

A hibrid hajóhajtás alkalmazási lehetősége a folyami közforgalmú közlekedésben

A vízparton fekvő európai nagyvárosokban az 1970-80-as években megkezdődött a természetes vizek „visszahelyezése” egyrészt a polgári élet, másrészt a városépítészet és a mobilitás helyszínévé, központjává. Budapest és agglomerációja ebben a tekintetben kiemelt jelentőséggel bír, nemcsak rendkívüli szépségű környezete, valamint az agglomerációba kitelepültek ingázása, hanem a közlekedés helyzete miatt is. A fővároson belül – az évszázados városszerkezetnek köszönhető közúti infrastruktúra kedvezőtlen helyzete miatt – hatalmas forgalom alakult ki a rakpartokon és a bevezető utakon egyaránt. Ezt a problémát a bevezetni tervezett „dugódíj” önmagában nem lesz képes megoldani. Ésszerűen azonban egy új, alternatív közlekedési mód, a környezetbarát hajózás jelentheti a megoldást.

DOI 10.24228/KTSZ.2017.4.3

Dr. Simongáti Győző – Hargitai L. Csaba – Réder Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

E-mail: gysimongati@vrht.bme.hu, cshargitai@vrht.bme.hu

1. BEVEZETÉS

Egy átlagos tengeri áruszállító hajónál a hajó üzeme egyenletes, ami azt jelenti, hogy a hajó az üzemidő túlnyomó többségében a tervezési sebességhez tartozó névleges, tehát a hajóba beépített motor maximális teljesítményéhez közeli értéken üzemel, jó teljesítménykihasználással és hatásokkal. Ez az olyan hajókra, mint a budapesti közforgalmú közlekedést is szolgáló hajók, nem mondható el. Itt a hajó üzeme egyenetlen, a beépített főgép teljesítménye tág határok között ingadozik, a névleges teljesítményt ritkán használják ki. Az üzemidő nagy részében a motor részterhelésen megy, ami nagyobb fajlagos üzemanyag-fogyasztást és károsanyag-kibocsátást jelent. Ez a probléma a szárazföldi és légi közlekedésben is megfigyelhető. Míg a repülőgé-

peknél a hajtóművek optimalizálásával [1], a közúti és vasúti járműveknél a hibridhajtásrendszer fejlesztésével [2] próbálják kezelni az ingadozó teljesítménykihasználást. A tengeri hajózásban is vannak a közösségi közlekedést kiszolgáló hajókhoz hasonló, változó üzemi profillal rendelkező tengeri hajók (mint pl. az olajkitermelő platformokat ellátó, horgonykezelő hajók), amelyeknél ma már dominánsnak nevezhető a dízel-elektromos vagy éppen hibridhajtásrendszer alkalmazása a gazdaságosabb üzemeltetés érdekében [3]. Ez a jelenség adta a motivációt annak vizsgálatához, hogy a dunai közlekedésben használt hajótípusoknál várható-e gazdaságossági javulás a jelenlegihez képest az első megközelítésre célszerűbbnek tűnő hibrid hajtás esetén. E cikk azonban csak a témában folyó kutatás első lépéseiről és lehetőségeiről számol be.

2. A HAJÓ BEMUTATÁSA

Jelenleg a BKV a közforgalmú közlekedésben többféle hajótípust üzemeltet vagy saját maga, vagy alvállalkozói révén. Legismertebb típusaik a 100 fő befogadására alkalmas, ún. 100-asok (BKV 100) és a 150 fős vízibuszok, az előzőekből 5 db, utóbbiakból 2 db van üzemben [4]. Sajnálatos módon – bár a hajók magyar tervezésűek – a hajókról nagyon kevés eredeti műszaki terv lelhető fel, és ezen az átalakítások során készített tervek sem segítenek sokat. A legtöbb információ a BKV 100-as típusról állt rendelkezésre. Mindezek alapján úgy döntöttünk, hogy nem egy tényleges, hanem egy fiktív hajón végzünk elemzést, amelyhez alapadatokat a BKV 100 típusa szolgáltat. Ahol nincs elérhető információ, ott becsléssel, közelítéssel, egyéb minták alapján igyekeztünk pótolni a hiányt.

2.1. A BKV 100 személyes hajótípusa

A típus hajói 1 db hajtásra használt dízelmotorral rendelkeznek, ami redukciós hajtóművön keresztül hajtja a 4 db fix szárnyal rendelkező hajócsavart. A hajó elektromos energiaellátását akkumulátor-telep biztosítja, mely inverteren keresztül látja el a 230 V-os fogyasztókat. Az akkumulátorok töltését a főmotor generátora végzi. Külön segédüzemi generátor nincs a hajón. A hajót az 1. ábra illusztrálja, főbb adatait a [5] és saját információk alapján az 1. táblázat tartalmazza.

A fiktív vizsgálat tárgyát képező hajó főméreteit és hajtását tekintve az itt megadottakkal azonos paraméterekkel rendelkeznek. Az ennél mélyebb információk már becsült vagy önkényesen felvett, nem biztos, hogy a valóságnak megfelelő adatok lennének.

2.2. A hajó üzemeltetési profilja

A hajó üzemeltetési profilja megmutatja, hogy a hajtómotor(ok) különböző teljesítményszintjei az üzemidő hány százalékában jelentkeznek. Ebből megállapítható, hogy a motor(ok) névleges teljesítményét milyen mértékben használják ki az üzemidő alatt. Amennyiben az üzemeltetési profil egyenetlen, úgy érdemes elgondolkodni

1. ábra: A BKV 100-asok egyik képviselője, a Tabán



1. táblázat: A BKV 100 főbb adatai

Besorolás:	BKV 100 típusú átkelőhajó
Épült:	1982-86, MHD Balatonfüredi Gyáregysége
Legnagyobb hossz:	24,4 m
Függélyek távolsága:	23,25 m
Legnagyobb szélesség:	6,42 m
Szélesség a főbordán:	6,0 m
Oldalmagasság:	1,6 m
Szabad oldal:	0,65m
Fixpont magasság:	6,14 m
Legnagyobb merülés:	1,1 m
Víziszorítás:	64,5 t
Sebessége holt vízben:	18 km/h
Befogadó képessége:	100 személyes termes hajó, amely az alsó fedett részen biztosítja az ülhelyeket, a felső nyitott fedélzeten 20 fő tartózkodhat.
Főgép teljesítménye/fordulatszám, típus:	265kW@2000 1/perc, Doosan L126 TIH, soros, 4 ütemű, vízhűtéses, közvetlen befecskendezéses, gyorsfordulatú motor

annak okairól, és amennyiben indokolt, meg kell vizsgálni egyéb hajtásrendszerek alkalmazhatóságát, gazdaságosságát.

Az üzemeltetési profil felvételét általában a főmotor(ok) tengelyén mérhető nyomaték és a tengely fordulatszámának mérésével lehet végrehajtani, mely adatokat az aktuális idő függvényében lehet ábrázolni. A nyomaték és a fordulatszám értékekből számítható a motor által leadott teljesítmény. A teljesítményre sávokat meghatározva egy könnyen áttekinthető diagramot kapunk. A mérést kiegészítve a hajó aktuális pozíciójának, sebességének, fordulási jellemzőinek, a motor(ok) üzemanyag-fogyasztásának, a hajó merülésének (rakomány tömegének) és a külső körülmények jellemzőinek (szélirány, sebesség, folyó áramlási sebesség) felvételével, olyan komplex információ-halmazt kaphatunk, amelyből a hajó üzemeltetője hasznos következtetéseket vonhat le a gazdaságos üzemeltetéssel kapcsolatban.

A BKV 100-as hajókhoz nem állnak rendelkezésre ilyen mérésen alapuló eredmények, amit a fiktív hajóhoz használni lehetne. Ugyanakkor elérhető az Internet segítségével számos olyan adat, amelyekkel az üzemeltetési profil – a fiktív hajó számára mindenképpen elfogadható – közelítéssel meghatározható. Ennek módszere:

A fiktív hajó ismert geometriai és úszáshelyzeti adatai alapján meghatároztuk a hajó ellenállását az egyes haladási sebességeknél. Az ellenállás számításnál érdes, festett acélfelületet vettünk figyelembe a súrlódási ellenálláshoz. Sekélyvíz hatással egyelőre nem számoltunk, mert a hajók nagyon változatos pályát futnak be, és annak meghatározása, hogy hol érvényesül a sekélyvízi ellenállást növelő hatása és hol nem, további, jelenleg rendelkezésre nem álló adatokat igényelt volna. Az ellenállásból az effektív teljesítmény számítható, amiből egy becsült propulziós hatások segítségével a közelítő hajtási teljesítmény is kalkulálható. Eredményként megszületik a hajó sebesség-teljesítmény (P-v) diagramja. Ezek után a hajó egy teljes menetciklusát (sebesség-idő, azaz v-t diagram) vettük fel, amely egy völgyemeneti és egy hegymeneti szakaszból áll, a megfelelő közbenső kikötők érintésével, az utasok be- és kiszállítással együtt. A menetciklus tartalmazza, hogy az adott időpontban a hajó milyen sebességgel közlekedik. Ebben a közelítő módszerben a *marinetraffic.com* hajókövető weboldal Tabán-ról

