetve a tudományos kutatóhajók főüzemét sokkal több tényező alakítja ki, azoknál például fontos az is, hogy az üzemanyag vételezés minél ritkábban kerüljön sorra. Ez egy olyan energia-hordozó változatot hoz a képbe, amely más hajótípusoknál nem jelent gyakori alternatívát, és ez a *nukleáris energia*.

2.4.2.2 A propulzió konstrukciójának meghatározása

A hajó főgépeinek energiáját a *propulziós eszközök* változtatják át tolóerővé, amely a hajótest ellenállását hivatott legyőzni, hogy a számításba vehető legkedvezőtlenebb körülmények között is a kívánt üzemi sebesség elérhető legyen.

A hajó feladata a döntő tényező annak eldöntésénél, hogy az ismert propulziós eszközök közül melyik az a változat, amely a legjobban megfelel a követelményeknek. Ha egy kisebb folyami hajónál keressük a legalkalmasabb propulziós eszközt, a földrajzi működési terület fogja azt első sorban kijelölni. A Duna középső szakaszán, ahol a folyamszabályozás hiányosságai még jelenleg is valós akadályokat állítanak a hajózással szemben, a folyam sebessége nem jelent komoly gondot, viszont számolni kell az év nagy részében a kis vízmélységgel. Ilyen helyen a legmegfelelőbb propulziós eszköz a (teljes vagy részleges) gyűrűben dolgozó több (kettő vagy három) hajócsavar, amely a navigációs képességeket is javítani tudja.

A kellően szabályozott európai folyamokon a feladatra a *vezérelt uszonyokkal dolgozó propulziós eszközök* a legmegfelelőbbek, mint pl. a *Voith-Schneider propeller*, amely szükségtelessé teszi, hogy külön kormányberendezést szereljenek fel a járműre.

Ha viszont olyan eredeti állapotban levő, de természetből jól hajózható környezetről beszélünk, mint a nagy dél-amerikai Amazonas felső szakasza, ahol a kereskedőhajók látják el a part-menti lakosságot, akkor a *vezérelt- vagy merev-lapátos lapátkerék* a legmegfelelőbb megoldás, az üzemanyag pedig az esőerdőből származó hulladék-fa segítségével előállított gőz.

A világ tengerein közlekedő átlagos méretű *áruszállító hajók* esetében a választás lehetősége leginkább abban van, hogy egy- vagy kétcsavaros megoldást lehet-e választani. A szállított áru dönti el, milyen üzemi sebességet kell elérnie a hajónak, az pedig az ellenállás-számítások alapján már utalást adhat, melyik a kedvezőbb változat. Beleszól azonban a kiválasztásba az előző pontban vizsgált szempont is, azaz milyen működési mód lesz a legkedvezőbb.

A nagyobb hajók esetében a propulziós eszközök típusának és számának kiválasztása komoly elemzési feladat. Erre sort kell keríteni már az ajánlati terv kidolgozása során, de végső döntést csak a modellkísérleti eredmények kiértékelése alapján lehet hozni. A

luxus óceánjáró személyszállító hajók gyártása és karbantartása során sokkal megvalósíthatóbb megoldás a lehető legnagyobb számú, de még kezelhető méretű hajócsavar alkalmazása, ez egyrészt az főgépek teljesítményének csökkentését is lehetővé teheti, azon kívül az üzembiztonság is sokkal jobb lehet. Ha egy 50.000 tonna vízkiszorítású hajó csak két gigantikus hajócsavarral van meghajtva, és kedvezőtlen körülmények között az egyik propulziós eszköz vagy főgép hibája azt megbénítja, az elemeknek jobban ki van szolgáltatva a hajó, mint amikor több főgép több propulziós eszközt hajt meg.

2.4.2.3 A szükséges teljesítmény kiszámítása

A fentiek alapján már elvégezhető az az elemzés, amelynek eredményeként az optimális összeállítású főüzemi berendezés kiválasztható.

Az elemzést érdemes táblázatosan elvégezni, ahol a feltételeket egyik oldalról a hajó méretei és alakja, a propulziós eszközök típusa, illetve a főgépek legkedvezőbb működésmódja diktálja (sorok), másik oldalról a hajó feladatának teljesítése közben felmerülő természeti környezet körülményei (oszlopok) határozzák meg.

Mindegyik sor és oszlop egy megoldást jelent, ezek közül a legkedvezőbbeket kell műszaki és gazdasági oldalról tovább elemezni, és amennyiben lehetséges, a legjobbat kiválasztani.

A táblázatos elemzésnél előfordulhat, hogy az abból kapott eredmény nem fogadható el gyakorlati érvek alapján. Ilyenkor érdemes a bemenő információt finomítani, hogy a kapott eredmény valóban megvalósítható legyen.

2.4.3 A kormánymű tervezése

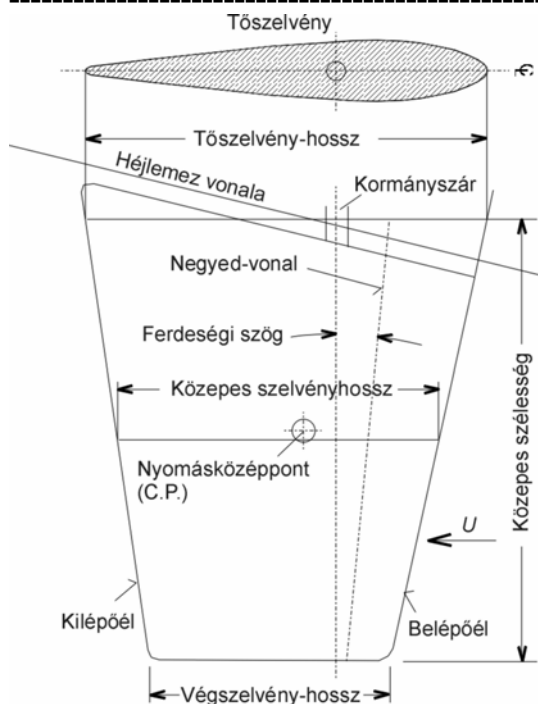
A hajó feladatához kétségtelenül elengedhetetlen a főüzem, biztonsága azonban talán még nagyobb mértékben függ attól, mennyire kielégítő a *kormányberendezés*, amellyel a hajó fel van szerelve.

A kormány teszi lehetővé, hogy a hajó a kívánt nyomvonalat kövesse, irányát változtatni tudja és bonyolult manővereket hajtson végre.

2.4.3.1 A kormánylapát konstrukciója és a hajó kormányzása

A legfontosabb és valószínűleg a legrégebbi eszköz, amellyel a hajókat irányítják, a kormányberendezés. A hajó hátsó végén elhelyezett készüléket már történelem előtti időkben is használták. Azok a régi rajzok, amelyeken hajókat láthatunk, a hajó farán kormányként működtethető kormányvezetőket ábrázolnak.

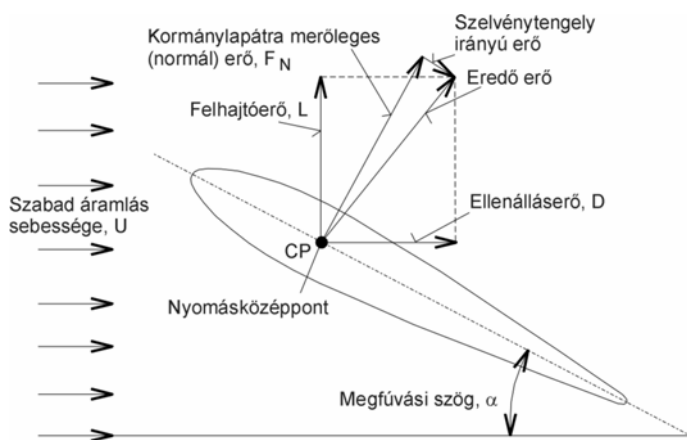
Műszaki értelemben a *kormányiszervek*, mint hatékony irányítóeszközök, hatalmas fejlődésen mentek át azóta, azonban alapvető jellemzőik és használatuk terén kevés változás tapasztalható.



2.4.3.1.1.1 ábra A kormánylapát jellemzői

A kormányoszár alapvető konstrukciójának változása a történelem folyamán három alkalommal következett be. Az első ilyen változás a 13. század környékén zajlott le, amikor a hosszú és nehéz *kormányvezetőt*, amelyet a far közelében csuklósan függesztettek fel (valójában ez az eszköz annyira hatékony volt, hogy a hajósok majdnem ötezer évig szinte semmit sem változtattak rajta) a hajó hossz-szimmetriájában a fartökre sarokpánttal felerősített lemezszerű berendezés váltotta fel. A *kormánytengelyt* a hajót testen nem vezették át a vízvonal alatt egészen a vasból épült hajók korszakáig, ami a 19. század második felében köszöntött be, és csak a legújabb időkben különült el a

kormánylapát a fartökre hátsó felétől, és vált valódi különálló *vezérfelületté*. Ez alól a történelmi tendencia alól csak néhány kivétel volt. Jelenlegi alakját a *kormánylapát* csak az utóbbi évtizedekben nyerte el.



