

Alternatív tüzelőanyagok alkalmazhatósága a hajózásban és tüzelőanyag-fogyasztás számítási módszerek

Ahogy az autóiiparban az elektromos, gázüzemű ill. hibrid autók, úgy a hajózásban is megjelentek az elmúlt évtizedekben különböző alternatív hajtásrendszerek a hagyományos dízel rendszerek helyettesítésére, korszerűsítésére. A terjedés mozgató rugói az egyre szigorúbb környezetvédelmi előírások és az üzemeltetési költségek csökkentése, amelynek nagy részét az üzemanyagköltségek jelentik.

DOI 10.24228/KTSZ.2020.4.5

Zalacko Roland – Zöldy Máté – Simongáti Győző

doktorandusz tudományos főmunkatárs docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

e-mail: rzalacko@vrht.bme.hu, mate.zoldy@gjt.bme.hu, gysimongati@vrht.bme.hu

1. BEVEZETÉS

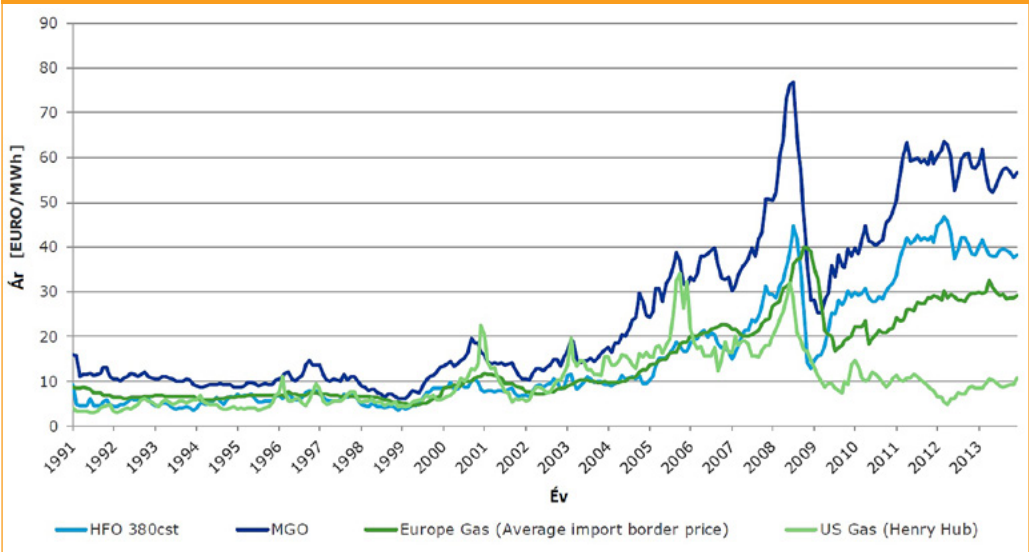
Ahogy az autóiiparban az elektromos, gázüzemű, ill. hibrid autók, úgy a hajózásban is megjelentek az elmúlt évtizedekben különböző alternatív hajtásrendszerek a hagyományos dízel rendszerek helyettesítésére, korszerűsítésére. A cél egyértelműen a környezetvédelmi előírások könnyebb betartása és az üzemeltetési költségek csökkentése, az üzemanyagköltségek csökkentésén keresztül. A hajózásban csak az utóbbi néhány évtizedben kezdtek nagyobb számban telepíteni alternatív hajtásrendszereket, akár újonnan épülő hajóba, akár a hagyományos rendszer helyére. Ezek a beruházások sikeresek és kifizetődők voltak, ezért évről-évre több alternatív hajtásrendszerű hajó épül vagy kerül beépítésre régi hajókba. Ezen hajtásrendszerek legtöbbször alternatív tüzelőanyagokkal működnek. A kőolaj-lelőhelyek számának és a kitermelés mennyiségének csökkenése a

1. ábra: Kőolajkészletek kimerülése (forrás:[1])



jelenlegi fogyasztás mellett ahhoz vezetnek, hogy 200 év múlva már nem fog rendelkezésre állni ez az üzemanyagfajta (1. ábra). Alternatív tüzelőanyagok használatával ez

2. ábra: Hajózásban használt tüzelőanyagok árainak alakulása (forrás: [2])



az idő megnövelhető, és az átállás kiépítése is elkezdhető. Számos alternatív tüzelőanyaggal folynak kísérletek és fejlesztések.

Egységes megoldást találni szinte lehetetlen, mert a hajótípusok különbözők mind méretben, mind szállítási kapacitásában, illetve üzemeltetési körülményeket tekintve is. Emiatt az üzemanyag-fogyasztások nagy eltéréseket mutatnak, mérésük fontos a megfelelő alternatív tüzelőanyag megtalálására.

2. MIÉRT SZÜKSÉGESEK AZ ALTERNATÍV ÜZEMANYAGOK?

A bevezetőben már említett csökkenő kőolajmennyiségén kívül több oka is van az alternatív üzemanyagok használatának. A hajózásban használt dízel-tüzelőanyagok ugyan olcsóbbak, mint a közforgalomban lévő társaik, de a kőolaj folyamatos drágulása minden dízelolaj árát megnöveli (2. ábra), és ez a növekedés a rendelkezésre álló mennyiség csökkenésével egyre nagyobb mértékű lesz.