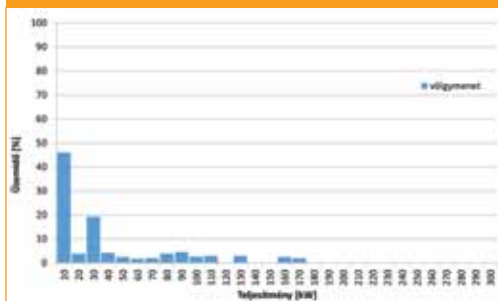
szolgáltatott adatait használtuk fel a menetciklus felvételéhez (a publikus hajókövető alkalmazás ezen túl a hajó pozícióját is megadta). A nyert adatokból az egyes megállók közti haladási sebességeket és a haladás idejét táblázatba foglaltuk. A megállóban tartózkodás idejét, amikor a motor üresjárati fordulaton üzemel, 2 percrek feltételeztük. A folyó sodrása miatt ahhoz, hogy adott haladási sebességekhez pontos teljesítményértékek szülessenek, a *marinetraffic.com* hajókövető weboldal által közölt talajhoz viszonyított sebességeket korrigálni kellett a sodrasi sebességgel. Völgyemenetben az adott sebességből kivontuk, míg hegymeneten hozzáadtuk a folyó sodrasi sebességét (amit átlagosan 1,25 m/s-ra vettünk fel). Az így kapott egyes korrigált sebességekhez a már előzőekben említett P-v diagram alapján leadott teljesítményértékeket rendeltünk. A teljes teljesítménytartományt 30 egyenlő részre osztottuk, majd az ezen tartományokba eső teljesítmények leadásának idejét összegeztük. A teljes idő segítségével így számítható lett, hogy az adott teljesítményen az üzemidő hány százalékában jár a motor. A névleges teljesítménysávokhoz tartozó időtartamokat a hegy- vagy völgyemenet menetidejének százalékában ábrázolva megkaptuk a hegy- vagy völgyemenetre vonatkozó üzemeltetési profilt.

Az üzemi profilt a Tabán hajó Árpád út – Haller utca – Árpád út viszonylatához készítettük el (egy völgyemenet és egy hegymeneti szakasz). Az így kapott eredményeket a 2. és 3. ábra mutatja. A 4. ábrán a hegy- és völgyemeneti szakaszra vonatkozó üzemi profilok összesítése, vagyis a teljes menetciklusra vonatkozó diagram látható. A fenti módszer szerint elkészített üzemi profil Dax Szabolcs, Juhász Bertalan, Krizsik Donát és Réder Tamás hajómérnök BSc-s hallgatók előkészítő munkáján alapult.

2. ábra: Hegymeneti üzemi profil

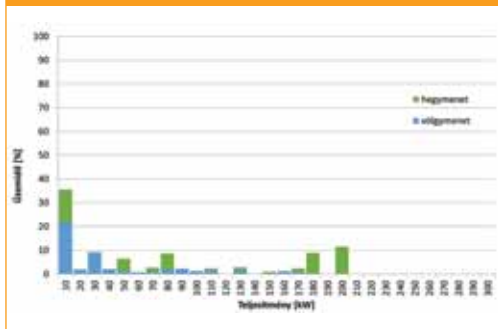


3. ábra: Völgymenet üzemi profil



Az előző két ábrából kitűnik, hogy völgymenetben a folyó sodrása miatt a hajónak a menetrend biztosításához messze elegendő sebessége van, a hajtógépet alig kell terhelni, azt is csak inkább a kikötési manőverek során és a hosszabb állomások közötti távolságok esetén (ahol nagyobb sebességre gyorsítható a hajó). Látható továbbá, hogy hegymenetben is az üzemidő nagy százalékában maximum 2/3 teljesítményen üzemel a motor, ami a kis állomások közötti távolságnak is köszönhető. Az egyesített diagramból (4. ábra) megállapítható, hogy az üzemidő legnagyobb részében a hajó csak kifejezetten kis teljesítményt igényel, tehát a beépített 265 kW-os teljesítményű főgép alacsony kihasználtság mellett, gyakorlatilag mindig részterhelésen üzemel.

4. ábra: A teljes menetciklus (egy forduló) üzemeltetési profilja



Mindezek a közelítő eredmények arra mutatnak, hogy mindenképpen érdemes megvizsgálni egy ehhez az üzemi profilhoz jobban igazodó hajtásrendszer beépíthetőségének lehetőségét és alkalmazásának gazdaságosságát.

Az itt közölt közelítő számításból származó eredmények jellegre és minőségileg nagyon jól közelítik a valóságot, így kvalitatív értékelésre mindenképpen alkalmasak. Célunk elsősorban annak bemutatása, hogy milyen módszerrel lehet elemezni, számszerűsíteni egy hibrid hajtás létjogosultságát. Ehhez a fenti közelítő eredmények kiválóak. A tényleges hajóra vonatkozó vizsgálattal kapcsolatban azonban szükségesnek tartjuk megjegyezni, hogy az üzemi profilt mindenképpen célszerű mérés-sel verifikálni.

2.3. A segédüzem energiaigénye

A hajó – amint elszakad a parttól – egy teljesen autonóm rendszer, amelyben minden szükséges energiát a fedélzeten kell megtermelni. A hajó üzeméhez szükséges egyéb (tehát a hajtáson kívüli) eszközök, berendezések energiaellátását a segédüzemi rendszer végzi. Mivel a fogyasztók jellemzően elektromos energiát igényelnek, így ez a rendszer általános esetben egy dízelmotor-generátor egységből és a hozzátartozó elektromos elosztórendszerből áll.

A mintául szolgáló hajótípuson ilyen klasszikus segédüzemi rendszer nincs, és sajnálatos módon egyelőre a segédüzem energiaigényéről sincs elegendő információ. Jelenleg a segédüzemben működő elektromos fogyasztókat akkumulátorokról szolgálják ki, amelyeket a főmotor generátora tölt. A gyakorlat mutatja, hogy a beépített akkumulátorokkal csak a mindenképpen szükséges fogyasztók igénye elégíthető ki, és az olyan kényelmi berendezések, mint egy megfelelő teljesítményű klímaberendezés, ilyen módon már nem látható el energiával.

Fentiek miatt a hibrid hajtás elemzésénél a segédüzem energiaigényével nem számolunk (sem a hagyományos sem a hibrid változatra), így az összehasonlítás nem lesz torz. Megjegyezzük azonban, hogy általában véve minél nagyobb egy hajón a segédüzemi villamosenergia-igény, annál inkább valószínű, hogy egy hibrid vagy dízel-elektromos hajtásrendszer összességében kedvezőbb energiafogyasztást eredményez.

3. A HIBRID HAJTÁS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI HAJÓKNÁL

Ahogy a szabad pályán mozgó szárazföldi járművekre, így a hajókra is jellemző, hogy a szükséges mozgási energiát a hajón lévő energiaforrásból, a propulziós hajtásrendszerrel állítják elő. Az energiát jellemzően kémiai energia formájában tárolják a fedélzeten (pl. fosszilis tüzelőanyagok, akkumulátor), de rendelkezésre állhat az a mechanikai (pl. vitorlás hajó, lendkerekes hajó, köteles komp), hő- (pl. gőztartályos motorcsónak) vagy belső energia (pl. pneumatikus vagy hidraulikus hajtás) formájában is.

Amikor a hajó mozgási energiáját több, különböző fajtájú energiaforrás is biztosíthatja, a propulziós hajtásrendszert hibrid hajtásnak nevezzük. A hibrid hajtásokat alapvetően a hibrid hajtásrendszer célja és az energialánc felépítése szerint lehet csoportosítani:

3.1. Csoportosítás a hibrid hajtásrendszer célja szerint

A hibrid hajtásrendszer célja szerinti összehasonlítás az egyes megoldásokkal megvalósítandó elsődleges feladat szerinti értékelést jelenti, de emellett a másodlagos jellemzők is rendkívül nagy befolyással vannak a megfelelő rendszer kiválasztásában. A jelenleg ismert hibrid hajtásoknál alapvetően négy fő feladat különböztethető meg:

3.1.1. Energiahatékonyság

A hibrid hajtáslánc kialakításának alapvető célja, hogy a hagyományos (vagy más) hajtásrendszerekhez képest jobb hatásfokkal használják fel az energiát a hajó (nem csak a meghajtás, hanem az egyéb fedélzeti fogyasztók) energiaigényének fedezésére. A hibrid hajtáslánc elemeinek meghatározása során, úgy választják meg az összetevőket, hogy a hajó különböző üzemiállapotaiban az egyes gépegségek az optimális (legjobb hatásfokú) munkapont körüli üzemben működjenek. A szárazföldi járműveknél az energiahatékonyságot növelheti a féküzem közbeni energiavisszatáplálás, azonban a hajóknál ez üzembiztosan és gazdaságosan még nem kivitelezhető.