2.4.3.1.1.2 ábra Erők a kormánylapáton

Ebben a jól illeszthető formájában a kormánylapát nemcsak a nagyobb, hanem a kisebb hajókon is tulajdonképpen a konzolos far alá kinyúló uszony- vagy lapát-alakú tárgy a vízvonal alatt, általában annyira hátul elhelyezve, amennyire csak

lehetséges. A kormánylapátot a *kormányoszár* tartja, amely tömör függőleges tengely, és amely a hajóttest héjlemezén *tömítő-szelence* segítségével halad át, a függőleges és vízszintes erők felvételére *csapágyak* szolgálnak. Előtte gyakran helyeznek el *áramvonalas* kialakítású *fix vezetőfelületet*, amely a hajó szerkezetéhez van erősítve, annak részét képezi. Különálló áramvonalas *kormányoszlop* esetén ezt *kormányoszár*-nak nevezik. A fix szerkezet esetleg része lehet az *uszonynak* is (deadwood), amely a hajó hossz-szimmetriájában az alapvonal és a hajóttest között kialakított vékony függőleges szerkezet, és amelybe a hajóttest vízvonalai futnak be.

2.4 MENETTULAJDONSÁGOK

2. kiadás 2009.

2.4.2 A FŐÜZEM ...

2.4.3 A KORMÁNY ...

Mindkét esetben kettős célja van: egyrészt segít a kormánylapát súlyának és a kormányon ébredő erőnek a felvételében, másrészt a kormánylapát hidrodinamikai hatásfokát jelentősen javítja. A 2.4.3.1.1.1 ábrán egy szarv vagy uszony nélküli teljesen egészében forgatható kormánylapát látható.

2.4.3.1.1 A kormánylapát jellemző paraméterei

Amikor a hajóknál alkalmazott kormánylapátok és *hordszárnyak* (*profilok*) leírására alkalmas hidrodinamikai mennyiségeket tárgyaljuk, ugyanazokat az elnevezéseket és meghatározásokat használjuk, mint az aerodinamikában a felhajtóerő létrehozására szolgáló felületeknél (repülőgép-szárnyaknál és vezérfelületeknél).

1. *A közepes szélesség* (*b*) a vezérfelület be- és kilépő-élének közepes hossza a 2.4.3.1.1.1 ábra szerint.
2. *A közepes profilhossz* (*c*) a vezérfelület profiljainak be- és kilépő-éle közötti átlagos távolság (ld. 2.4.3.1.1.1 ábra).
3. *A kormánylapát felülete* (A_P) a vezérfelület vetített felülete, amely a közepes szélesség és közepes profilhossz szorzata.
4. *A szélesség-hosszúsági arány* (*AR*) a közepes szélesség és a közepes profilhossz hányadosa, b/c , illetve a közepes szélesség négyzete osztva a vetített felülettel b^2/A_P .
5. *A kúposági arány* a lapát alsó és felső profilhosszának hányadosa.
6. *A ferdeségi szög* a negyed-vonal (a profilok belépő-éltől mért egynegyed hosszát összekötő egyenes) hajlásszöge a hajó középvonalára (gerincvonalára) merőleges egyeneshez mérve.
7. *A közepes vastagság* (*t*) a vezérfelület tövénél és csúcsánál mért maximális profilvastagságok átlaga.
8. *A karcsúsági arány* a közepes vastagság és a közepes profilhossz hányadosa.
9. *A megfúvási szög* (α) a közepes hosszúságú profil középvonalának a *szabad áramlási iránnyal* (*U*) bezárt szöge a 2.4.3.1.1.2 ábra szerint.
10. *Felhajtóerő* (*L*) a vezérfelületen keletkező erőnek az az összetevője, amely merőleges a szabad áramlási irányra. Ennek számítási módja

$$L = C_L(1/2)(\rho v^2 A_P)$$
11. *Ellenállás* (*D*) a vezérfelületen keletkező erőnek az az összetevője, amely párhuzamos a szabad áramlási iránnyal. Ennek számítási módja

$$D = C_D(1/2)(\rho v^2 A_P)$$
12. *Normálerő* (*F*) a vezérfelületen keletkező erőnek az az összetevője, amely merőleges a hajó hossz tengelyére.
13. *A nyomásközéppont* (*C.P.*) a vezérfelületnek az a pontja, amelyben az eredő erő hat (amennyiben koncentrálnak tételezzük fel). Végtelenül hosszú vékony szimmetrikus profilok esetén a *negyed-vonalra* esik, de a valóságos profiloknál a megfúvási szöggel változik.
14. *A domborúság* egy profilnál a maximális távolságot jelenti a profil középvonala és a profil vastagságainak felezővonala között. (A domború profilú vezérfelület zéró

megfúvási szögénél is képes felhajtóerőt létrehozni, mivel aszimmetrikus az áramláshoz képest.) Mivel a kormánylapátoknak azonos hatékonysággal kell működniük mind balra, mind jobbra kifordított állapotukban, szimmetrikus profillal rendelkeznek, domborúságuk zéró.

15. *A kormány-nyomaték (Q_R) az a nyomaték, amelyet a kormányszárra vagy a kormánylapátot működtető mechanizmusra kell gyakorolni a kormánylapátra ható hidrodinamikusan erők kiegyenlítésére.*

2.4.3.1.2 A kormánylapát felülete és alakja

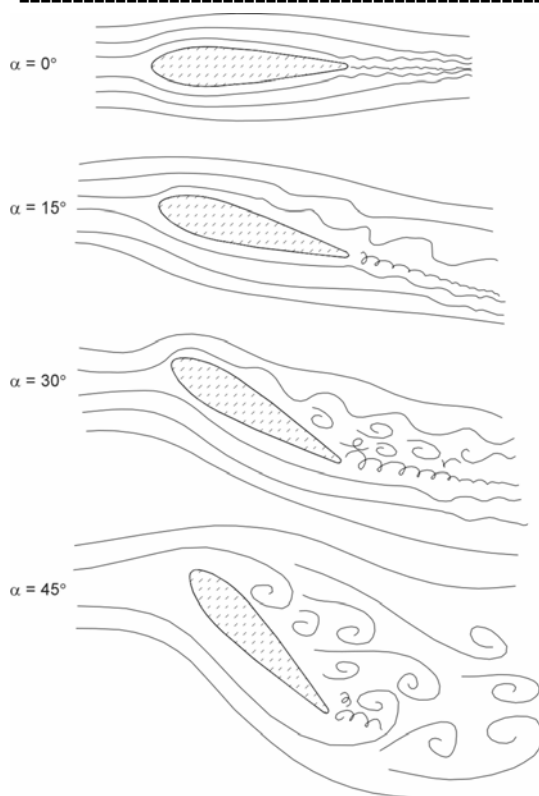
Nincs semmilyen határozott szabály arra nézve, mekkora kormánylapátot kell alkalmazni, mivel a különböző típusú hajóknál eltérő manőverező képesség a követelmény. A gyakorlatban a kormánylapát felületét a hajó vízbemerült részének a hossz-szimmetriasíkra vett vetületéhez viszonyítják (a hossz és a merülés szorzata), de kiválasztásánál gyakran egy másik hasonló hajó kormánylapát felületére támaszkodnak, amely rendelkezik a kívánt manőverező képességgel. Kisebb hadihajók esetében ez a viszonyszám általában 2,5%, áruszállító hajóknál elegendő 1,7%.

Az osztályozó intézetek előírásai természetesen tartalmazzák ajánlásokat a kormánylapát felületéhez. Például a norvég intézet, a Det norske Veritas előírásainak 1972-es kiadásában a következő képletet adta meg olyan *kormánylapát minimális felületére*, amely közvetlenül a hajócsavar mögött van elhelyezve:

$$A_p = (LT/100)(1+25(B/L)^2)$$

ahol L , B , és T a hajó hosszát, szélességét és merülését jelenti.

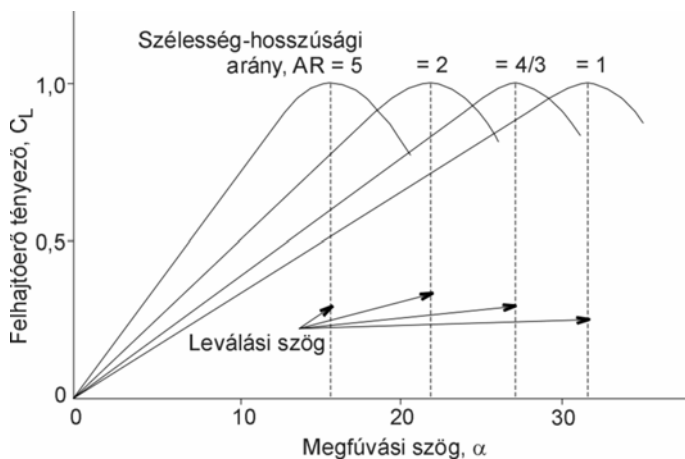
A kormánylapátok felületét modellkísérletek alapján is meg lehet határozni (ld. később). Vezérfelületek esetében a legfontosabb alakparaméter a *szélesség-hosszúsági hányados* a kormánylapát mozgatható részének közepes szélessége (valójában magassága) és közepes hossza között. A nagyon nagy hányadosú vezérfelületek körül kialakuló áramlás majdnem kétdimenziósnak tekinthető (párhuzamos síkokban azonos) a felület legnagyobb részén. A nagy szélesség-hosszúsági arányú vezérfelületeknél a hátoldal és a toló-oldal közötti nyomáskülönbség miatt keletkező *szárnyvég-örvénylés* hatásai (hasonlóan a hajócsavarok szárnyvégénél kialakuló kavitációs jelenséghez) kizárólag a vezérlőfelület külső részére korlátozódnak, a kisebb hányadosú vezérlőfelületeknek azonban nagyobb részét befolyásolják. A határterületen kialakuló örvény hatására a megfúvási szög látszólag csökken, ugyanakkor *indukált ellenállás* keletkezik a profilokon, amelyet a felhajtóerő okoz. Ez csökkenti a felhajtóerő és az ellenállás arányát az adott megfúvási szögénél, tehát a legjobb felhajtóerő-ellenállás viszonyszámok a nagy szélesség-hossz arányú vezérfelületeknél érhető el. (Ez az oka, hogy a siklórepülők a madarak szárnyához hasonlóan nagy szélesség-hossz hányadossal rendelkeznek.)



