

Ivica, ANČIĆ

Ante, ŠESTAN

Nikola, VLADIMIR

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb

EEDI KAO MJERA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI BRODA

Sažetak

U cilju poticanja razvoja suvremenih tehnoloških rješenja koja doprinose poboljšavanju energetske učinkovitosti i unapređenju zaštite okoliša IMO Rezolucijom MEPC.203(62) donosi izmjene MARPOL-a, Prilog VI. Izmjene se odnose na obavezu uključivanja pravila za utvrđivanje i kontrolu energetske učinkovitosti u nacionalna pravila registara, kojima se propisuje obavezna primjena projektnog indeksa energetske učinkovitosti (EEDI) i brodskog plana upravljanja energijskom učinkovitosti (SEEMP). Dosadašnje iskustvo u primjeni formule za određivanje EEDI-a pokazuje da je potrebno prilagođavati vrijednosti i dopunjavati broj utjecajnih faktora ovisno o tipovima brodova i o njihovim specifičnim projektnim i eksploatacijskim značajkama. U radu su analizirani nedostaci primjene trenutno važeće (strukture) formule za određivanje EEDI-a. Za ro-pax brodove su posebno analizirani parametri za koje se smatra da značajnije utječu na vrijednost EEDI-a, a proizlaze iz različitih specifičnih projektnih i eksploatacijskih značajki tih brodova.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, ekološka prihvatljivost, EEDI, SEEMP, RO-PAX brod

EEDI AS A CRITERION OF SHIPS ENERGY EFFICIENCY

Summary

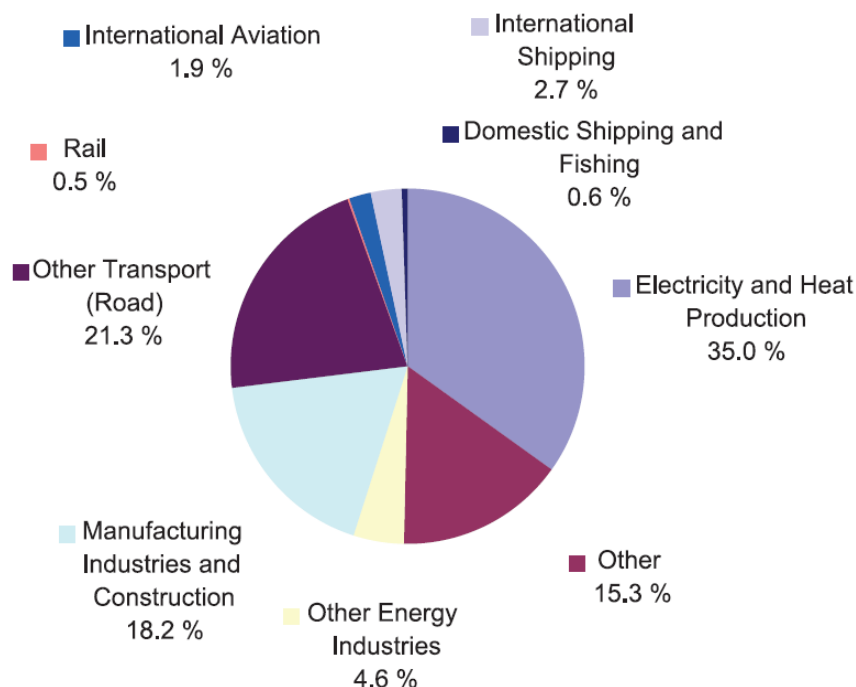
IMO has in Resolution MEPC.203(62) adopted amendments to Annex VI of MARPOL, recognizing that these amendments intend to improve energy efficiency for ships through a set of technical performance standards, which would result in a reduction of environmental pollution. These amendments include EEDI – Energy Efficiency Design Index, and SEEMP - Ship Energy Efficiency Management Plan. The experience in calculation of EEDI has indicated that further adjustments of the formula will be necessary. This particularly includes correction factors to account for specific design elements of ships. The paper analyzes limitations in application of current formula. Also different design and operational parameters that might significantly influence the values of EEDI for Ro-Pax ships are analyzed and recommended.