Jellemzően a változó teljesítménykihasználású hajóüzemnél lehet a hibrid hajtással energiahatékonyságot növelni (ezzel együtt üzemanyag-fogyasztást csökkenteni), amire jó példák a szállodahajók, a tengeri ellátó hajók.

3.1.2. Fajlagos tömegcsökkentés

Elsősorban a nagysebességű hajóknál, illetve a katonai vízi járműveknél megjelenő elsődleges tervezési szempont. Ekkor az energiaátalakítás hatékonysága helyett a hajtásrendszer teljesítmény – tömeg aránya fontos, mivel a nagy sebesség elérése, vagy a hasznos hordképesség növekedése érdekében a hajó önsúlyát csökkenteni kell. Például egyes tengeri kompoknál a nagysebességű haladás teljesítményigényét gázturbinával, a normál sebességű haladásnál pedig kisebb teljesítményű dízelmotorral biztosítják, amelyek összehajtó hajtóművön keresztül ugyanazt a hajócsavart forgatják a különféle üzemiállapokban.

3.1.3. Környezetterhelés

Jóllehet a hajózás a legkisebb környezeti terheléssel járó szállítási mód, a hajók károsanyag-kibocsátása egyre jelentősebb tervezési szempont. Gyakran összekeverik e szempontot az energiahatékonysággal, ugyanis ha egy hibrid meghajtási rendszer jobb hatásfokkal hasznosítja az energiaforrásokat, csökken az üzemanyag-fogyasztás, s vele együtt a hajó lokális emissziója.

Azonban előfordulhatnak olyan tervezési hátrátparaméterek, amelyek kis emissziójú, de rosszabb energiahatékonyságú, valamint egy nagyobb emissziójú, de jobb energiahatékonyságú hajtás együttes jelenlétét teszik szükségessé egy hajón. Ekkor a teljes hajóüzemben felhasznált energia több, mint ha csak a jobb energiahatékonyságú rendszer üzemelne. Ilyen tervezési feltétel lehet például, hogy a hajó tervezett útvonalán vezet keresztül, vagy a hajótulajdonos bizonyos üzemiállapokban (pl. kikötői manőverezés) emisszió nélküli hajót szeretne üzemeltetni.

Megjegyezzük, hogy a környezetterhelés és az energiahatékonyság kérdését nem csak az adott hajó által elfogyasztott üzemanyag és az üzemeltetés során kibocsátott káros anyag te-

kintetében lehet vizsgálni, hanem a hajó teljes életciklusában felhasznált energiaforrások és emisszió szempontjából is („well to wheel”). A lokális és a teljes életciklusú megközelítés sok esetben ellentétes eredményt ad. Például egy „tisztá”, elektromos meghajtású hajó lokális károsanyag-kibocsátása nulla, azonban az akkumulátorok gyártástechnológiája és a töltéshez használt villamos hálózat előállítása miatt a teljes üzemanyag-fogyasztás és a teljes emisszió nagyobb, mintha egy dízelmotor biztosítaná a meghajtást.

3.1.4. Gazdaságosság és eladhatóság

A hibrid hajtásrendszer konstrukciók általában költségesebbek, mint a hagyományos meghajtások, mivel több, bonyolultabb és sokszor egyedi gyártású rendszerelemet tartalmaznak. Azonban a nagy teljesítményigényű, változó teljesítménykihasználású hajóknál az egyedi gyártású nagy teljesítményű motor beépítése helyett, a több kisebb teljesítményű meghajtó egységből (akár hibrid rendszerben) felépített meghajtás akár olcsóbb is lehet. Ezen kívül az energiahatékonyságot növelő hibrid rendszerek csökkentik az üzemeltetési költséget, így a beruházás megtérülési ideje rövidebb lehet a hagyományos meghajtáshoz képest.

A hibrid hajtásrendszerek emellett újdonságuk miatt nagy marketingértéket is képviselnek, amivel könnyebben lehet finanszírozási forrást találni, valamint a „hibrid” jelző a hajó piaci árát is növelheti. Ezek a „marketing hibrid” megoldások inkább a kedvtelési célú hajókra jellemzők, ahol a hajó újdonsága és különlegessége fontosabb szempont, mint az, hogy a hajóüzemben nincs vagy csak nagyon kevés olyan üzemállapot van, ahol a hibrid hajtás adta előnyök érvényesülhetnek.

3.2. Csoportosítás a hibrid hajtás energialánc felépítése szerint

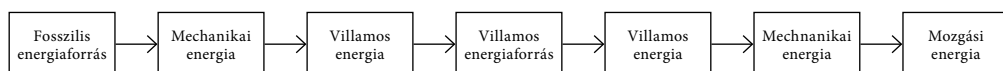
A hibrid hajtások energialánc felépítése szerinti csoportosítás a hajó mozgási energiájának az energiatárolókból történő előállítás módját vizsgálja. Három különböző elvet lehet megkülönböztetni:

3.2.1. Soros hibrid hajtásrendszer

A soros hibrid hajtásrendszer jellemzője, hogy a hajó meghajtásához szükséges mechanikai energiát egy erőgép (főgép vagy hajtómotor) biztosítja, amely a fedélzeten tárolt energiaformák közül csak az egyiket használja. Ettől eltérő fajtájú energiatárolókból történő üzemeltetéshez szükséges egy erőgép – munkagép gépcsoport (generátor gépcsoport), amely a hajtómotorhoz szükséges energiaformára alakítja át az energiatárolókban egyéb formában tárolt energiát. A generátor gépcsoport a hajókon legtöbb esetben fosszilis üzemanyagot (másodlagos energiatároló) hasznosít, s egy belső égésű motorral először mechanikus energiává, majd a generátorral (hidraulikus vagy elektromos) a hajtómotorhoz szükséges energiaformát állítja elő. A hajtómotor közvetlenül vagy az elsődleges energiatárolón keresztül táplálható a generátor egységről.

A gyakorlati megvalósításoknál a hajtómotor elektromos, pneumatikus vagy hidraulikus energiát használ. Az energiaelőállítás relatív rossz hatásfoka miatt a hidraulikus és pneumatikus rendszereket elsősorban úszó munkagépeken használják, ahol a fő gépüzem a hidraulikus vagy pneumatikus fedélzeti gépekkel történő munkavégzés, s a hajó hajtása csak másodlagos. Soros hibrid meghajtású hajóknál inkább a villamos energia az elsődleges energiaforma, mert előállítása és felhasználása relatív jó hatásfokkal történik, illetve jól szabályozható.

5. ábra: A soros hibrid hajtás energialánca



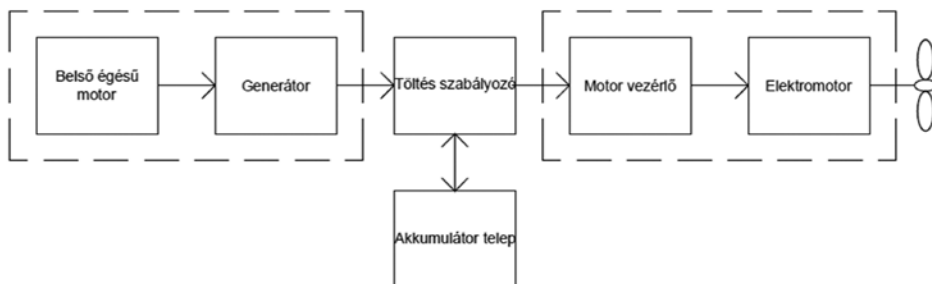
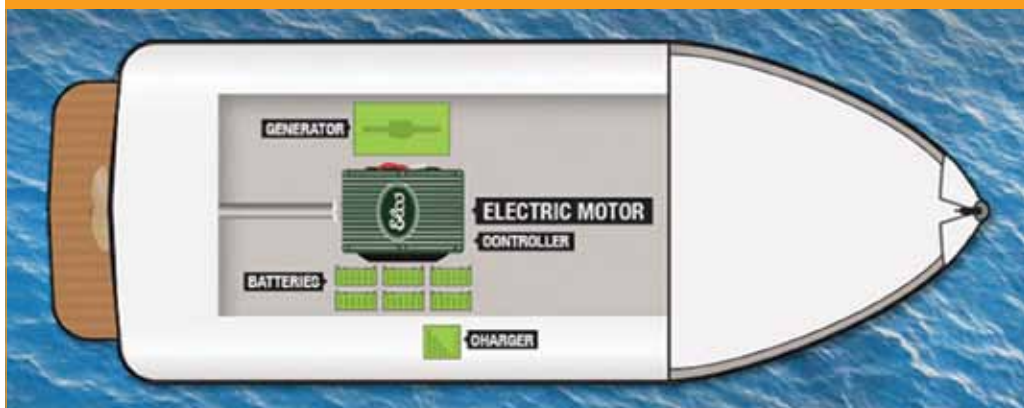
A soros hibrid rendszerek előnye, hogy a meghajtó motor közvetlenül hajtja a hajócsavart, így nincs szükség irányváltó vagy fordulatszám-változtató hajtóműre. További előny, hogy a fosszilis tüzelőanyagból elektromos energia előállítását több generátor-gépcsoportra lehet bontani, így a hajó részterheléses üzemeiben az energiatermelés egyenletesen szétosztható az egységek között úgy, hogy azok az optimális munkapont közelében üzemelhessenek. A géptéri elrendezés és a hajótest kialakítás tekintetében is kedvező a soros hibrid hajtás, mert a generátor gépcsoportok helye nem kötött. Mint minden elektromos energiatárolóval is rendelkező hibrid hajtásnál, a soros megoldásnál is fennáll az energiatárolók

partról történő töltése, ami a fosszilis üzemanyagoknál olcsóbb lehet.