2.4.3.1.2.1 ábra Leválás

A dolognak van egy másik oldala is. Bár a nagy szélesség-hossz arányú vezérfelületek adott megfúvási szögnél (*kormánykitérítésnél*) jobb felhajtóerő-ellenállás arányt mutatnak fel, ugyanakkor a hátoldalon az *áramlás leválása* nagyobb mértékben jelentkezik náluk kisebb kitérítési szögeknél, mint a kisebb hányadosú vezérfelületeknél. Amikor a vezérfelület leválást mutat („buborékol”), a felhajtóerő hirtelen csökken, az ellenállás pedig megnő, ami csökkenti a kormánylapát hatékonyságát (ld. 2.4.3.1.2.1 és 2.4.3.1.2.2 ábra). A legtöbb hajónál a kormánylapátot 35°-ban ki lehet téríteni bal- és jobboldalra egyaránt, a szélesség-hossz arányuk pedig kisebb, mint 2. A hányados csak egyes vitorlás jachtoknál nagyobb ennél, mert ott a tőkesúly miatt a kormány sérülése zátonyra futásnál kevésbé

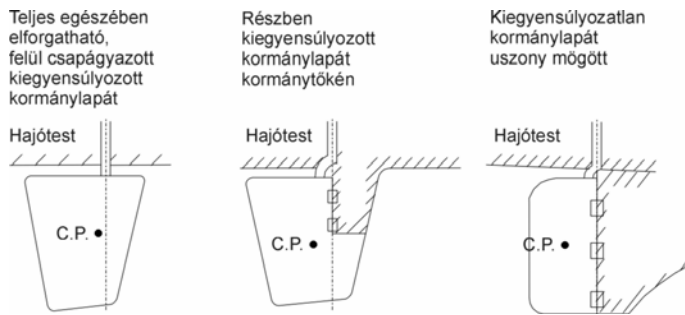
valószínű, azonban a hajók többségénél ez a veszély arra ösztönzi a hajótervezőt, hogy csökkentse a hányadost, hogy a kormánylapát védve legyen.



2.4.3.1.2.2 ábra A szélesség-hossz arány hatása a leválásra

A hatásos szélesség-hossz arány úgy is növelhető, ha a kormánylapátot minél közelebb helyezük el a hajótesthez. Azoknál a hajóknál, amelyek főbordáján a fenék ferdesége kisebb, ha ez a hézag a héj és a kormánylapát között eléggé kicsi, az erős szárnyvég-örvény kialakulás kevésbé valószínű

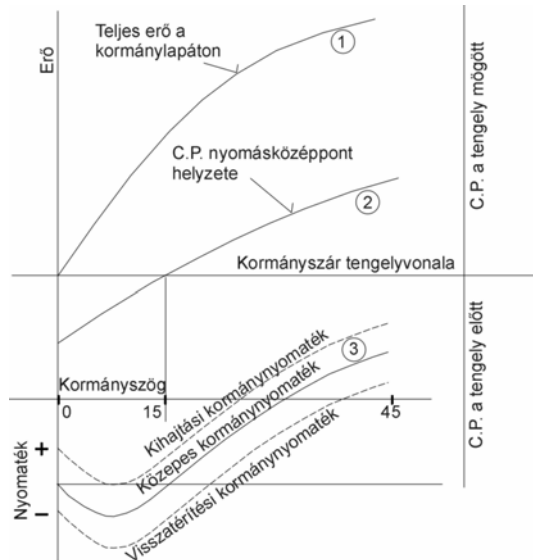
(hasonlóan, mint a gyűrűs hajócsavaroknál). Ez tehát növeli a látszólagos megfúvási szöget a kormánylapát-tónél, és a felhajtóerő-ellenállás hányados jobb lesz, mintha nagyobb szélesség-hossz arányú lenne a vezérfelület. Viszont, amint említettük, nő a leválás lehetősége kisebb kitérítési szögeknél. A kormánylapát műszakilag két részre osztható: a lapos részre vagy lapátra, amelyen a víznyomás erőket hoz létre, valamint a tengelyre vagy szárra, amely a mozgást közvetíti a kormánygéptől a lapáthoz.



2.4.3.1.2.3 ábra Kormánylapát megoldások

A kormánylapátok három típusra oszthatók, kiegyensúlyozatlanokra, félig kiegyensúlyozottakra és kiegyensúlyozottakra, amint a 2.4.3.1.2.3 ábra mutatja. A

kiegyensúlyozatlan kormánylapát teljes felülete a szár mögé esik. A *kiegyensúlyozott lapátnál* a nyomásközpont a kormány szár tengelyvonalára esik, tehát a lapátnak a tengely előtti és mögötti részén keletkező erők ki vannak egyensúlyozva. A *félig kiegyensúlyozott kormánylapátnál* a szár tengelyvonala előtti rész nem teljes magasságú, ezért az ilyen kormánylapát felső részét kiegyensúlyozatlanként kell kezelni, az alsót viszont kiegyensúlyozottként.



2.4.3.1.2.4 ábra Erőviszonyok a kormánylapát kitérésének függvényében

A kormánytengely előtt elhelyezkedő felületrész csökkenti a kitéréshez szükséges nyomatékot. A nyomásközpont a kormánylapát kitérés szögének növelésével a kilépő-él felé vándorol, így nincs lehetőség arra, hogy minden kormánykitérés szögnél egybeessen a kormánytengely a nyomásközponttal. A kiegyensúlyozott kormánylapátok tervezésénél arra törekszenek, hogy 15°-os kitérésnél legyenek kiegyensúlyozottak (azaz essen egybe a nyomásközpont a

kormány szár tengelyvonalával).

A 2.4.3.1.2.4 ábra azt illusztrálja, hogyan alakul egy kiegyensúlyozott kormánylapátnál az erő, a nyomásközpont helye és a nyomaték. Látható, hogy a nyomásközpont helye a kormánylapát kitérés szögének függvénye, és annak növelésével hátrafelé vándorol, a kormánylapát tengelyével esik egybe kb. 15°-os kitérés szögnél. A 3-as görbe azt mutatja, hogy a kormánylapátra ható erő és annak a távolságnak a szorzata, amely a nyomásközpont és a kormánytengely között van, adja ki a kormánylapát kitéréséhez szükséges nyomatékot. A 3-as görbe tulajdonképpen a kormánylapáton mérhető nyomatékot mutatja, és nem a kormánygéptől elvárt nyomatékot. A súrlódás miatt ugyanis a kormánygépet terhelő nyomaték nemcsak a kormánylapátot terhelő erőből adódik ki, hanem a kormánylapát mozgatásához szükséges erő is hozzáadódik illetve

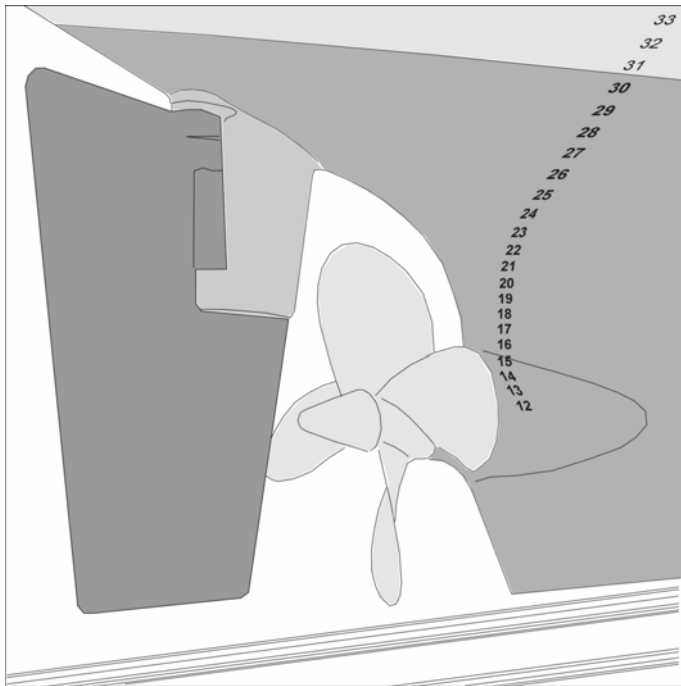
2.4 MENETTULAJDONSÁGOK

2. kiadás 2009.