Márpedig az üzemeltetési költségek jelentős részét az üzemanyagköltségek teszik ki. Tehát az egyik fő motivációja az alternatív tüzelőanyagok felhasználásának a nagyobb profit

elérése. A másik fontos ok a környezetvédelmi előírások betartása. A dízelüzemanyag égetésével rengeteg káros gáz kerül a légkörbe, amelyek fokozzák az üvegházhatást és rákkeltőek (CO_2 , NO_x , CO , SO_x). Az előírások egyre szigorúbbak, de a hagyományos tüzelőanyaggal hajtott motorok fejlesztési lehetőségei végesek. Ilyenkor szűrővel is lehet kompenzálni és javítani az emissziós értékeken. A szűrők alkalmazása drága, és egy idő után ez sem nyújt majd elégséges megoldást. A tengeri hajózásban jelenleg az IMO (International Maritime Organization) által előírt Tier II emissziós értékek vonatkoznak a hajókra globálisan, de bizonyos területeken (ECAs – Emission Control Areas) csak a Tier III-as besorolású hajók hajózhatnak [3], ami az NO_x és SO_x kibocsátást szabályozza. Ezen kívül a dízelüzemanyagok kén tartalma is szigorúan szabályozott. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése érdekében az IMO kifejlesztett egy mérőszámot, amellyel minden hajó értékelhető az energiahatékonyságuk alapján, ez a szám az EEDI (Energy Efficiency Design Index - Energia Hatékonysági Tervezési Mutató). A képletben a tüzelőanyag-fogyasztás és a CO_2 -kibocsátás a leghangsúlyosabbak, amelyek közvetlen kapcsolatban állnak. Ezeket az értékeket minden üzemelő hajótípusra külön

1. táblázat: EEDI csökkentési kritériumok %-ban kifejezve különféle hajótípusok esetén (forrás: [3])

Hajótípus	Méret	2013.01.01-2014.12.31	2015.01.01-2019.12.31	2020.01.01-2024.12.31	2025.01.01-
Ömlesztettáru szállító	20 000 DWT ¹ +	0	10	20	30
	10 000-20 000 DWT	n/a	0-10	0-20	0-30
Gáz tanker	10 000 DWT +	0	10	20	30
	2000-10 000 DWT	n/a	0-10	0-20	0-30
Tanker	20 000 DWT +	0	10	20	30
	4 000 – 20 000 DWT	n/a	0-10	0-20	0-30
Konténer szállító	15 000 DWT +	0	10	20	30
	10 000 – 15 000 DWT	n/a	0-10	0-20	0-30

¹DWT(dead weight tonnage)xdesigned speed (tervezési sebesség) (a hajó maximális megengedett terhelésekor a motor teljesítményének 75%-a mellett)

kiszámítva, megszülettek azok a határértékek, amelyeket minden újonnan épülő hajónak teljesíteni kell. Az új hajótól elvárt alapértéket öt évente tovább csökkentik, ezzel is motiválva az üzemeltetőket az innovatív megoldások alkalmazására (1. táblázat).

Az 1. táblázatban az egyes hajótípusoktól elvárt értékek jövőben megkövetelt csökkentése látható %-ban. Az előírt értékeket be nem tartó hajókat súlyos pénzbüntetésekkal fogják sújtani. Mindezekből az látszik, hogy az alternatív tüzelőanyagok fejlesztése és használata nem csak környezetvédelmi érdeke az üzemeltetőknek, hanem gazdasági is, így gyorsítható a folyamatos átállás.

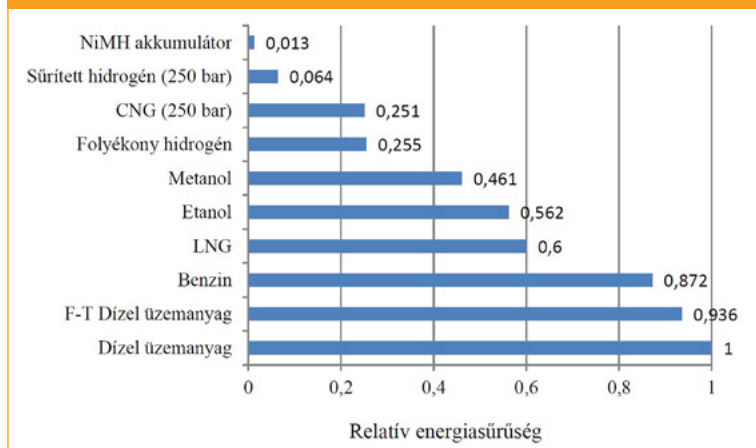
3. ALTERNATÍV TÜZELŐANYAGOK

A hajózásban egyeduralgkodó dízelüzemanyag tekinthető hagyományosnak, a tengeren a HFO (Heavy Fuel Oil) és folyamatosan az MGO (Marine Gas Oil), amelyek kéntartalma és viszkozitása nagyobb a közúti dízelolajéhoz képest. Míg minden más tüzelőanyag alternatívnak számít. A dízelolaj kiszorítása már egy ideje elkezdődött, de a folyamat nagyon lassú. Ennek okai:

- a dízelmotorok kiforrott gépezetek, amelyek karbantartása, szerkezete, gyártása viszonylag egyszerű, emellett az egyik legjobb termikus hatásfokkal rendelkezik,
- az infrastruktúra jól kiépített és könnyen kezelhető,
- a dízel-tüzelőanyag relatív energiasűrűsége a legnagyobb (3. ábra),
- egyéb gazdasági tényezők.

Az alternatív tüzelőanyagoknak csak akkor van létjogosultságuk, ha az alacsonyabb tüzelőanyagár és a kedvezőbb emissziós értékek felül tudják írni a dízelüzemanyaggal kapcsos-

3. ábra: Tüzelőanyagok relatív energiatartalma (forrás: [4])



latban az előbb említett előnyöket. Jelenleg a hajózásban négy különböző alternatív energiaforrás említhető meg:

- tisztán elektromos energia (akkumulátorok),
- LNG,
- biotüzelőanyagok,
- hidrogén.

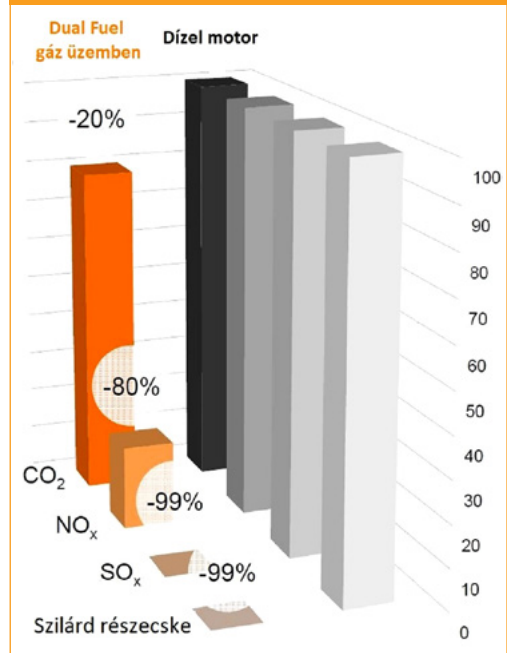
3.1. Tisztán elektromos energia

A tisztán elektromos hajtás felépítése egyszerűbb, mint a dízelmotoros, hagyományos meghajtások. Főbb egységei az elektromotorok, az energiatárolók és az energiaelosztó rendszer. Az elektromotorok hajtásához szükséges elektromos energiát a hajón kell termelni vagy tárolni. Tisztán elektromos energiát termelni pl. napelemmel lehet. A napelemek használata azonban jelenleg a hajózásban nem elégséges a szükséges energia termelésére. Az energia tárolására akkumulátorokat lehet használni, amelyeket időnként fel kell tudni tölteni. Az akkumulátorok feltöltési ideje kulcskérdés, főként egy napi menetrend szerint üzemelő hajó esetén. A tárolók feltöltésében egy norvég projekt keretein belül elérték, hogy egy 200 kWh kapacitású akkumulátortelepet kevesebb, mint 20 perc alatt lehet feltölteni, miközben 15 000 teljes ciklusú élettartam biztosítható [5].

Tisztán elektromos hajtásrendszer kialakítása kishajókon régóta lehetséges. Nagyobb hajókon történő alkalmazásának eddig az akkumulátorok alacsony teljesítmény/tömeg aránya, ill. hosszú feltöltési ideje szabott határt. A tárolóknak ugyanis mind a fő-, mind a segédüzem energiaszükségletét biztosítaniuk kell. Az akkumulátorok fejlődésével viszont már elképzelhető tisztán elektromos hajtásrendszer kivitelezése és üzemeltetése a kereskedelmi hajózásban is. Erre jó példa a Kínában üzembe helyezett elektromos folyami teherhajó [6], vagy a holland és belga belvizeken a közelmúltban indított nagyszabású projekt a „csatornák Tesláí” [7].

Hatalmas előnye e megoldásnak, hogy zero emisszióval közlekednek, és a szokásos gépház is elhagyható, mivel csak az akkumulátoroknak kell helyet biztosítani. A belvízi hajókon tehát

4. ábra: Az LNG relatív károsanyag-kibocsátása (forrás: [8])



már vannak működőképes megoldások, de tengeren az áttörés egyelőre még várta magára, hiszen ott nagyságrendekkel nagyobb az energiaigény. Továbbá a zéróemisszió sem teljesen igaz, hiszen az elektromos áram termeléséhez az erőművek rengeteg káros anyagot juttatnak a légkörbe. Tehát amíg az ilyen hajók akkumulátorainak töltéséhez szükséges energia nagyobb részét nem sikerül környezetbarát(abb) technológiákkal előállítani, a teljes felhasználási lánc környezetterhelése nem (vagy nem feltétlenül) lesz kisebb.