A soros hibrid meghajtás hátránya viszont, hogy a többszöri energiaátalakítás miatt a fosszilis energiahordozó felhasználása rosszabb hatásfokú, mint más kialakításoké.

A soros hibrid hajtást jellemzően az erősen változó teljesítménykihasználású hajókon alkalmazzák, úgy, hogy a villamosenergia-tároló egyfajta tartalék tárolóként működik a belső égésű motor terhelésének kiegyenlítésére, azaz a legjobb hatásfokú üzemben történő működtetésére.

6. ábra: Példa egy soros hibrid hajtás felépítésére (forrás: www.elcomoryachts.com)



A 6. ábra egy soros hibrid hajtás elvi vázlatát mutatja, amely öt különböző üzemállapotban működhet:

- a belső égésű motorgenerátor egység nem üzemel, a hajót meghajtó elektromotort az akkumulátor telepről hajtják meg;
- a belső égésű motorgenerátor egység által szolgáltatott villamos teljesítmény egészét a meghajtó elektromotor veszi fel, az akkumulátorok nem töltődnek;
- a belső égésű motorgenerátor egység által szolgáltatott villamos energia egyik részét a meghajtó motor, másik részét az akkumulátorok töltése használja fel;
- a meghajtó elektromotor energiaigényét a belső égésű motorgenerátor egység és az akkumulátorok együttesen biztosítják;
- a hajó áll, így a meghajtó elektromotor nem igényel villamos energiát, s a belső égésű motorgenerátor egység tölti az akkumulátorokat.

3.2.2. Párhuzamos hibrid hajtásrendszer

A párhuzamos hibrid hajtásrendszer jellemzője, hogy a hajó meghajtásához szükséges mechanikai energiát több, különböző energiaforrást használó erőgép biztosítja. Vagyis az egyes motorok egymástól függetlenül, vagy egymást segítve is működtethetik a propulziós egységet, a fedélzeten tárolt energiaformák közvetlen hasznosításával. Alapvetően nincs elsődleges vagy másodlagos energiaforrás, a fontossági sorrendet a különféle hajóüzemek állítják fel. A meghajtó motorok egy összehajtó hajtóművön keresztül hajtják meg a közös propulziós egységet, esetleg az egyes motoroknak külön propulziós rendszere van. Ez utóbbi megoldás ritkán fordul elő a duplikált propulziós rendszerek bonyolultsága és költségessége miatt.

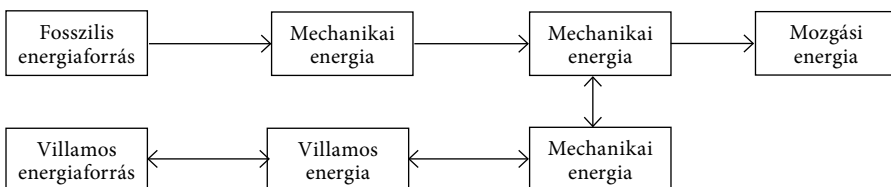
A párhuzamos hibrid hajtásoknál legtöbbször az egyik erőgép egy belső égésű motor, míg a másik egy elektromos motor. Ezek fosszilis tüzelőanyagot és villamos energiaforrást (akkumulátor, szuperkapacitás, üzemanyagcella, stb.) hasznosítanak, s állítanak elő mechanikai energiát, amivel az összehajtó hajtóművön keresztül meghajtják a propulziós egységet, általában hajócsavart.

A párhuzamos hibrid rendszerek előnye, hogy az energiahordozók felhasználása a lehető legkevesebb átalakítással, azaz veszteséggel történik, így a hajtás energiahatékonysága jobb, mint a soros hibrid hajtásoké (a fosszilis energia felhasználást tekintve). Az egyes meghajtó motorok jellemzően eltérő hajóüzemet szolgálnak ki, így a párhuzamos hajtáslánccokat optimalizálni lehet az üzemeltetési profiltól megállapított egyes hajóüzemállapotokra.

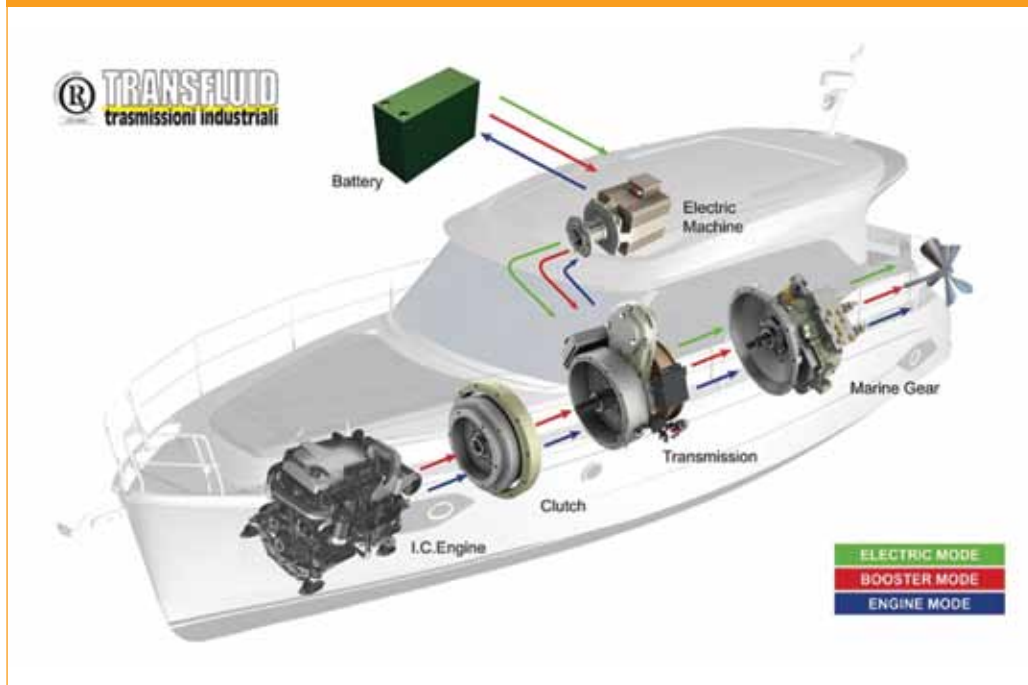
A párhuzamos hibrid meghajtás hátránya, hogy bonyolult mechanikai rendszereket (összehajtó hajtómű, üzemmód leválasztó tengelykapcsolók, üzemmód vezérlés, stb.) követel a mechanikai teljesítmények összehajtása, ami különösen nagy teljesítményszintek esetén problémás. A soros rendszerhez képest a párhuzamos hibrid hajtás megköti a tervező kezét a géptéri elrendezés és ezáltal a hajótest forma kialakításánál.

A párhuzamos hibrid hajtásrendszereket olyan hajókon szokták alkalmazni, ahol az üzemeltetés során több, eltérő teljesítmény szintű hajóüzem különböztethető meg pl. gyors haladás, lassú haladás, terhelt/terheletlen állapot, munkavégzés, pozícióban tartás, stb.

7. ábra: A párhuzamos hibrid hajtás energialánca



8. ábra: Példa egy párhuzamos hibrid hajtás felépítésére
 Forrás: www.transfluid.eu



A 8. ábra egy párhuzamos hibrid hajtás vázlatát mutatja, amely három különböző üzemlében működik:

- a belső égésű motor hajtja a propellertengelyt, míg az elektromotor terhelés nélkül szabadon vagy generátor üzemmódban forog;
- az elektromotor hajtja a propellertengelyt az akkumulátorokban tárolt energia felhasználásával. A belső égésű motor nem üzemel, és egy tengelykapcsolóval leválasztják a hajtásrendszeről;
- a propellertengely hajtásához szükséges teljesítményt a belső égésű motor és az elektromos motor közösen biztosítja. Ezáltal mind a fosszilis, mind az akkumulátorokban tárolt energiát fogyasztják.