2.4.2 A FŐÜZEM ...

2.4.3 A KORMÁNY ...

levonódik (kitérítésnél illetve visszatérítésnél). A valóságos nyomaték tehát a 3-as görbe alatt és felett húzódó görbe szerint alakul.



2.4.3.1.2.5 ábra Egycsavaros hajó kormányának elrendezése

Amennyiben mindkét oldalán lemezelt áramvonalas kormánylapát van beépítve, azon nagyobb kormányerő ébred és kisebb az ellenállása, mint egy sima lemez kormánylapát esetében. A *kormánytőke* és a kormánylapát kellő körültekintéssel való megtervezése egyértelműen csökkenti az ellenállást (ld. 2.4.3.1.2.5 ábra). A korszerű gyors hajók két egyforma kormánylapáttal vannak felszerelve, ezeknél nem állnak fenn olyan korlátok a hely

szempontjából, mint egyetlen kormánylapátnál, és így lehetővé válik az is, hogy a két lapát a két hajócsavar sodrában legyen elhelyezve. Egyetlen kormánylapát akkor hatékony, ha egycsavaros hajóról van szó.

A kormánylapát körül kialakuló áramlás

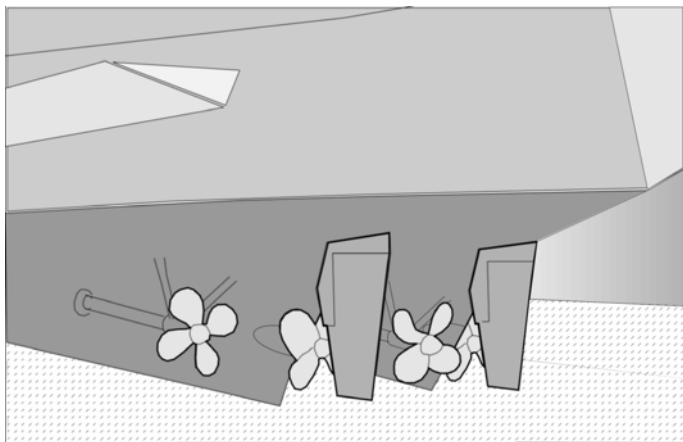
A kormánylapáton megfigyelhető áramlás jelenségét és az ébredő erőket ugyanaz az elmélet írja le, mint az alapvető aerodinamikai jelenségeket. Vannak azonban szembeötlő különbségek és olyan szempontok, amelyek együtt összetettebb és változékonyabb szituációt teremtenek a hajó működésben levő kormánylapátja esetében. A kormánylapát bonyolult környezetben működik – a hajófar közelében, a hajócsavarok mögött és részlegesen vagy teljesen azok sodrában, emellett gyakran a leválási zónában, ahol igen erős leváló örvények keletkeznek, és ahol a hajó mozgása és a környező víz állapota rezgéseket és lengéseket hoz létre. Alapvetően három hidrodinamikai jelenség figyelhető meg a kormánylapáton, ez még akkor is így van, ha nyíltvízi kísérletet végzünk vele, a hajótesttől függetlenül: *hidrodinamikai leválás*, *kavitáció* és *levegősődés*. Ezek a jelenségek felléphetnek külön-külön vagy együtt. Ezek mindegyike gátolja, vagy esetenként megszünteti a kormány hatékonyságát.

Az aero- és hidrodinamikai felületeken jelentkező leválás az a jelenség, amikor a felületen végighaladó folyadékáramlással ébredő felhajtóerőben hirtelen csökkenés áll be, a kormánylapátnál ezt az okozza, hogy a kitérítés növelése során a megfúvási szög

eléri a kritikus szöveget, ahol leválás történik, tehát az áramlás normális nyomásviszonyai megszűnnek létezni.

A kavitáció és levegősödés a kormánylapát kilépő-éle közelében végbemenő nyomáscsökkenés függvénye. A levegősödés akkor szokott jelentkezni, amikor a kormánylapát túl közel van a vízfelszínhez vagy konstrukciós okokból, vagy a hullámozás miatt, és a kormánylapát alacsony-nyomású része levegőt szív be. A kavitáció jelensége legismertebb a hajócsavarok és hordszárnyak bizonyos üzemi viszonyai között, amely lényegében a nyomás olyan mértékű csökkenése miatt következik be, amely alacsonyabb a telített vízgőz nyomásánál. Ennek a hatásai között nem csupán a felhajtóerő megszűnése és ezzel a kormányhatás elégtelensége szerepel, hanem azokon a pontokon, ahol előfordul, a fémfelület eróziója is bekövetkezik. Rendkívül nehéz ezeket a hidrodinamikai jelenségeket elméleti úton előre jelezni, ahol a kormánylapát valójában a hajó mögötti valóságos környezetben működik. A modellkísérletek méretarányait is nehéz meghatározni az egyes mennyiségekre azért, mert a fent leírt jelenségekre eltérő hasonlósági törvények érvényesek, azon kívül a fordulásban levő hajó áramlási viszonyai is befolyásolják őket. A modellkísérletek jók arra, hogy mennyiségileg megállapítsuk velük a kormány hatékonyságát, a nyíltvízi kormánykísérletek nagy Reynolds-számoknál szintén megbízhatóak, különösen, ha már ismerjük a hajó természetes méreteinél kialakuló áramlási viszonyokat.

2.4.3.1.3 A kormányzást befolyásoló tényezők



2.4.3.1.3.1 ábra Iker-uszony egy repülőgép anyahajón

A hajótestnek az a része, amely az alapvonal (gerinc) közelében van, és a hajócsavar sikja előtt helyezkedik el, emlékeztet egy függőleges uszony alakjára (V-alakú bordametszetek). Ez a felület nem véletlenül kapta az uszony nevet (deadwood), bár hajónként eltérő a konkrét

formája. Egyes hajóknál, amilyenek például az óceánjáró egycsavaros hajók, jellegzetes és hosszan előrenyúló lehet, más hajóknál pedig alig észrevehető. Az uszony fő célja, hogy kellő fokú iránystabilitást biztosítson. A forduláskor legyőzendő ellenállást nagyon meg tudja növelni a nagy uszonyfelület, a túlzottan kis uszonnal épített hajók viszont hajlamosak a kigyózáásra hullámos vízen. Az olyan hajóknál, ahol kritikus fontossága van az iránystabilitásnak (pl. repülőgép anyahajók), az is előfordul, hogy két párhuzamos uszont kell kialakítani (ld. 2.4.3.1.3.1 ábra).

Azoknál a hajóknál azonban, amilyenek a vontatók, ahol igen fontos a jó manőverező képesség, az uszony szinte teljesen el is hagyható.

A bukdácsolás és kigyózás ellen nagy inerciával rendelkező hajók kevésbé érzékenyek a hullámokra, közepes hullámokban is jól kormányozhatóak.

A kormánylapát hatékonysága és a kormány működésbe hozásának időtartama fontos tényezői a kormányzási jellemzőknek. A kormányt kezelő tengerésznek ahhoz, hogy elkerülhesse a zavaró erőhatásoktól származó nagy tehetetlenséget, előre kell látnia és meg kell akadályoznia a hajó tendenciáját a kigyózásra.

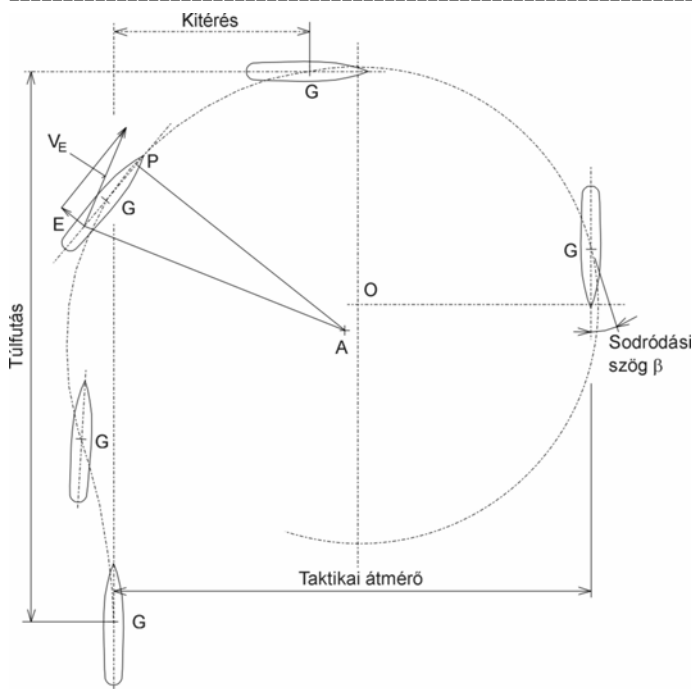
Hátszélben, amikor a hullámok megelőzik a hajót, a legtöbb hajó nehezebben kormányozható, mivel a hajónak a hullámokhoz képesti relatív sebessége lecsökken, és így a hullámerő keresztirányú összetevője hosszabb időt kap arra, hogy a hajófarra kifejtse a hatását. Ugyanakkor a vízrészecskéknek a hullámban követett körpályája miatt a lapáton ébredő kormányerő a legmagasabb és legalacsonyabb értékek között ingadozik, sőt, egyetlen hullámcikluson belül akár pozitív értékűről negatívra képes átváltozni. Ez a jelenség akkor a legszembeötlőbb, amikor a hajó azonos irányban halad, mint a hullámrendszer, így a hullámrendszer sebessége csak alig nagyobb, mint a hajóé.