3.2. LNG, vagyis cseppfolyósított földgáz

A földgáz cseppfolyósításával (LNG) új alternatív tüzelőanyag jött létre, amely versenyképes lehet a dízellel szemben. Ezzel párhuzamosan megkezdődött az LNG-vel működő motorok megtervezése. Két megoldás is született, a kettős tüzelőanyagú- (DualFuel – DF) és a gázmotorok. A DF motorok esetében mindig szükség van egy kis gázolajra a gáz-levegő keverék begyűjtéséhez, de akár tisztán dízelüzemanyaggal is üzemeltethetők, míg a gázmotorok csak LNG-vel működtethetők.

Az LNG tüzelőanyag tisztább a dízelnél (4. ábra), ezért az emissziós értékei sokkal kedvezőbbek, emellett az utóbbi időben olcsóbb is (2. ábra), ez a tendencia fokozódhat a kőolaj-készletek kimerülése miatt.

A dízel-körfolyamatot megvalósító DF motorok termikus hatásfoka közel azonos a dízelgépekével, részterheléseken néhány százalékkal jobb is [4]. Beruházási költsége és helyigénye (kisebb energiasűrűség miatt; 60%-a a dízel-tüzelőanyagoknak – 3. ábra) viszont jóval nagyobb (5. ábra) egy hagyományos hajtásrendszer kialakításához képest.

Az LNG üzemanyag tárolása jóval körülményesebb, mint a dízelé. Cseppfolyós halmazállapota normál környezeti nyomáson ugyanis csak -162°C -on jön létre, és kizárólag különálló tartályokban lehet tárolni. Általában a hajó külső részén helyezik el, hogy egy esetleges robbanás során a kárt minimalizálják. Így a raktérből sem vesz el helyet, továbbá utólagos kialakítása komolyabb szerkezeti átalakítást sem igényel. Rosszabb esetben a nagyobb helyigényű tüzelőanyag elhelyezése a raktér térfogatára is kihatással lehet, ezáltal csökken a hasznos hordképesség, tehát kevesebb áru szállítható, így a megtérülési idő széles skálán mozog. Az mindenesetre megállapítható, hogy minél nagyobb egy belvízi

hajó energiaigénye, annál inkább érdemes DF motorokra váltani, mert gyorsabban megtérül a befektetés [8]. Tengeri hajóknál leginkább a konténerszállító és az LNG szállító tankerek használják ezt az üzemanyagforrást. 2018-ban már több mint 100 tengeri hajó üzemelt LNG tüzelőanyaggal [2].

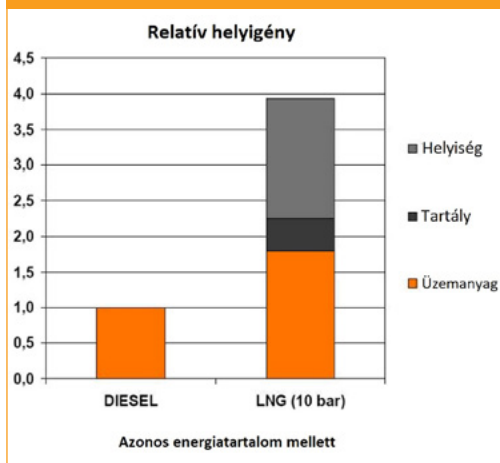
3.3. Biotüzelőanyagok

A tengeri felhasználásra elvileg rendelkezésre álló folyékony biotüzelőanyagok: a biodízel vagy FAME (fatty acid methyl ester), az alga alapú tüzelőanyagok, a metanol, a hidrogénezésből származó megújuló dízel (HDRD - Hydrogenation-Derived Renewable Diesel), amely másodlagos biodízelnél és pirolízisolvajként is ismert. Az olajok és zsírok lehetőségeit már évek óta kihasználja az autóipar, ezért kérdéses, hogy mennyi potenciál maradt benne. Az ilyen üzemanyagok hátrányai a korlátozott keverhetőség a HFO tüzelőanyaggal és a fagyérzékenység.

A biodízel (FAME), az alga-tüzelőanyag, a metanol, a HDRD és a pirolízisolvaj gyakorlatilag kénmentesek. Az algák és a HDRD-tüzelőanyagok kompatibilisek a dízelmotorokkal és a kapcsolódó fedélzeti üzemanyag-rendszerekkel. A biodízel (FAME) nem kompatibilis bizonyos nemfémes és fémes anyagokkal, és általában a jelenlegi motorok és a fedélzeti tüzelőanyag-rendszerek módosítását igényli [14]. A pirolízisolvaj magas savaságban, alacsony cetánszámmal gyakorlatilag kénmentes, és nem keverhető a dízel-tüzelőanyaggal, ezért módosítani kell a tengeri használatra. A FAME jól ismert és bevált keverőkomponens a közúti dízelmotorokhoz [15], de tengeri üzemanyagként való használatra nem alkalmas.