Key words: energy efficiency, environmental eligibility, EEDI, SEEMP, RO-PAX ship

1. Uvod

Na 62. sjednici Odbora za zaštitu pomorskog okoliša (MEPC) pri Međunarodnoj pomorskoj organizaciji (IMO) donijeta je rezolucija MEPC.203(62) (Rezolucija) [1] kojom se donose izmjene MARPOL-a, Prilog VI: Sprečavanje onečišćenja zraka s brodova, a koje se odnose na dodavanje poglavlja 4: Pravila za energetske učinkovitost brodova. Odredbe tog poglavlja se odnose na sve brodove u međunarodnoj plovidbi od 400 GT i više. Izmjene propisuju obveznu primjenu projektnog indeksa energetske učinkovitosti (EEDI) i broskog plana upravljanja energetske učinkovitošću (SEEMP). Odredbe o EEDI-u se odnose na nove brodove i brodove na kojima je obavljena veća preinaka, a zahtijevaju da EEDI izračunat za brod („Attained EEDI“) mora biti manji od traženog („Required EEDI“), tj. EEDI broda mora biti ispod određene referentne krivulje. Te se odredbe za sada ne odnose na brodove s dizel-električnom, turbinskom ili hibridnom propulzijom.

Okosnica ove Rezolucije je studija [2] koja je predstavljena na 59. sjednici MEPC-a. Potvrđena je teza da su ispušni plinovi glavni izvori emisije plinova s broda, od kojih je CO₂ potvrđen kao glavni staklenički plin. Procijenjeno je da je u 2007. godini pomorski promet proizveo 1046 milijuna tona CO₂ što odgovara 3,3 % globalne emisije (Slika 1). Od toga je međunarodni pomorski promet proizveo 870 milijuna tona, tj. 2,7 % globalne emisije. Mjere koje se razmatraju u cilju smanjenja ove emisije su podijeljene na: projektne, operativne i tržišne. Procijenjeno je da bi se njihovom kombiniranom primjenom emisija CO₂ mogla smanjiti i do 75%. Rezolucija je propisala obvezne projektne mjere – EEDI, i operativne mjere – SEEMP. Rasprava o tržišnim mjerama nastavljena je na 63. sjednici MEPC-a, gdje su i donesene Smjernice za računanje EEDI-a za nove brodove [3].



Slika 1. Emisije CO₂ pomorskog prometa u usporedbi s globalnom emisijom [2]

Fig. 1 Emissions of CO₂ from shipping compared with global total emissions [2]

2. Brodski plan upravljanja energetskom učinkovitošću (SEEMP)

Uvođenjem obvezne primjene Brodskog plana upravljanja energetskom učinkovitošću (SEEMP) trebala bi se poboljšati operativna energetska učinkovitost broda u 4 koraka: planiranjem, uvođenjem mjera (implementacijom), praćenjem i (samo) ocjenjivanjem. Planiranje je najbitnija stavka jer je u njoj određen trenutni i željeni status učinkovitosti brodskog energetskog sustava. U toj fazi je potrebno odrediti trenutni status korištenja energije na brodu kako bi se mogle identificirati potencijalne mjere povećanja energetske učinkovitosti. U [3] su mjere detaljno opisane, a odnose se na optimizaciju plovna puta, održavanje, upravljanje flotom, upravljanje energijom na brodu itd. Mjere koje su identificirane kao potrebne i koje su implementirane potrebno je pratiti i mjeriti. Za to je predložen operativni pokazatelj energetske učinkovitosti (EEOI) broda.