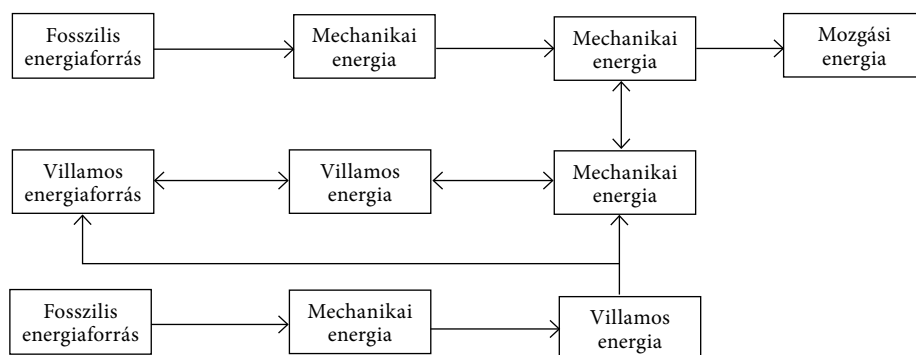
3.2.3. Vegyes hibrid hajtásrendszer

A vegyes hibrid hajtásrendszer a soros és a párhuzamos rendszer előnyeit próbálja egyesíteni és a hátrányos tulajdonságokat

csökkenteni. Jellemzője, hogy a hajó meghajtásához szükséges mechanikai energiát (a párhuzamos hajtáshoz hasonlóan) különböző energiaforrásokból állítják elő, a fedélzeten tárolt energiaformák közvetlen hasznosításával. Azonban a hajtásnak lehet olyan üzemmódbja, amikor az egyik energiaforrást egy másik meghajtó erőgépet által igényelt energiaformára átalakítva hasznosítják (soros hajtás).

A vegyes hibrid hajtásoknál a propulziós egység meghajtó erőgépe – hasonlóan az előzőekhez – belső égésű motor és elektromos motor, azonban a fosszilis energiaforrás felhasználására belső égésű motor-generátor egység is rendelkezésre áll, amivel a villamosenergia-tárolók tölthetők vagy az elektromos meghajtó motor üzemeltethető. A generátor egység belső égésű motorja lehet a propulziós egységet meghajtó „párhuzamos” meghajtó erőgép (tengelygenerátor) is, de lehet a hajóüzemi segédenergia előállítására használt generátor egység (segédgép) is.

9. ábra: A vegyes hibrid hajtás energialánca



A vegyes hibrid rendszerek előnye a rugalmasság, vagyis az elkülönülő hajó üzemmódok külön-külön is, de az egyes üzemmódok változó teljesítménykihasználás kiegyenlítése is megvalósítható. Megfelelő hajtásrendszer-vezérléssel az optimális üzemállapotok (akár üzemanyag fogyasztás, akár az emisszió vagy más paraméter a fontos) beállíthatók.

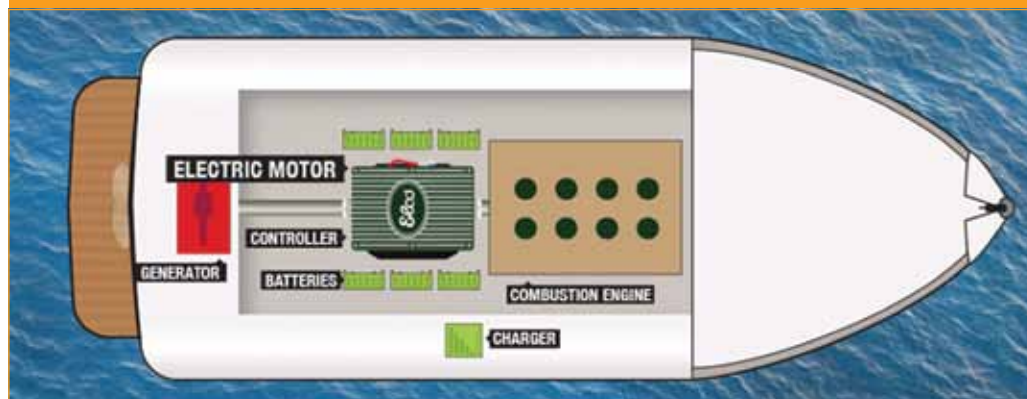
A vegyes hibrid meghajtás hátránya, az összetettsége, a bonyolult mechanikai és vezérlési rendszerek költségessége. A hajtásrendszer minden egyes hajónál egyedi és gondos tervezést igényel, mind a belső tér, mind a hajótest kialakításánál.

A vegyes hibrid hajtásrendszereket olyan hajókon alkalmazzák, ahol az üzemeltetés során a változó teljesítménykihasználás és a több, eltérő teljesítményszintű hajóüzem is megjelenik.

A 10. ábra egy vegyes hibrid hajtás vázlatát mutatja, amely öt különböző üzemállapotban működik:

- a belső égésű motor hajtja a propellertengelyt, míg az elektromotor terhelés nélkül szabadon forog, vagy egy tengelykapcsolóval leválasztják a hajtásról;
- a propellertengely hajtásához szükséges teljesítményt a belső égésű motor és az elektromotor együtt biztosítja.

10. ábra: Példa egy vegyes hibrid hajtás felépítésére (forrás: www.elcomotoryachts.com)



romos motor közösen biztosítja. Az elektromos motor energiaigényét a segédgép vagy az akkumulátorok biztosítják;

- a belső égésű motor nem üzemel, a hajót meghajtó elektromotor az akkumulátor telepről vagy a segédgépről hajtják meg;
- a belső égésű motor leválasztják a hajtásrendszerrel, de a tengelygenerátor által szolgáltatott villamos teljesítményt a meghajtó elektromotorra és/vagy az akkumulátorok töltésére fordítják;
- a hajó áll, így a meghajtás nem igényel energiát, s a belső égésű motor a tengelygenerátorral vagy a segédgéppel tölti az akkumulátorokat és kiszolgálja a segédüzemet.

4. A FIKTÍV HAJÓ JELLEGZETES ÜZEMÁLLAPOTAI

Az üzemeltetési profil adatait felhasználva készíthetünk egy menetdiagramhoz hason-

11. ábra: "Menetdiagram" hegymenetre



ló, azonban az „y” tengelyen nem a sebességet, hanem a teljesítményigényt az üzemidő függvényében ábrázoló diagramot, amelyből a hajó és hajtásrendszerének üzemállapotai jobban láthatók. Hegy- és völgyemenetre ezeket a diagramokat a 11.-12. ábrák mutatják.

Látható, hogy hegymenetben az üzemidő egy jelentős részében a hajó mozgása kb. 175-200 kW teljesítményt igényel. Ezen kívüli időben a teljesítményigény nem éri el a kb.

75 kW-ot. Völgyemenetben rövid időtartamot leszámítva a szükséges teljesítmény szintén kb. 85 kW alatt marad, néhány 120 kW körüli „csúcs” látható csak. Az ábrán pirossal bekarikázott „csúcsok” a 120 kW-nál számottevően nagyobb, 150-160 kW-os csúcsok, de a tényleges menetdiagramot (sebesség-idő összefüggés) megnézve kiderül, hogy a hajó itt csak tized csomókkal megy gyorsabban. A nagyobb teljesítményt a hajó ellenállásgörbéjének meredekebben emelkedő

12. ábra: "Menetdiagram" völgyemenetre



szakasza eredményezi. Célszerű tehát a sebességet kismértékben csökkenteni, így ezek a nagyobb teljesítményigények is 120 kW körüli értékre redukálhatók. Az adatokból az is számszerűsíthető, hogy hegymenetben az üzemidő több, mint 50%-ban, völgy menetben kb. 85%-ban, összesítve, teljes menetciklusra kb. 68%-ban kisebb a teljesítményigény 85 kW-nál. A 175-200 kW-os teljesítményigény a teljes ciklusidő 18%-ban, 120 kW körüli igény pedig mintegy 5%-ban lép fel. Egyéb részteljesítményre marad kb. 9%. Látható, hogy a fenti bontással három markánsan elkülönülő üzemmódot lehet definiálni, ezek a következők:

- Alap (A) állapot (0-85 kW): völgymeneti normál sebességű haladás, hegymeneti kis sebességű haladás (manőverezés);
- Közepes (K) állapot (120 kW) körüli teljesítmény: völgymeneti csúcssebességen haladás;
- Csúcs (CS) állapot (175-200 kW): hegymeneti csúcssebességen haladás.

Völgymeneti haladáskor a K és A állapot felső határa közötti sebességkülönbség kevesebb mint 1 km/h, amely a teljes sebesség kb. 5%-át jelenti. Elképzelhető, hogy a menetrend kismértékű módosításával biztosítható lenne egy olyan völgymeneti üzem, amelyben a teljesítményigény sehol sem haladja meg a 85 kW-ot. Ez biztosan javítana az energiakihasználás hatékonyságán.

Az ilyen formában megadott menetdiagramok alatti terület gyakorlatilag az ahhoz az üzemhez szükséges összenergia mennyiségét adja. Hegymenetre ez 196 kWh-t, völgymenetre pedig – a korábban említett két csúcs 120 kW-ra vételével – 59 kWh-t jelent.