Az ISO 8217 keretrendszeren belül a FAME jelenleg a tengeri hajózásban használatos tüzelőanyag keverékkomponenseként kerül alkalmazásra. A közeljövőben várhatóan 7%-os térfogat-koncentrációt engedélyeznek. A FAME általában nem okoz gondot a motorban. A hosszú távú tárolás azonban problémás lehet. A tartályfesték és a motortömítések, tömlők, nemfémes és néhány fémes tüzelőanyaggal

5. ábra: Az LG relatív helyigénye (forrás: [8])



nedvesített alkatrészeket hozzá kell igazítani a FAME-hez. A biodízel fő problémája a fenntarthatóság, mivel a termelés nagymértékben támaszkodik a pálmaolaj-termelésre, ami gyakran ellentétes a természetes esőerdők megőrzésével. Ezért a FAME általában nem tekinthető megvalósítható hosszú távú, környezetkímélő lehetőségnek, mert ez nagymértékű emulziót okoz, és nem teszi lehetővé a tüzelőanyag elválasztását a víztől, továbbá korróziót okoz, miután vízzel keveredik.

A metanolt, mint általános üzemanyagot a CEESA (Central & Eastern European Schools Association) ajánlotta. A tengeri hajók metanolhoz való átalakítása lényegesen olcsóbb a metanol tárolási rendszerének egyszerűsége miatt, mint az LNG-re történő átállás. Noha a metanol önmagában kicsit drágább, mint az LNG, utóbbi tüzelőanyag-rendszerének magasabb fokú bonyolultsága nagyobb összköltséget eredményez. A metanol megnöveli a korrózió kockázatát, amelyet megfelelő tüzelőanyag-tartályok stb. alkalmazásával kell kiküszöbölni, Ezen túlmenően a metanol várhatóan a raktérből is helyet foglal, az alacsony energiasűrűsége miatt. A metanol egy motorba fecskendezés során a metánhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, így a kettős tüzelőanyag-koncepcióban alkalmazható.

3.4. Hidrogén

A hidrogén a legnagyobb mennyiségben előforduló elem a Földön, ezért ez lenne a legjobb megoldás a fosszilis tüzelőanyagok helyettesítésére. Az égés során kinyerhető energiára jellemző érték az alsó és felső fűtőérték, a kettő különbsége a párolgáshőt adja. Mivel a gáz-halmazállapotú hidrogént nem kell elpárolgoltatni, valamint a végtermék is gőz formájában van jelen, ezért a kinyerhető munkát az alsó fűtőérték reprezentálja.

A hidrogén előállítása villamos energiával, vízbontással lehetséges kémiai úton, tüzelőanyag-cellában oxigénnel egyesülve vízgőzt alkot, miközben villamos energia szabadul fel. A folyamat környezetbarát és megújuló. Mivel a hidrogén a legkönnyebb elem, ezért tömegre vetített energiataralma a legnagyobb. Alsó fűtő-

értéke 119,93 kJ/g (25°C, 1 atm), ami majdnem háromszor akkora, mint a dízel-üzemanyagé.

Hátránya, hogy térfogatra vetített energiasűrűsége nagyon kicsi, köszönhetően alacsony sűrűségének. Ez szintén fontos, hiszen megmutatja, hogy egy adott térfogatú tartályban mennyi energiát tudunk magunkkal vinni. Például egy 500 literes tartály kb. 400 kilogrammnyi dízelolajával egyenértékű hidrogéngáz mennyiség körülbelül egy 8000 literes tartályban férne el 250 bar nyomáson. Folyékony hidrogént használva ehhez körülbelül egy 2100 literes tartály kellene.

Fém-hidrid tárolás esetén a fő probléma a tömegnövekedés. A 400 kg dízelolaj energiájának tárolására szolgáló hidrogéntartály tömege körülbelül 1725 kg lenne [11]. Hiába tehát a kis tömegre eső magas energiamegnövelés, a fedélzeti felhasználásnak korlátokat szabnak a tárolási lehetőségek. A hidrogén tüzelőanyag-cellás megoldás tűnik a legbiztosabbnak.

2. táblázat: Hidrogén energiasűrűsége (forrás: [10])