A hajót szögben érő szél általában eltéríti a hajót a kívánt nyomvonalról. A magas orrfelépítménnyel rendelkező hajókat nehéz szélbe kormányozni.

A kormányzást a vízmélység is befolyásolja, illetve a keskeny hajócsatorna, a hajócsavarok száma, valamint a kormány relatív helyzete a hajócsavarokhoz képest. A túlzottan nagy hajócsavarok, amelyek legalsó pontja a gerinc alá nyúlik, nagy ellenállást jelentenek a kormányzással szemben.

Fordulás

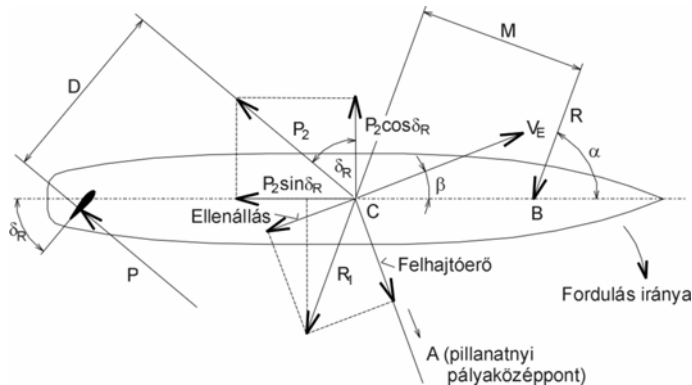
Amikor a hajó sima vízen egyenes irányban halad, a kormánylapát körül kialakuló áramlás általában szimmetrikus a hossz-szimmetriasíkra, mivel nincs a víz és a hajó között keresztirányú erő. Amikor a kormányt kitérítik középső helyzetéből, a szimmetria megbomlik, és a kormánylapát nyomásközpontjában ható erő ébred. Ennek hatására a hajó súlypontja egy bizonyos pályán elmozdul (ld. 2.4.3.1.3.2 ábra), illetve a hajó megdől. A súlypont áthelyeződése kezdetben egy *spirális görbén* történik, amely később *kör-alakú pályába megy át*, amikor a hajó már kb. 90°-os fordulatot megtett. Azt a távolságot, amelyet a súlypont az eredeti haladási iránnyal párhuzamosan megtesz a kormány kitérítésének pillanatától addig, hogy a hajó irányváltozása eléri a 90°-ot, *túlfutásnak (advance)* nevezzük, azt pedig, amelyet ezalatt arra merőlegesen megtesz, *kitérésnek (transfer)*. Az a távolság, amelyet a súlypont az eredeti irányra merőlegesen tesz meg addig, amikor a hajó 180°-ot fordult, a *taktikai átmérő (tactical diameter)*. Miközben a hajó fordul, a hajóorr befelé esik a súlypont pályájának érintőjétől, a hajófar pedig attól kifelé. A szögeltérés a pálya érintője és a hajó középvonala között a *sodródási szög (drift angle, β)*.



2.4.3.1.3.2 ábra A hajó fordulása

Amikor a hajó felveszi a sodródási szöget, van egy pont a hajó középvonalán az orr és a súlypont között, ahol az eredő sebesség (fordulás és kitérés együtt) pontosan a középvonal irányába mutat (azaz nincs a hajó középvonalára merőleges összetevője). A fedélzeten levő megfigyelő számára ez a mozgás úgy tűnik, hogy a hajó ekörül a pont körül fordul, amelyet emiatt *sarokpont* (*pivot point*) néven ismerünk. A sarokpont helye általában az orr és a súlypont közötti távolság egyharmadegyhatod részénél van az orrtól

mérve. A kormány kitérítési szöge (δ_R) a hajó hossz tengelye és a kormánylapát között értendő.



2.4.3.1.4.1 ábra A kormányzás következtében a hajóra ható erők

A 2.4.3.1.3.2 ábrán az A pont a fordulási pálya pillanatnyi középpontja akkor, amikor a hajót éppen mozgásában vizsgáljuk. A V_E pillanatnyi sebesség az E pontban merőleges az AE sugárra. Nyilvánvalónak kell lennie, hogy a G pont

pillanatnyi sebessége, mivel merőleges az AG sugárra (nem szerepel az ábrán), érintőleges lesz a fordulási pályára. Az is magától értetődik, hogy a P pont pillanatnyi sebessége a hajó középvonalával azonos irányú, amennyiben az AP sugár merőleges a középvonalra. A P pont a sarokpont. Amikor a hajó beáll a kör-alakú pályára, a pillanatnyi pályaközéppont a 0 pontban állandósul.

2.4.3.1.4 A hajóra kormányzás közben ható erők

Amikor a kormánylapátot δ_R szöggel kitérítik, a lapáton a nyomásközéppontban ható

kormányerő ébred. Ezt az erőt felbonthatjuk két összetevőre, ezek közül egyik a kormánylapát felületére merőleges, a másik azzal párhuzamos. A kormánylapát felületével párhuzamos erő nincs hatással a fordulásra, ezért elhanyagolhatjuk. A 2.4.3.1.4.1 ábra alapján a P kormányerő a kormánylapátra merőlegesen hat. Ezt az erőt helyettesíthetjük egy azzal azonos és vele párhuzamos P_2 erővel és a C pontban ható PD erópárral. A C pont abban a vízszintes síkban fekszik, amely átmege a kormánylapát nyomásközéppontján, és kissé lejjebb van, mint a hajó súlypontja. A P_2 erőt tovább bonthatjuk a hajó középvonalára merőleges $P_2 \cos \delta_R$ és az azzal párhuzamos $P_2 \sin \delta_R$ erőkre.

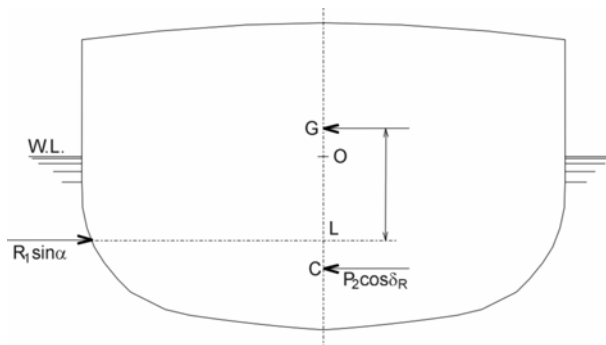
1. *Kezdeti fázis.* A fordulás kezdeti fázisa akkor indul, amikor a kormányt kitérítik. A $P_2 \cos \delta_R$ erő hatására a hajó elkezd kifelé sodródva gyorsulni a fordulás középpontjával ellentétes irányban (balra a 2.4.3.1.3.2 ábrán). A $P_2 \sin \delta_R$ erő a hajó haladásával ellentétes, és a hajó sebessége csökken. Ugyanakkor a PD erópár hatására a hajó forgásba kezd a C ponton átmenő függőleges tengely körül. Ez a forgás a kívánt fordulással azonos értelmű, amint a 2.4.3.1.4.1 ábra mutatja. A kezdeti fázis akkor ér véget, amikor a kormány legyőzi a hajó forgási tehetetlenségi nyomatékát, és a hajó akkora szöggel fordult el, amely lehetővé teszi, hogy hidrodinamikai erők ébredjenek.
2. *Második fázis.* A hajó fordulása közben a V_E pillanatnyi sebesség iránya is változik, együtt fordul a hajóval, de β megfúvási szöggel eltér a hajó középvonalától. A P_2 erő és a PD erópár továbbra is hat, azonban a hajótest körüli nyomáseloszlás változáson megy át. A hajó β megfúvási szöggel történő mozgása nyomásemelkedést teremt a hajó külső oldalán (az O fordulási középponttal ellentétes oldalon), ezzel az R erőt hozza létre, amely a B pontban hat, és α szöget zár be a hajó középvonalával. Ezt az erőt helyettesíthetjük a vele azonos és párhuzamos R_1 erővel és az RM erópárral a C pontban. Az R_1 erőt viszont felbonthatjuk felhajtóerőre és ellenállásra, amelyek közül az első merőleges a pillanatnyi sebesség irányára, a másik pedig párhuzamos azzal. Nem nehéz belátni, hogy a felhajtóerőt és az ellenállást abban az értelemben használjuk, ahogy a profilok esetében a hajócsavaroknál és a kormánylapátoknál, mert a hajótest is áramvonalas profil, amint a folyékony közegen keresztül mozog adott megfúvási szöggel.