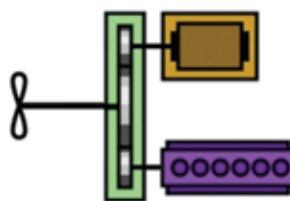
5. LEHETSÉGES HAJTÁSRENDSZER VÁLTOZATOK A FIKTÍV HAJÓNÁL

A vizsgált mintahajó esetében kézenfekvő hajtásrendszer a hajócsavar hagyományos dízelmotorral, irányváltó hajtóművön keresztül történő meghajtása. Azonban a korábbi fejezetekből (3. és 4. fejezetek) már körvonalazhatók az olyan hajtásrendszer-megoldások, amelyek további vizsgálatra ér-

demeseek, elsősorban az energiahatékonyság szempontjából.

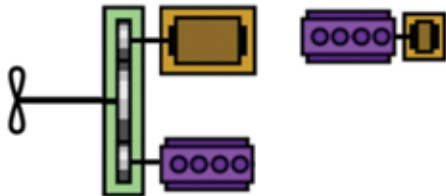
Az egyik ilyen megoldás az a párhuzamos hibrid rendszer lehet, amelyben az A állapotban egy 85 kW-os elektromos motor adja a hajtási teljesítményt akkumulátortelepről táplálva, K állapotban egy megfelelő teljesítményű dízelmotort optimális munkapontjában járattva a teljesítmény egy része mechanikus hajtást biztosít a propellernek, miközben a hajtáshoz szükségtelen teljesítménnyel az összehajtoművön keresztül az „A” állapotban motorként, ilyenkor pedig generátorként üzemelő elektromos gépet hajtva tölti az akkumulátorokat. CS állapotban a dízelmotor és az elektromos motor együttesen biztosítja a hajtáshoz szükséges csúcsteljesítményt. A dízelmotor teljesítményét úgy kell meghatározni, hogy a hegymeneti üzemeltetése során, figyelembe véve a hegymeneti teljesítményigényt, elegendő teljesítményt szolgáltatson olyan mennyiségű/kapacitású akkumulátorok töltéséhez, amellyel az „A” és CS” üzemmódotok villamosenergia-igénye is kiszolgálható.

13. ábra: 1. variáció



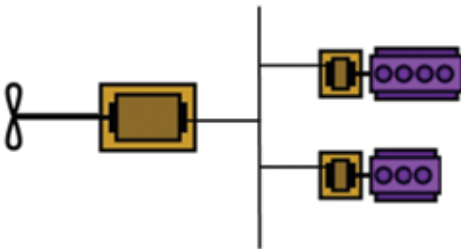
Másik lehetséges megoldás egy vegyes hibrid rendszer, amelynek elsősorban akkor lehet létjogosultsága, ha a jelenleg nem teljes mértékben kielégített segédüzemi energiaigényt egy külön dízelaggregátornak egyébként is biztosítania kell. Ebben a változatban a hajtáshoz használt dízelmotor az előző változattól eltérő teljesítményű lehet, hiszen a segédaggregátor megfelelő méretezésével az akkumulátorok is tölthetők.

14. ábra: 2. variáció



Ennek kapcsán felmerülhet a nem hibrid, hanem a klasszikus dízel-elektromos megoldás is, amelyben két megfelelően méretezett, különböző teljesítményű dízelaggregátor elektromos energiát termel mind a fő- mind pedig a segédüzem számára és a propeller hajtását egy elektromos motor biztosítja.

15. ábra: 3. variáció



Az egyes variációk üzemeltetési költségekre gyakorolt hatását kell elsődlegesen vizsgálni, és amennyiben ezen a területen megtakarítás várható, akkor kell a nyilvánvalóan nagyobb beruházási költségek várható megtérülésének kérdésével foglalkozni.

A következőkben a hagyományos dízelmotoros meghajtás és a párhuzamos hibrid hajtás 1. variációjának közelítő energetikai számítását mutatjuk be, különös tekintettel az üzemeltetési profil alapján egy menetciklusra számított várható üzemanyag-fogyasztásra.

5.1. Hagyományos dízelmotoros hajtásrendszer

A mintahajónak tekintett BKV100 típusú hajó propulziós rendszere jelenleg a hagyományos dízelmotoros hajócsavar hajtás. Ez a dízelmotor erőforrásból, irányváltó hajtóműből, tengelyrendszerből és a hajócsavarból áll.

16. ábra: Hagyományos hajtásrendszer vázlat



A hajtáslánc elemeiről és a hajótestről nem állnak rendelkezésre olyan részletes információk, amelyekkel pontosan kiszámíthatnánk a hajó egy menetciklusára eső üzemanyag-fogyasztását, ezért a szakirodalmi adatok alapján közelítő számítást végzünk. A hajtáslánc elemeinek paramétereit a következők szerint becsüljük.

- Főgép (dízelmotor)

A Doosan L126 TIH motor adatlapjáról [6] a motor teljes töltéséhez tartozó jelleggörbéje áll rendelkezésre (17. ábra), ami a fordulatszám függvényében mutatja a leadott tengelynyomatékot (M_0), illetve a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztást (BSFC₀).

17. ábra: Doosan L126 TIH jelleggörbéje



Az üzemeltetési profil részterheléses állapotokban a motor fajlagos fogyasztását (BSFC) a fajlagos üzemanyag-fogyasztási térkép (vagy felület) alapján lehet meghatározni. Ez sajnos nem áll rendelkezésünkre ennél a motornál, ezért a számításához egy hasonló motor üzemanyag-fogyasztási térképét [7] torzítjuk a Doosan-motor ismert jelleggörbe adatai segítségével (18. ábra).

- Irányváltó hajtómű és tengelyrendszer
Az energetikai számításhoz, a hajtómű fordulatszám módosítása [4, 5] alapján $i=2,51$, illetve a propulziós rendszer mechanikai hatásfokát [8] alapján $\eta_{\text{mech}}=0,97$ -re becsüljük.

- Hajócsavar
A BKV100 típusú hajókról rendelkezésre álló információk alapján a hajócsavart az alábbi táblázatban szereplő paraméterekkel jellemezhető Wageningen B típusú hajócsavarnak tekintjük.

- Hajótest
A hajótest tolóerő igényét az üzemeltetési profil meghatározásánál (1. fejezet) említett érdes hajótest felületre végzett ellenállás számítás eredményei szerint, [8] alapján becsült

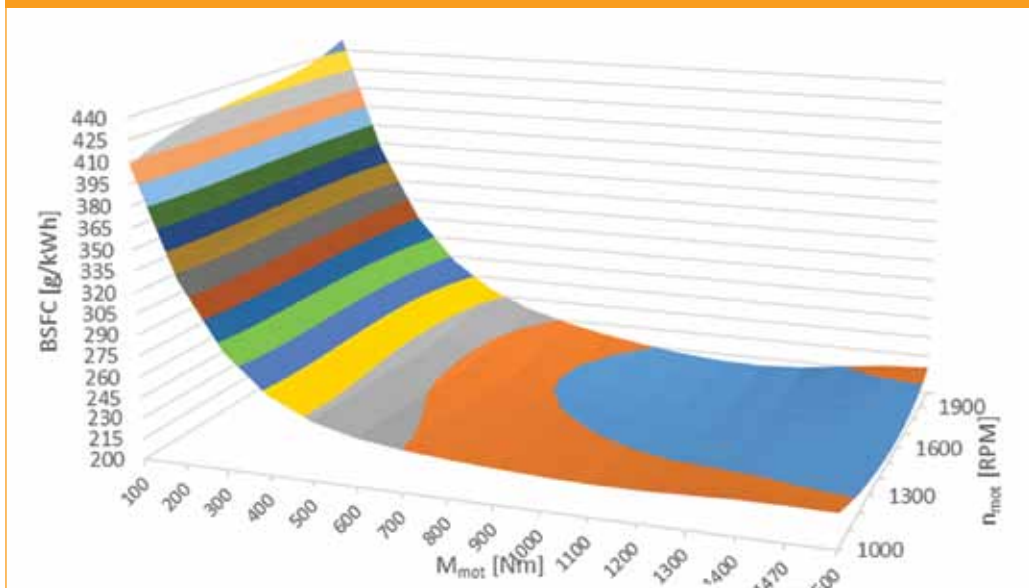
$t=0,11$ értékű szívási tényezővel számítjuk. A hajótest – propeller együttműködését ezen kívül (szintén [8] alapján) $w=0,36$ soror tényezővel, és $\eta_F=0,94$ forgási tényezővel jellemezzük.

A hagyományos dízelmotoros hajócsavar hajtásnál tehát a becsült hajtásrendszer adatokkal számítható a menetdiagram (3. fejezet) egyes sebességeihez a hajó effektív teljesítménye (P_{eff}), a hajócsavar és a motor fordulatszáma (n_{mot}), a teljes propulziós hatásfok (η_p), s ebből a motor teljesítménye (P_{mot}) és nyomatéka (M_{mot}). A becsült fajlagos üzemanyag-fogyasztás térképpel meghatározható a hajó fajlagos üzemanyag-fogyasztása is az egyes (holt vízi) menetsebességeknél (v).