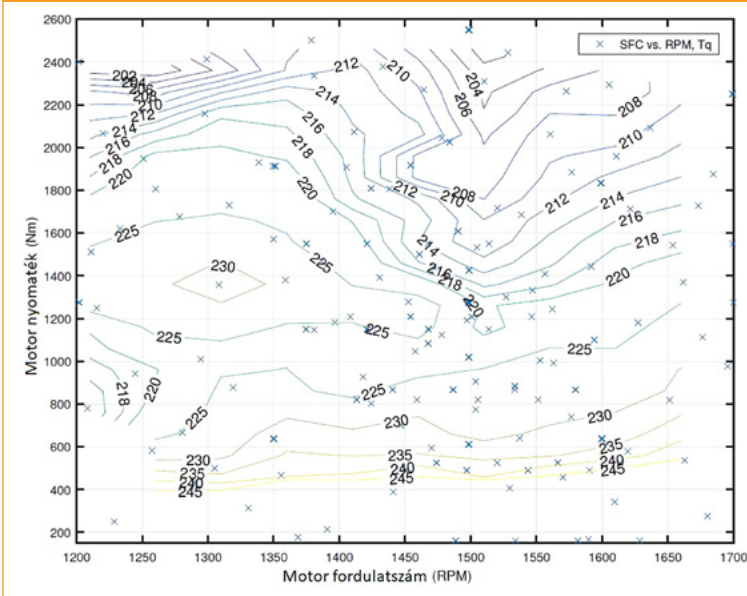
Tüzelőanyag megnevezése	Térfogatra vetített energiasűrűség MJ/m ³
Hidrogén	10,05 (gáznemű, 1 atm, 15°C)
	1825,00 (gáznemű, 200 bar, 15°C)
	4500,00 (gáznemű, 690 bar, 15°C)
	8491,00 (folyékony)
	11000,00 (fém-hidrid)

Tulajdonságai tehát alkalmassá teszik a hidrogént energiahordozóként történő alkalmazásra, de a magas ára és az előzőekben felsorolt hátrányai miatt egyelőre nem alkalmazható a hajózásban. Egyetlen hajó üzemel jelenleg hidrogénhajtással, ami az Energy Observer nevet viseli. Immár 6 éve közlekedik a belvizeken és a partközeli tengereken. A hajó nagyon speciális kialakítású, minimális ellenállással, katarán hajótesttel rendelkezik, ezért alacsony az energiaigénye.

4. TÜZELŐANYAG-FOGYASZTÁS SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

Az előzőekben bemutatott alternatív üzemanyagoknak a legfőbb előnye a dízelolajokkal

6. ábra: Egy hajómotor fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás térképével - fuel map (forrás: [12])



szemben az alacsonyabb árak, ezért minél nagyobb egy hajó tüzelőanyag-fogyasztása, annál inkább érdemes elgondolkozni az átálláson. Az üzemanyag-fogyasztás meghatározásához alapvetően kétféle módszer létezik:

- méréseken alapuló,
- becslésen alapuló.

4.1. Méréseken alapuló módszerek

4.1.1. Tüzelőanyagszint mérés

A legegyszerűbb módszer a köbözéses mérés, vagyis adott idő alatt mennyi tüzelőanyag fogyott a tartályból. A legtöbb üzemanyagtartály rendelkezik nívópálcával vagy szintjelzővel, így az elfogyasztott dízelolaj mennyisége könnyen számítható. A módszer egyszerű és gyors, de nem elég pontos.

4.1.2. Átfolyás mérés

A tüzelőanyagcsövön átfolyó tüzelőanyag mennyiségét többféleképpen is lehet mérni:

- mágneses-indukciós átfolyás mérővel,
- ultrahangos átfolyás mérővel,
- mérőperemmel.

Ebben az esetben szükséges az adatok folyamatos rögzítése. A módszer elég pontos, de ritkán alkalmazzák hajókon, mivel a pontos fogyasztás meghatározásához mérni kell az adagolótól visszaáramló tüzelőanyag mennyiségét is.

4.1.3. Teljesítmény-mérés és fuel map használata

A motor teljesítményét sokféleképpen lehet mérni. Hajózásban bevett szokás a tengelynyomatékát és fordulatszámát mérni, a kettő szorzata pedig megadja a teljesítményt. Gyakorlatilag minden időpillanatban rendelkezésünkre áll a nyomaték-fordulatszám pár. Ha pedig rendelkezünk a motor teljesítmény vagy fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás térképével (6. ábra), akkor minden pillanatban le tudjuk olvasni az aktuális fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás értékét.

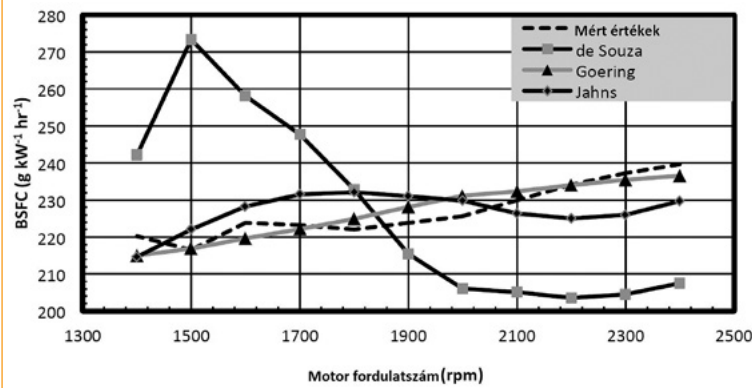
Ez utóbbit a hozzá tartozó teljesítménnyel megszorozva és az egész időintervallumban összeadva megkapjuk az összefogyasztást. Az eljárás viszonylag egyszerű és nagyon pontos, azonban sok előzetes számítási munkát vagy mérést igényel.