A második fázis során az RM erópár ugyanabban az értelemben hat, mint a PD erópár, tehát segíti azt, így a fordulómozgás gyorsul (amennyiben a B a C előtt van, ami általában igaz). Amint ez megtörténik, nő a hajó megfúvási szöge, a B pont hátrafelé tolódik el, az RM erópár fordító tendenciája csökken. Ennek köszönhető az S-alakú nyomvonal, amelyet a hajó befut az első 90° során. Ebben a fázisban a hajót befolyásolja az R_1 erő felhajtóerő és ellenállás összetevője is. Az ellenállás tovább lassítja a hajót, és a hajóra gyorsulás hat a fordulás pillanatnyi központja irányában. Tehát a hajó, amely a kezdeti fázis során kifelé végzett gyorsuló mozgást a $P_2 \cos \delta_R$ hatására, elkezd gyorsulva befelé mozogni, amint a felhajtóerő nagyobb lesz, mint a $P_2 \cos \delta_R$ erő. Látható tehát, hogy a második fázis átmenet a

kezdeti fázis és az állandó fordulás fázisa között.

3. *Állandó fordulás fázisa.* Amint a *B* hátrafelé tolódik el, és a súlypont mögé kerül, a *PD* kormány erőpár és az *RM* felhajtóerőpár között egyensúly jön létre. Ezután a hajó beáll a fordulási pálya kör-alakú szakaszára. A P_2 és az R_1 erő tartósan állandó értékű marad. A hajó továbbra is lassul, és gyorsulás hat rá a fordulókör középpontja felé. Az állandó fordulási körülmények között ez a centripetális gyorsulás állandó értékű, a hajó pedig tartja az állandó sugarú fordulókört.

Az eddigiekben a hajóra vízszintes síkban ható erőket vizsgáltuk. A dőlést okozó erők vizsgálatához, amelyek a hajó fordulása közben ébrednek, felhajtóerő és ellenállás helyett az R_1 összetevővel kell foglalkozni. Ez az erő $R_1 \sin \alpha$, a hajó tengelyére merőleges összetevő. A 2.4.3.1.4.2 ábrán az $R_1 \sin \alpha$ feltételezésünk szerint az *L* pontban hat, amely a vízbemerült rész hossz-szimmetriasíkjában levő metszetének mértani középpontja, és befelé irányuló erőt hoz létre, amely ellentétes a $P_2 \cos \delta_R$ által okozott kifelé sodródással. Ezek az erők függőlegesen nem esnek egybe, ezért megdőlést eredményeznek.



2.4.3.1.4.2 ábra A kormányzás miatt kialakuló megdőlés

A dőlés vizsgálatát ugyanabban a három fázisban végezzük, mint a vízszintes síkban ható erőket.

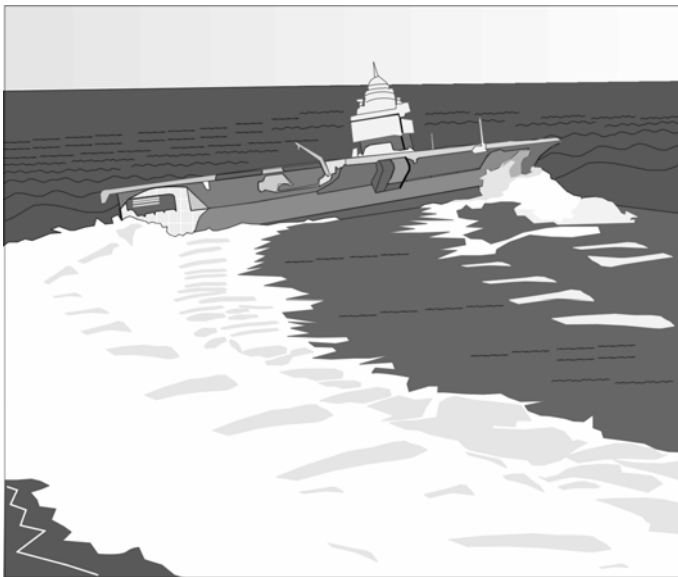
1. *Kezdeti fázis.* Azalatt a rövid időtartam alatt, amely közvetlenül a kormánykitérítés után következik, a kormányerő $P_2 \cos \delta_R$ keresztirányú összetevője, amely a kormánylapát nyomásközéppontjában hat, befelé irányuló kitérítő nyomatékot hoz létre, amelynek karjáról tételezzük fel, hogy az *OC*. (Ez a legtöbb hajónál nincs messze az igazságtól, mert a kis mértékű döléseknél a dőlés tengelye nagyon közel van a vízvonalhoz és nem esik messze a súlyponttól.) Ebben a fázisban a kormányerő nyomatéka, amely valójában kitérítő nyomatékként jelenik meg $OCP_2 \cos \delta_R$ értékű.
2. *Második fázis.* A hajótestre ható erő $R_1 \sin \alpha$ összetevője fokozatosan egyre nagyobb lesz, amíg csak meg nem haladja a $P_2 \cos \delta_R$ értékét. Miközben növekszik, az $OCP_2 \cos \delta_R$ nyomatékkal ellenkező értelmű kitérítő nyomaték jön létre, tehát a két ellentétes kitérítő nyomaték eredője

$$M_1 = P_2 \cos \delta_R OC - R_1 \sin \alpha OL$$

Ez végül is befelé irányuló dőlést okoz, mert a fordulás kezdetén az $R_1 \sin \alpha$ zéró nagyságú. Amint azonban az $R_1 \sin \alpha$ értéke nő, a befelé irányuló megdőlés csökken,

- helyette a hajó kifelé dől meg (ezt főleg a nagyobb szabadoldallal rendelkező hajóknál lehet megfigyelni, mint a gyors hadihajók).
3. *Állandó fordulás fázisa.* Ezt a fázist úgy lehet a legjobban elemezni, ha a *centrifugális erőre* fordítjuk a figyelmünket, amelyet a hajó befelé ható (*centripetális*) gyorsulása okoz. Amikor a hajó az állandó fordulási pályára (körpálya) állt be, tömegének centrifugális ereje a hajó *G* súlypontjában hat. Ennek nagysága

$$\Delta v^2/gr \text{ (tonnában)}$$



2.4.3.1.4.3 ábra Nagy sebességű fordulás

Az állandó fordulókört járó hajó azt jelzi, hogy egyensúly állt be a *G* és *C* pontban kifelé ható erők és az *L* pontban befelé ható ellenálláserő között. A

2.4.3.1.4.2 ábra szerint a centrifugális erő az *L* pont körül az óra járásával ellentétesen hat, a $P_2 \cos \delta_R$ keresztirányú összetevője viszont továbbra is az óra járásával megegyezően. Tehát ha a nyomatékokat az *L* pontra számítjuk ki, az eredő

kitérítő nyomaték

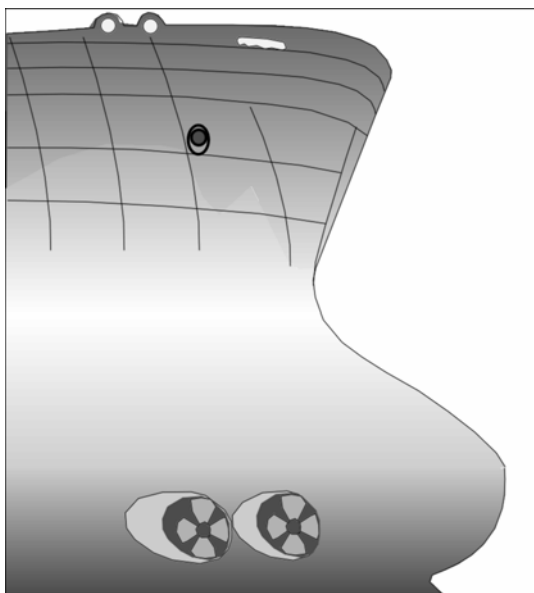
$$M = (\Delta v^2/gr)GL - P_2 \cos \delta_R CL$$

A legnagyobb mértékű megdőlés közvetlenül azután következik be, amikor a befelé irányuló dőlés átmegegy kifelé irányulóba, mert a hajó tehetetlensége miatt túl fog lendülni az egyensúlyi állapoton (ld. 2.4.3.1.4.3 ábra). Ha nagysebességű fordulásnál a kormányt ilyenkor visszatérítik, a befelé ható kitérítő nyomaték megszűnik, és a kifelé irányuló megdőlés veszélyesen nagy értéket vehet fel. Erre érdemes odafigyelni, mivel előfordulhat, hogy a kormányt kezelő tengerész a megdőlést észlelve arra hajlik, hogy visszatérítse a kormányt, pedig az egyetlen ésszerű intézkedés az lehetne, hogy csökkentse a sebességet.

A megdőlés egyensúlyi helyzetében a három kitérítő nyomaték algebrai összege egyezik meg a hajó visszatérítő nyomatékával. Amint már láttuk, a megdőlés szöge függ a *C*, *L* és *G* pont relatív helyzetétől, valamint a kormány kitérítési szögétől, a sebességtől és a metacentrikus magasságtól.