2. táblázat: BKV100 hajócsavar adatok

Megnevezés	Jelölés	Érték
Hajócsavar átmérő	D [m]	0,9m
Emelkedés viszony	P/D	0,776
Nyújtott felületarány	A_D/A_0	0,625
Propeller szárny szám	z	4

18. ábra: Doosan L126TIH becsült fajlagos üzemanyag-fogyasztási térképe



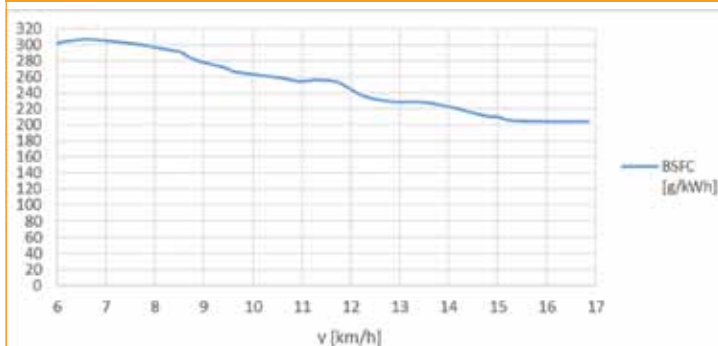
Az ábrából látható, hogy a hajó fajlagos üzemanyag-fogyasztása (BSFC) alacsonyabb sebességeknél (azaz részterhelésen) jelentősen nő, akár másfélszerese is lehet a tervezési sebességéhez képest.

A hajó menetciklusa alapján, az egyes sebességekkel eltöltött időintervallumok (Δt), fajlagos üzemanyag fogyasztás (BSFC) és motorteljesítmény (P_{mot}) szorzatait összegezve, a minta BKV 100 hajó becsült üzemanyag fogyasztása a teljes menetciklusban 62,65kg.

5.2. Párhuzamos hibrid megoldás

Ebben a változatban a legfontosabb kérdés a dízelmotor teljesítményének célszerű megválasztása. Első közelítésben a dízelmotor hegymenetben a teljes időtartam alatt kb. névleges teljesítményen, völgymenetben pedig csak szükség (85 kW feletti teljesítményigény) esetén üzemelne. A dízelmotor-teljesítményt úgy kell megválasztani, hogy az ez alatti teljesítményszinthez hegymenetben szükséges energia mellett a völgymeneti teljes energiát és a hegymeneti, választott névleges teljesítményszint felett szükséges villamos energiát is megtermelje abban az időben, amikor a hegymeneti teljesítményigény kisebb a névleges motorteljesítménynél (az energiaátalakítás veszteségeit is figyelembe véve). A dízelmotor teljesítménye a maximális teljesítményigény és a villanymotor teljesítményének (85 kW) különbségénél kisebb nem lehet annak érdekében, hogy a hegymeneti csúcsteljesítmény-igény is kielégíthető legyen.

19. ábra: Becsült sebesség - fajlagos üzemanyag-fogyasztás



Ez a vizsgált esetben min. 115 kW-ot jelent. A teljesítmény meghatározásához a korábban mutatott hajtási energiaszükséglet használható. A „menetdiagramok” felhasználásával kiszámítottuk, hogy mekkora az adott menetszakaszon a mechanikai és villamos energiaigény, illetve, hogy egy választott dízelmotor-teljesítmény esetén a járó dízelmotor mekkora elektromos energiává alakítható mechanikai többletenergiát termel. A teljes ciklusra vonatkozó elektromos energiaigény és veszteségekkel növelt előállítható elektromos energia összevetése után meghatározható az a teljesítményű dízelmotor, amellyel a feladat megoldható. Az energiaátalakítás, akkumulátor töltés és merítés veszteségét első közelítésben összesen 85%-ra vettük. Az így kapott teljesítménnyel és a motor fajlagos fogyasztásával a ciklusra eső teljes fogyasztás már számítható. A vizsgált teljesítménytartományban a gyártók által közölt adatok szerint a motorok fajlagos fogyasztása gyakorlatilag azonos, ezért a számításokhoz egy, a BKV hajókban jelenleg is használt Doosan- motor fogyasztását vettük alapul. A számítás eredményei a 3. táblázatban láthatók.

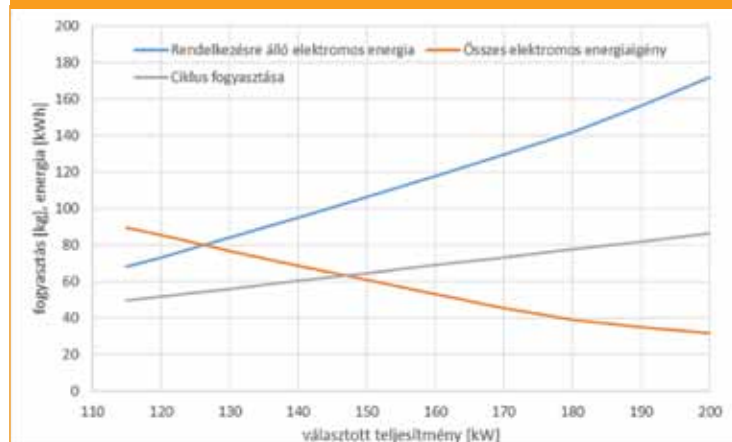
3. táblázat: A célszerű motorteljesítmény számítása

	választott motorteljesítmény [kW]									
	115	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Rendelkezésre álló elektromos energia [kWh]	68.0	73.3	84.3	95.2	106.5	117.8	129.4	142.0	156.4	171.6
Összes elektromos energiaigény [kWh]	89.7	85.3	77.1	68.9	61.0	53.1	45.6	39.3	35.2	31.9
Ciklus fogyasztása [kg]	49.6	51.7	56.1	60.4	64.7	69.0	73.3	77.6	81.9	86.2

A számokból és a 20. ábrán levő diagramból kiderül, hogy a vizsgált esetben már egy 130 kW-os dízelmotor hegymeneti folyamatos és völgymeneti rövid idejű (amikor a szükséges teljesítmény a 85 kW-os villanymotorral nem fedezhető) névleges teljesítményen való járatása mellett biztosítható mind a völgymeneti, mind pedig a hegymeneti nagyobb sebességekhez szükséges elektromos energia.

A bemutatott párhuzamos hibrid hajtás (130 kW dízelmotor+85 kW villamos motor) egy menetciklusra vonatkozó becsült üzemanyag-fogyasztását összehasonlítva a hagyományos dízelhajtásával megállapítható, hogy a hajó a hibrid hajtással kb. 10,5% üzemanyag-megtakarítás érhető el. Persze a mintahajó üzemanyag-fogyasztás számítása nagyon sok közelítéssel és becsült adattal történt, ezért ez a számszerű eredmény nem tekinthető mérvadónak. Azt azonban jól mutatja, hogy lehetséges gazdaságosabb üzemeltetést elérni a hibridhajtás-rendszerekkel a változó teljesítmény kihasználású hajóknál, jóllehet a szárazföldi járművekkel ellentétben a féküzemi energiavisszatáplálás hajóknál nem lehetséges. Továbbá az üzemanyag-fogyasztás különbség és a számítás menete rámutatott arra is, hogy a hibrid hajtás létjogosultságát csak pontos üzemeltetési profil és hajtásrendszer adatok (üzemanyag-fogyasztási térkép, hajótest ellenállás, gépek hatásfok diagramjai, stb.) ismeretében lehet energetikai számítással megítélni.

20. ábra: A célszerű motorteljesítmény kiszámítása



6. GAZDASÁGOSSÁGI KITEKINTÉS ÉS KONKLÚZIÓ

Az elsősorban az üzemanyagköltségektől függő működési költségek mellett a hajtásrendszer tervezése során a beruházási költségeket is figyelembe kell venni. E cikkben a hangsúly az energiafelhasználás hatékonyságán és a hibrid rendszer műszaki szempontú alkalmazhatóságának megvizsgálásán van, de azért egy durva, szakirodalmi adatokon alapuló beruházási költség összevetést mindenképpen szükséges az elemzés végén bemutatni.

A költségszámítás a [9] alapján készült. Ebben alapvetően egységnyi teljesítményre vetített fajlagos beruházási költségek találhatók. Több esetben, pl. a motoroknál, a költséget nem csak a teljesítmény, hanem egyéb jellemzők (mint pl. tömeg, furatátmérő, stb.) is befolyásolják, amelyek az említett irodalomban már nem kerülnek részletezésre. A fiktív hajóra egy ilyen összevetés elfogadható, de egy tényleges hajó esetén pontosabb költségszámításra van szükség. A vizsgált esethez tartozó bemenő paraméterek alapján elkészített számítás eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

A táblázatból látható, hogy a hibrid megoldás elsőre nem tűnik sokkal drágábbnak. Fontos azonban tisztázni, hogy a fenti költségek pontosan mit tartalmaznak, mert egy ilyen, ebben a hajókatégoriában Magyarországon

mindenképpen újnak számító rendszer beépítése és beüzemelése is komoly költségösszetevő lehet. Ilyen feladatra csak egy erre szakosodott, tapasztalatokkal rendelkező cég alkalmas, míg egy mechanikus rendszer átalakítása (motorcsere és ezzel kapcsolatos módosítások) lényegesen egyszerűbb feladat.