Ez utóbbit a hozzá tartozó teljesítménnyel megszorozva és az egész időintervallumban összeadva megkapjuk az összefogyasztást. Az eljárás viszonylag egyszerű és nagyon pontos, azonban sok előzetes számítási munkát vagy mérést igényel.

5. BECSLÉSEN ALAPULÓ MÓDSZEREK

A számítástechnika fejlődésével új lehetőségek nyíltak a fizikai jellemzők becslésére, előre jelzésére. Számos program képes modelleken keresztül előre megjósolni egy rendszer valószínű működését. A motorok modellezésére is már sokféle megoldás született, amelyek jól ismert fizikai egyenleteken alapulnak. Az előző alpontban említett mérési módszert is ki lehet váltani egy jól felállított modellel, és

7. ábra: Becslésen alapuló módszerek összehasonlítása (forrás: [13])



ezáltal mérés elvégzése nélkül jól becsülhető a hajó tüzelőanyag-fogyasztása bármilyen útvonalon. Természetesen minden modellt előbb validálni kell, amelyekhez elengedhetetlenek a mérések.

A (7. ábrán) három szerző által kikísérletezett becslő modell összehasonlítása látható ugyanazon motor esetében. Mindhárom modell ugyanazon elven alapszik. Egy adott motormodell empirikus adataiból nyert egyedi konstansokat használ, de más-ként közelíti meg a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás meghatározását szolgáló képletet. De Souza képletével több ilyen konstans használva minden egyes fordulatszám-nyomaték párhoz kiszámítható a termikus ha-

tásfok, amiből a BSFC (Brake Specific Fuel Consumption) érték megkapható. Goering több változóval, de kevesebb konstanssal összeállított képlete közvetlenül a BSFC értékeket szolgáltatja. Míg Jahns a kettő közötti megoldást tartja megfelelőnek.

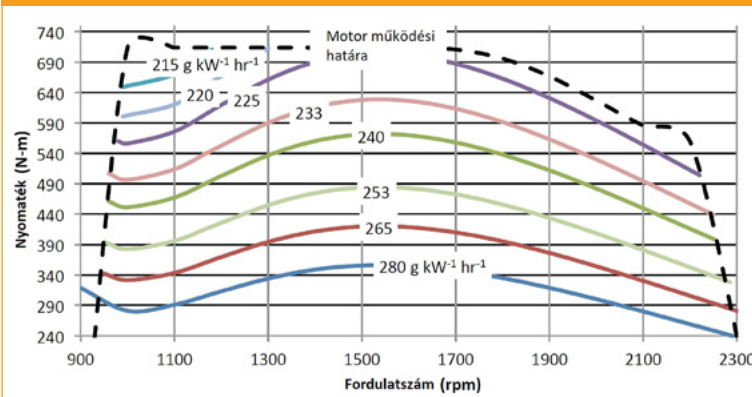
Az ábra alapján jól látszik, hogy a Goering módszer tűnik a vizsgálat során a legpontosabbnak, de Souza modellje messze elmarad a mért értékektől, ezért használata nem javasolt. Ezen modellek előnyei, hogy a publikus, gyári adatokból, mérések nélkül előállítható egy motor fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás térképe, de a 6. ábrán látott pontosságot nem képesek visszaadni, kissé idealizált (szinte párhuzamos) vonalakkal közelítik a BSFC értékek várható alakulását (8. ábra) [13].

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az alternatív üzemanyagok használata egyre nagyobb méreteket ölt és alkalmazhatóvá váló újabb lehetőségek is kínálkoznak, amelyek felgyorsíthatják ezt a folyamatot.

A közúti forgalomban az elektromos és hibridautók elterjedése miatt jelenleg a tisztán elektromos hajtásrendszer, tehát az elektromos energia, mint „tüzelőanyag” a legkiforrottabb, de az akkumulátorok fejlődésével egyre nagyobb hajók alternatív meghajtásává válhat. A környezetszennyezés szempontjából viszont nem jelentene komoly javulást.

8. ábra: Egy dízel motor fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás térképe Goering modell alapján (forrás:[13])



Az LNG, mint alternatív tüzelőanyag már régóta ismert a tengeri hajós alkalmazásokban. A dízelüzemanyaghoz képest alacsony környezetterhelése és ára miatt egyre több hajó épül DF vagy gázmotoros hajtással. A kevésbé kiépített infrastruktúra és a nagy helyigénye miatt egyelőre nem elég jó alternatíva a dízel-tüzelőanyag kiszorítására. Biodízel használatával jobb teljesítmény és kisebb környezetterhelés érhető el ugyanazon motorral. Használata azonban sokszor a motorok átalakításával valósítható csak meg, és az áruk is még túl magas ahhoz, hogy gazdaságos megoldás lehessen a hajózásban. A hidrogén-meghajtású hajó lenne a legjobb megoldás, de a hidrogén körülményes előállítás, szállítása és tárolása miatt egyelőre csak koncepciótervek készültek.