2.4.3.2 A hajó irányítása kis sebességnél

A vezérfelületek tervezésénél, amilyenek pl. a kormánylapátok és a stabilizáló uszonyok, a hidrodinamikai áramvonalas profilokat alkalmazzák. Ezeken akkor ébred hatékony erő, ha felületükön van relatív vízsebesség. Az irányítás képességére azonban akkor is szükség van, amikor a hajó szűk helyeken kénytelen manőverezni a kikötőben kis sebességgel, vagy egyáltalán nincs semmi hely a mozgásra. A hajók méretének állandó növekedése azokat esetlenekké tette a nagy tehetetlenség miatt, ezért azok szűk helyen való irányítása számos kis méretű, de nagy teljesítményű kikötői vontató igénybevételét követelte meg. Ez a módszer nemcsak kevésbé hatékony, mint a hajó saját beépített berendezéseinek használata, de nem is annyira megbízható, amennyiben a saját rendszerek képesek az ilyen helyi erők létrehozására. Ez a fő oka annak, hogy néhány évtizeddel ezelőtt kifejlesztették az *orrsugár-kormány* elnevezésű kiegészítő kormányrendszereket.



2.4.3.2.1 ábra Kettős orrsugár-kormány bulbaorrú hajón

Az eredeti orrsugár-kormányok gyűrűben vagy alagútban dolgozó hajócsavarokból álltak, ahol a gyűrű vagy alagút merőleges volt a hajó hossz tengelyére, és minél közelebb helyezték el ezeket a hajó orrához, ahol a bordametszetek V-alakúak és a szélesség kicsi. Ebben a gyűrűben vagy alagútban változtatható forgásirányú hajócsavart helyeztek el, amely axiális szivattyúként funkcionált, és viszonylag nagy mennyiségű vizet nyomott át a hajótest egyik oldaláról a másikra. Lényegében a mai orrsugár-kormányok elve is ez, és ezt a

berendezéstípust egyre több hajóra szerelik fel mérettől függetlenül (ld. 2.4.3.2.1 ábra). Az orrsugár technika jelentős fejlődését hozta az állítható emelkedésű hajócsavar alkalmazása az úgynevezett *laterális tolóerő egységekben (L-thrusters)* az 1950-es évek végén. Ezek a legnépszerűbb nagy teljesítményű kiegészítő kormányberendezések, meghajtásuk váltakozó áramú elektromotorokkal történik, és a hajó hossz tengelyére merőleges alagútba vannak beépítve. A kisebb teljesítménytartományban még mindig kedveltek a merevszárnyú hajócsavarral működő L-thruster berendezések is, ezeknél a meghajtást egyenáramú elektromotor vagy dízelmotor biztosítja, mindkettő alkalmas a fordulatszám szabályozására. A rövid járatú hajóknál, amelyek gyakran térnek be kikötőbe, mint pl. kompok és az amerikai nagy tavakon hajózó tömegáru szállítók, az L-thruster egységeket mind az orrban, mind a farban elhelyezik. Fontos, szinte standard

berendezés azoknál is, amelyek pontos pozicionálást igényelnek kikötéskor, mint a nagy olajszállítók és a ro-ro hajók, amelyek az utóbbi időben a kompok helyét veszik át. Az orrsugár-kormány különleges változatai az *elfordítható sugárkormányok (Ro-thrusters)*, amelyek állványra szerelt szabad vagy gyűrűs hajócsavarból állnak, ezek helyzete 360°-ban változtatható. Ezek egyre népszerűbbek a parti olajfúró tornyok ellátó és segédjárműveinél. A Ro-thruster berendezések közül néhányat a hajótestbe behúzhatóra terveznek, hogy nagyobb sebességnél ne növeljék a hajó ellenállását, azonban, mivel a hajótestre kívül felszerelt ilyen egységeket el lehet helyezni a hajó hossz tengelyében is, ezek normál üzemben is hozzájárulhatnak a hajó haladási sebességéhez. Ilyen esetben azonban elengedhetetlen, hogy állítható szárnyú hajócsavarok legyenek beépítve, mert normál haladási sebességnél nagyobb, kormány szervként pedig kisebb emelkedésű csavarra van szükség (olyankor a sebesség majdnem zéró, tehát az állópróbai üzemállapot valósul meg) (Norrby and Ridley 1980).

2.4.3.3 A manőverezési képesség mérése: modellkísérletek és hajókon végzett mérések

A Nemzetközi modellkísérleti konferencia (ITTC) 1975-ben azt javasolta, hogy végezzenek teljes léptékű modelleken (hajókon) manőverező képességi méréseket. Ezeket a próbákat akkor végzik el, amikor a hajóépítő cég futópróbai programja szükségessé teszi a hajó manőverező jellemzőinek meghatározását. A próbát a következő szabályok szerint kell elvégezni.

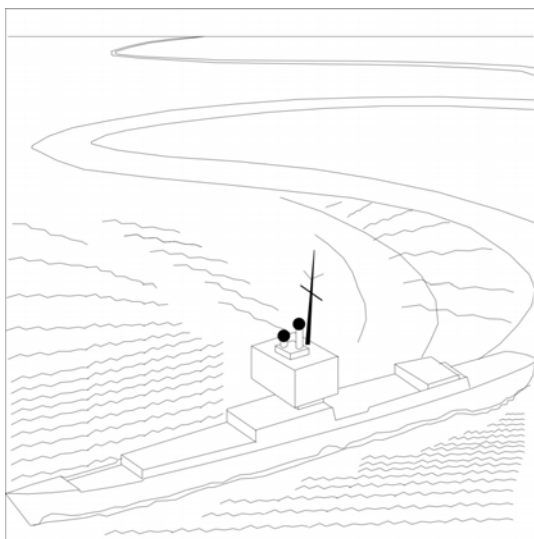
Általános program

1. *Fordulókörök mérése.* A fordulókör adatainak mérését mind a bal, mind a jobboldali kormánykitérítéssel el kell végezni az eredeti haladási irányhoz képest 540° (másfél fordulat) megtételéig, a hajónak teljes sebességgel kell haladnia, a kormánylapát kitérítési szöge 15°.
Lehet további fordulókör méréseket végezni kis és közepes sebességnél.
2. *Megszakított fordulási manőver.* A megszakított fordulási manővernél a kormánylapátot visszatérítik középállásba, erre normál esetben akkor kerül sor, amikor a 15°-os próbát befejezték. Ezt is mindkét oldalon el kell végezni. A másik lehetőség, hogy a cikk-cakk manőver végén végzik el.
3. *Fordulási próba zéró sebességről indulva.* A próbát mindkét oldalon el kell végezni úgy, hogy a hajó álló helyzetében a kormányt szélső állásába teljesen kitérítik, és fél-erő előre gépteljesítménnyel indulnak el. A próba 180°-os fordulatnál ér véget.
4. *Cikk-cakk manőverek* (ld. 2.4.3.3.1 ábra). A próbát teljes sebességgel előre kell elvégezni, a standard típus esetén 10°-os kormánykitérítésnél és a névleges haladási iránytól való 10°-os fordulatig, az első lépésben a kormányt jobboldalra kell kitéríteni.
Amikor lehetőség van rá, egy-két „módosított” cikk-cakk manővert is el kell végezni (pl. 20°/10° manővert).
5. *Egyenes és fordított spirális tesztek.* Abban az esetben, ha a hajó valószínűleg labilis a dinamikai igényvételekkel szemben vagy csak alig stabil, a spirális tesztet el kell

végezni, hogy meg lehessen határozni a nyugalmi kormányzási jellemzőket, ha a szél- és a hullámzási feltételek kedvezőek. A teszt menete „normál” vagy „fordított” rutint követhet, utóbbi eset a labilis hajóra vonatkozik.

6. *Nyomvonal-változtatási tesztek.* Speciális nyomvonal-változtatási tesztek lehet végezni számos sebességnél és kormányzögnél, ezek nagyon hasznosak navigációs szempontból. Ezt az információt részben a kezdeti fordulási és cikk-cakk tesztekben is ki lehet nyerni.
7. *Megállási tesztek.* Ezeket a próbákat a kormánylapát középhelyzeténél kell elvégezni a főgép vagy főgépek egész erő hátra állásánál, szükség szerint egy vagy több sebességnél.

A vészmegállási próbával (teljes géperővel előre való haladásból hirtelen megállás) ellentétben, amelyet a hajó átvételi feltételei között találunk gyakran, a megállási teszt kis sebességnél végzendő el.



2.4.3.3.1 ábra Cikk-cakk manőverpróba

Speciális programbővítés a sugárkormányos hajók számára

1. *Fordulási manőverek.* A fordulási manővereket mindkét oldalon el kell végezni, a 90°-os fordulást a sugárkormányok teljes teljesítményével kell végrehajtani, miközben a fő kormány egyenesbe van állítva, a sebességtartomány zéró sebesség és 8 csomó között van. A manőver kezdetén a hajó orrának széllel szemben kell lennie.
2. *Cikk-cakk manőverek.* A cikk-cakk manővert úgy kell végrehajtani, hogy a

sugárkormány teljes teljesítményét az eredeti menetiránytól való 10° eltérésnél kell beindítani, a fő kormánynak középállásban kell lennie, a hajó egyenes sebességét pedig a 3-6 csomó tartományban kell megválasztani.