Mindezek mellett célszerű szem előtt tartani más, talán nehezebben számszerűsítható, mégis jelent-

4. táblázat: Beruházási költségek alakulása

Szükséges elemek	eredeti verzió	1. variáció – hibrid
Költségek [EUR]		
4 ütemű dízelmotor, 200 kW	72000	
4 ütemű dízelmotor, 130 kW		52000
normál hajtómű	6000	
hajtómű (PTI/PTO-val)		7418
elektromos motor (indukciós, 85 kW)		4250
frekvenciaváltó (active-front-end)		17550
akkumulátorok (töltésvezérlővel)		9914
összesen	78000	91132

kező előnyt és hátrányt. Egy hibrid rendszer alkalmazása közforgalmú hajón előremutató, társadalmi megítélése mindenképpen pozitív lehet, a cég helyes marketinggel több felhasználót tud esetleg a hajóra vonzani, ami bevételnövekedést jelenthet. A realizálható üzemanyag-fogyasztás csökkenése egyértelműen a károsanyag-kibocsátás csökkenését is jelenti, ami szintén kedvező társadalmi hatással bír. A völgymenti tiszta villamos üzem halk és megfelelő vezérlés esetén arra is van lehetőség, hogy a kikötések során is csak az elektromos motorok üzemeljenek, ami a ki- és beszálló utasok számára jár kisebb zajhatással és így nagyobb vonzerővel. Ugyanakkor azt is el kell mondani, hogy azon cégeknek, akik eddig nem foglalkoztak ilyen rendszerrel, több és új berendezéssel, valamint más jellegű üzemeltetéssel kell megismerkedni, más szakértelmű emberekre is szükség van a korábbiak mellett, más karbantartási stratégiát kell kidolgozni a hajókra. Mindezek általában többletköltséget jelentenek.

Fentiekből látható, hogy a hibrid rendszerek hagyományos mechanikus rendszerekkel való gazdasági vonatkozású összevetése is komplex feladat.

A tengeri hajózásban a propulziós rendszereket gyártó cégek ma már külön szolgáltatás-

ként az optimális propulziós rendszer kiválasztásához és méretezéséhez hajóenergetikai rendszer számításokkal segítik a döntéshozókat. A jelen cikkben bemutatott vizsgálat – bár nem valós, hanem csak ahhoz közeli, kitalált példán alapul – jól szemlélteti, hogy a belvízi hajózásban is alkalmazhatók ezek a számítások. Ugyanis a példaként bemutatott budapesti közforgalmú hajóközlekedésben, a jelenlegi menetrend mellett is lehet létjogosultsága a hibrid hajtásnak műszaki és gazdasági szempontból. A fiktív hajón végzett elemzésekből kitűnik, hogy mind az üzemeltetési profil jellege, mind pedig az ez alapján elvégzett üzemanyag-fogyasztásra vonatkozó eredmények ígéretesek. A tárgyalat számítási módszertan alkalmazható a konkrét gyakorlati feladatok során, vagy a többi, itt nem tárgyalat variáció elemzéséhez is. A bemenő adatok pontosságától függően alkalmas a várható – alapvetően műszaki vonatkozású – előnyök kielégítő pontosságú számszerűsítésére. Ezt kiegészítve egy ajánlatokon alapuló beruházási költségszámítással, valamint a további (akár teljes életciklusra vonatkozó) üzemeltetési költségek kalkulálásával, egy olyan rendszerhez jutunk, mely megfelelő alapot biztosít az ilyen komplex rendszerek előzetes vizsgálatához és nagy összegű beruházások döntés-előkészítéséhez.

A BKV az 1980-as években épített hajóit folyamatosan karbantartotta, és a lehetőségek szerint korszerűsítette. Egy kiválasztott hajóval el lehetne végezni a kísérleteket, és ez alapján meghatározhatóvá válik a fejlesztés iránya. A vizsgálat alapján új hajótípust lehet kifejleszteni, legyártani az eredmény többcélú felhasználásával (menetrend szerinti hajózás, vonalhajózás, sétahajózás).

A közlekedés, ezen belül a teherszállítás, a turizmus és az agglomerációval való közvetlen kapcsolatnak a Dunára koncentrációja Budapest számára tisztább levegőt, egyedi karaktert, tehermentes rakpartokat és jelentős idegenforgalmi bevételeket kínál, valamint egy fenntartható fővárost, amely Európa elé követhető példát állít, és harmonikusan illeszkedik az Európai Unió hosszú távú környezetvédelmi stratégiájába is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bicsák György, Hornyák Anita, Verness Árpád: Numerical Simulation of Combustion Processes in a Gas Turbine, ICNPAA 2012 World Congress: 9th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, July 10, 2012 – July 14, 2012, American Institute of Physics, Conference Proceedings, Vol. 1493, old. 140-148; DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4765482>, 2012
- [2] Kiss Csaba: Villamos hajtású nagyvasúti vontatójárművek fejlődési irányai, Vasútgépészet, 2015 III.szám, 2015
- [3] Hargitai L. Csaba, Dr. Simongáti Győző: Hajógépek, Egyetemi tananyag, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, 2012 ISBN 978-963-279-619-2, Typotex Kiadó
- [4] https://www.bkv.hu/hu/hu/jarmuveink/hajo/a_hajok_bemutatasa (2017.02.28)
- [5] www.hajoregiszter.hu, (2017.02.28)
- [6] Doosan L126TI Marine Engine Data Sheet, Doosan Infracore, Seoul, Korea, 2005
- [7] Ximing Wang, Hongwen He, Fengchun Sun, Jieli Zhang: Application Study on the Dynamic Programming Algorithm for Energy Management of Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Energies 2015, 8(4), old.:3225-3244; DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en8043225>
- [8] Hajók Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
- [9] Bas Kwasięckyj: Hybrid propulsion systems Efficiency analysis and design methodology of hybrid propulsion systems, Master thesis, TU Delft, 2013



The possibilities of applying hybrid powered ships in the river public transport

Most of the world's vessel fleets consist of ships that perform intercontinental transportation, so their engines operate almost in the entire span of their operating life in the proximity of their design operating state. Near-static operating conditions can be well planned or optimized for the most feasible optimum energy efficiency. However, in inland waterway shipping, there is a wide range of energy use in the engine operation, resulting from variable current speeds, frequent maneuvers and special operating requirements. In the case of the generally used inland waterway vessels the utilization of built-in power is stochastic, i.e. changes depending on the actual route and the cargo, so it is up to the experience of the planning and operating personnel to set the optimum (best efficiency) power point of the machine operation as a design target. In contrast, in passenger ships serving river public transport, the utilization of the engine's power can be planned with a good approximation, as the vessels move on a nearly identical track, and practically under the same conditions. Using the computational results, the authors of this paper discuss the possibility of hybrid powered ships carrying public river traffic in Budapest.



Die Möglichkeiten der Anwendung von Schiffen mit Hybridantrieb in dem öffentlichen Verkehr

Die meisten Schiffsflotten der Welt bestehen aus Schiffen, die interkontinentalen Transport durchführen, so dass ihre Motoren in der fast gesamten Betriebszeit in der Nähe ihres geplanten Betriebszustandes arbeiten. Der nahezu statische Betriebszustand kann gut geplant und für eine möglichst optimale Energieeffizienz optimiert werden. Die Binnenschifffahrt kann jedoch mit einem breiten Energieverbrauchsbereich gekennzeichnet werden, der sich aus den variablen Stromgeschwindigkeiten, häufigen Manövern und speziellen Betriebsanforderungen ergibt. Bei den allgemein eingesetzten Binnenschiffen ist die Ausnutzung der eingebauten Leistung der Maschine stochastisch, in der Abhängigkeit der tatsächlichen Strecke und Fracht, so dass es von den Erfahrungen des Konstrukteurs und des Betreibers abhängt, den optimalen Betriebspunkt (mit der besten Effizienz) als Planungsziel zu setzen. Im Gegensatz dazu kann bei Fahrgastschiffen, die in dem öffentlichen Flussverkehr eingesetzt sind, die Ausnutzung der Motorleistung mit einer guten Näherung geplant werden, da sich diese Schiffe auf einer nahezu identischen Strecke und praktisch unter den gleichen Bedingungen bewegen. Mit Hilfe von rechnerischen Ergebnissen diskutieren die Autoren dieser Arbeit die Möglichkeiten der Anwendung von Schiffen mit Hybridantrieb in dem öffentlichen Flussverkehr in Budapest.