A megfelelő alternatív tüzelőanyag meghatározásához elengedhetetlen ismerni a hajó tüzelőanyag-fogyasztását. Erre több lehetőség is kínálkozik mérésekkel, de egy új hajó esetében vagy egy esetleges alternatív hajtásrendszer beépítése előtt a becslésen alapuló módszerek adnak jó megoldást. A számítástechnika fejlődésével ezek a módszerek egyre pontosabban jelzik előre a várható fogyasztást, s így segítenek a legjobb döntések meghozatalában, ill. innovációk bevezetésében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ZÖLDY MÁTÉ: *Alternatív tüzelőanyagok, alternatív járműhajtások*, BME 2005
- [2] OCÉANE BALLAND: LNG – A cost-efficient fuel option?, Maritime 2014, <https://www.sjofart.ax/sites/www.sjofart.ax/files/attachments/page/oceaneballand2014.pdf>
- [3] MARTIAL CLAUDPIERRE: *Energy efficiency optimisation*, Green Shipping Summit, Genova 2013
- [4] DR. SIMONGÁTI GY., HARGITAI L. CS.: *Hajógépek*, BME 2012
- [5] <http://www.bbgreen.info/>
- [6] https://index.hu/tech/2017/12/06/szenet_szallit_majd_az_első_elektromos_tetherhajo/
- [7] https://index.hu/tech/2018/01/26/tesla_uszaly_tetherhajo_elektromos_hollandia/
- [8] BRAM KRUYT: *Eco² inland vessel projekt*, LNG Konferenz, Leer 2013
- [9] KAMALJIT MOIRANGTHEM: *Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways*, ISBN 978-92-79-56957-9 (PDF), 2016
- [10] BUDIK GYÖRGY: *Alternatív motorhajtóanyagok alkalmazása belsőégésű motorban*, BME 2011 PhD dolgozat, <https://repozitorium.omikk.bme.hu/handle/10890/1026>
- [11] *Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies*, College of the Desert, Palm Desert, CA, USA, 2001., <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f9/fcm00r0.pdf>
- [12] ZHENYING WU: *Comparison of Fuel Consumption on A Hybrid Marine Power Plant with Low- Power versus High-Power Engines*, Norwegian University of Science and Technology 2017
- [13] Jacob K. Keller: *A Cost Effective Method to Create Accurate Engine Performance Maps & Updating the*
- [14] Nebraska Pumping Plant Performance Criteria, University of Nebrask 2014
- [15] ALFREDAS RIMKUS, JONAS MATIJOŠIUS, MARIJONAS BOGDEVIČIUS, ÁKOS BERCZKY, ÁDÁM TÖRÖK: An investigation of the efficiency of using O₂ and H₂ (hydrooxile gas -HHO) gas additives in a ci engine operating on diesel fuel and biodiesel ENERGY 152: pp. 640-651. 2018. DOI: <http://doi.org/gdnhsb>
- [16] MÁTÉ ZÖLDY: Investigation of Correlation Between Diesel Fuel Cold Operability and Standardized Cold Flow Properties", Periodica Polytechnica Transportation Engineering. 2019 DOI: <http://doi.org/d2mq>



Use of alternative fuels in shipping and fuel consumption calculation methods

Just as in the automotive industry, electric, gas and hybrid cars, various alternative propulsion systems have emerged in the shipping industry in recent decades to replace and modernize conventional diesel systems. In the shipping industry, it has only been in the last few decades that more propulsion systems have been introduced, either in new ships or to replace the traditional system. The reasons are the increasingly stringent environmental regulations and reduction of operating costs, much of which is fuel cost. Knowledge of fuel consumption data (measurement, calculation, estimation) is therefore very important for finding suitable alternative fuels for each type of ship. In this article, the authors would like to introduce the features of the most feasible solutions and some of the methods for calculating fuel consumption for conventional diesel engines.



Verwendung von alternativen Kraftstoffen in der Schifffahrt und Methoden für Berechnung des Kraftstoffverbrauchs

Genau wie in der Automobilindustrie, wo die Elektro-, Gas- und Hybridautos erschienen sind, es sind in den letzten Jahrzehnten auch in der Schifffahrtsbranche verschiedene alternative Antriebssysteme entstanden, um herkömmliche Dieselsysteme zu ersetzen und zu modernisieren. In der Schifffahrtsbranche wurden erst in den letzten Jahrzehnten entweder in neuen Schiffen oder als Ersatz für das traditionelle System mehrere neue Antriebssysteme eingeführt. Die Gründe dafür sind die zunehmend strengeren Umweltvorschriften und die Reduzierung der Betriebskosten, wobei der Großteil der letzteren Kraftstoffkosten sind. Die Kenntnis der Kraftstoffverbrauchsdaten (Messung, Berechnung, Schätzung) ist daher sehr wichtig, um für jeden Schiffstyp den geeigneten alternativen Kraftstoffe zu finden. In diesem Artikel möchten die Autoren die Merkmale der praktikabelsten Lösungen und einige Methoden zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs für herkömmliche Dieselmotoren vorstellen.