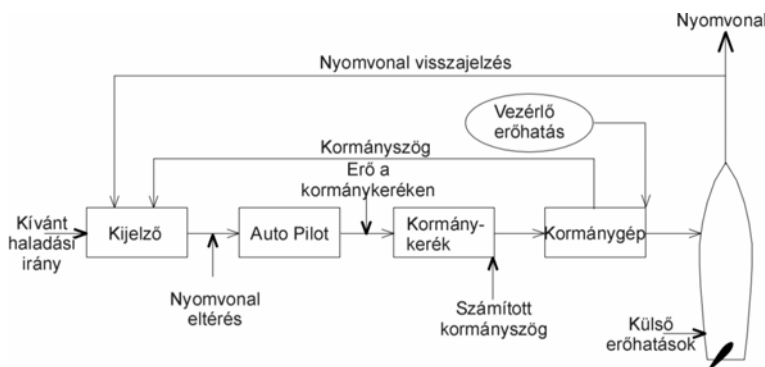
További részleteket az Appendix I of the Maneuverability Committee Report to the Fourteenth ITTC (ITTC 14. ülésének jegyzőkönyvéhez csatolt manőver-képességi bizottsági jelentés I. függeléke) dokumentum tartalmaz.

A karcsú hajók esetében a modell-hajó korrelációs tanulmányok meglehetősen jó egyezést mutatnak a kormánnyal felszerelt rádióirányítású modelleken és a hajón elvégzett tesztek eredményei között. A teltebb hajóformáknál észrevehető különbségek vannak a modellen és a hajón kapott manőverképességi eredmények között, amelyet általában a leválási hatásokra vonatkozó léptékhatás tényezőnek tulajdonítanak, amelyek a fordulást végző modell körüli áramlásnál jönnek létre. A modellkísérleti medencékben úgy nevezett befogott modelleszteket is szoktak végezni, amikor a

modellnek gerjesztett rezgéseket adnak át azoknak a teszteknek a során, amelyekkel a vízszintes síkban végbemenő mozgásokat vizsgálják (*horizontal planar motion, PMM*), hogy a mozgásegyenletekbe behelyettesítendő manőverképességi tényezőket mérjék. Ezeket a tényezőket más eljárásokkal is meg lehet mérni.

2.4.3.4 Automatikus irányvezérlés: hatása a konstrukcióra

A 20. század elején kezdett világossá válni a hajók üzemeltetőinek, hogy a kézi kormányzás és iránytartás egyrészt költséges, másrészt nem eléggé hatékony. Az ilyen kormányzáshoz minden szolgálatban legalább két kormányos matrózra volt szükség. Amikor a hajó a tengeren halad, az emberi reakció-mechanizmus csak arra képes, hogy a kívánt nyomvonalat több-kevesebb hibával tartsa. Emiatt a problémák miatt fejlesztették ki a hajókon alkalmazott automata rendszerek közül az elsőt, amelynek neve *auto pilot*, vagy, ahogy az akkori tengerészek elnevezték, a „vas Miska”. Ez a viszonylag egyszerű kormányvezérlő rendszer alapváltozatában egy irányjelzőből és egy iránybeállító készülékből áll, amely, ha bármilyen eltérést tapasztal bármelyik irányban, jelzi egy relének. A relé beindítja a kormánygépet, amely megfelelő kormánykitéréssel reagál, és azt tartja, amíg csak az eltérés, és azzal együtt a jelzés meg nem szűnik (ld. 2.4.3.4.1 ábra). Az auto pilot bevezetése óta eltelt évek során sokat finomítottak a rendszeren, mint pl. a visszajelzések az előírt iránytól történő eltérés változásának sebességéről. Ez lehetővé teszi a kormány szerkezetnek, hogy előre megbecsülje a korrekció mértékét, és a kormánymozdulat esetleges túlzott hatását kikorrigálja azzal, hogy csökkenti a kormány szögét.



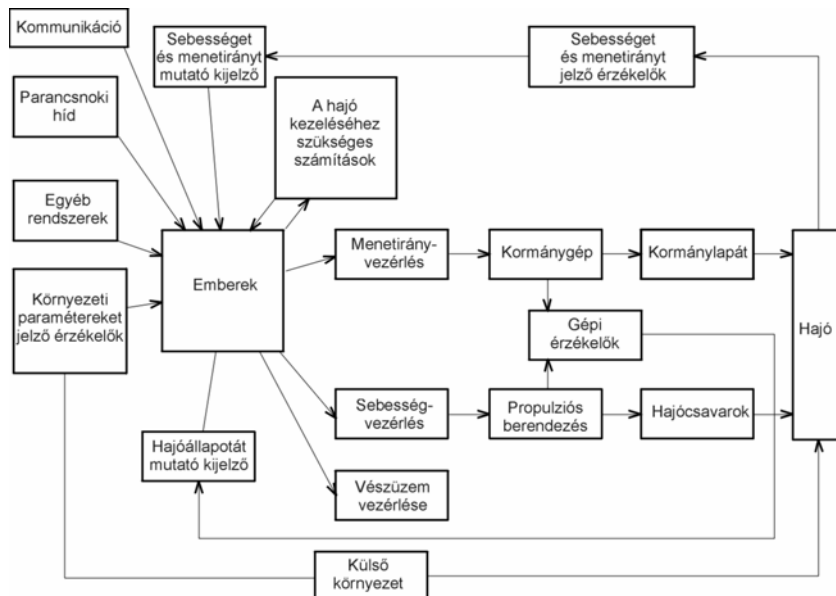
2.4.3.4.1 ábra Egyszerű automatikus kormány

Ez a viszonylag egyszerű automatikus kormányrendszer a hiba és a reakció között azonban nem ugyanaz, mint az *automatikus hajóvezérlés*.

A jelenlegi automatizálási színvonalon a hajóvezérlés sokkal szélesebb fogalom, amely magával foglalja a személyzet csökkentését is, mivel nincs szükség manuális működtetésre. A hajóvezérlés nemcsak a követendő nyomvonal tartásának rutin feladatait végzi el, hanem távvezérlő rendszert biztosít a hídról vagy a vezérlő központból a propulzió és a segédüzem irányításához is. Ez kiterjed a legtöbb hagyományosan kezelőszemélyzettel ellátott munkahely automatikus irányítására, pl. a főgép kezelésénél, a kazánoknál, a víz és üzemanyag betáplálásánál, valamint azoknak a segédüzemi berendezéseknek a kezelésénél, amelyek elengedhetetlenek a hajó sebességében és egyéb paraméterében bekövetkező változásoknál. Tartalmazza ezen

kívül a rendszerek megfigyelését, sőt, egyes hajókon a dokkoló és kötélkezelő csörlők központi irányítását is.

A központi vezérlés által érintett funkciók jobb megértését szolgálja a 2.4.3.4.2 ábrán látható rendszerséma és elemzés. Ezen az illusztráción jól látható az alapvető automatikus vezérlés. A hajótervezés megszokott területébe normális esetben nem tartozik bele a gépek vagy az ilyen rendszerek tervezése, tehát annak részleteit nem tárgyaljuk. Nem léphetünk azonban át könnyedén azon a tényen, hogy a hajók tervezését igenis befolyásolja az automatikus hajóvezérlés.



2.4.3.4.2 ábra
Hajóvezérlő rendszer

A hajók automatizálásának két fő mozgató rugója természetesen az üzemeltetés és a karbantartás gazdaságossága. Minden típusú hajónál létfontosságú a személyzet létszámának csökkentése a hajó zavartalan

üzemeltetése érdekében. Az automatizálás az egyetlen ésszerű megoldás a hagyományos feladatokat ellátó és hagyományos kialakítású hajók munkaerő problémáira. A személyzet csökkentése biztosítja a folyamatos gazdaságosságot; már ez a tényező önmagában is rendkívül fontos a kereskedelmi hajózás fenntarthatósága érdekében.

A hajótervezők természetesen tökéletesen tisztában vannak annak komoly költségnövelő hatásaival, ha a hajók komplex automatizált rendszerekkel épülnek. Azt is nyilván tudják, mit várnak el tőlük egyrészt ezeknek a hajóknak a vezérlésével kapcsolatban, másrészt az ilyen költségek ésszerűsítése terén. Az ilyen hajóknak minden lehetséges előnnyel rendelkezniük kell a fejlett hidrodinamikai jellemzők és a jó manőverező képesség területén, amit csak a hatékony tervezés és az előzőekben említett berendezések alkalmazása nyújtani tud. Jobb vezérlőállásokkal kell rendelkezniük, amelyeket a jobb helykihasználás tesz lehetővé. (Ez nagyrészt azzal válik lehetővé, hogy a korábbi nagyobb legénységgel szemben kisebb lakótérre van szükség.) Alapos műszaki tervezéssel még az építés megkezdése előtt meg lehet találni a legjobb elhelyezést ezeknek a vezérlő rendszereknek a számára, különösen, ha a szekció és részszekció építési elvnek megfelelően alakítják ki a hajó szerkezetét. Végül pedig a tervezőnek meg kell találnia a lehető leggazdaságosabb hajóépítési

módot, akár új anyagok felhasználásával, akár új tervezési eljárásokkal, szerkezeti egyszerűsítésekkel vagy jobb konfigurációval.