3. Projektni indeks energetske učinkovitosti (EEDI)

U [3] su predložene Smjernice prema kojima je:

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE*})}{f_i \cdot f_c \cdot Kapacitet \cdot f_w \cdot V_{ref}} +$$

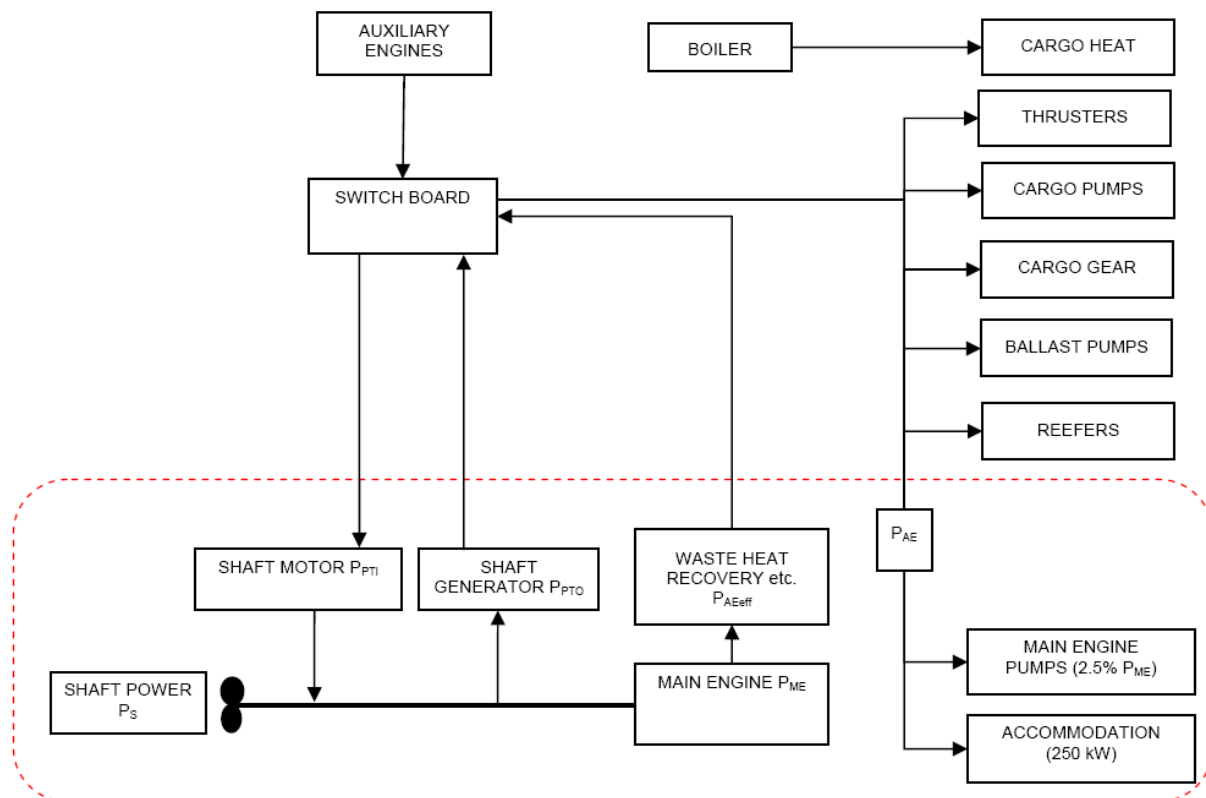
$$+ \frac{\left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot Kapacitet \cdot f_w \cdot V_{ref}} \quad (1)$$

gdje je P snaga, C_F koeficijent pretvorbe goriva u CO_2 , SFC specifična potrošnja goriva, V brzina, a f korekcijski faktori. Indeksi ME i AE se odnose na glavne, odnosno pomoćne motore.

P_{ME} je 75 % snage instaliranih glavnih motora (MCR) nakon oduzimanja snage vratilnih generatora, a V_{ref} je brzina koja se pri toj snazi može postići pri punom kapacitetu. Kapacitet je izražen kao DWT i to se pokazalo ispravnim za većinu tipova brodova, no ne i za ro-pax o čemu će kasnije biti više riječi. P_{AE} je snaga pomoćnih motora potrebna isključivo za podmirenje energetske potrebe sustava propulzije i potrebe smještaja pri normalnom stanju plovidbe. Pri definiranju P_{AE} vezalo se tu snagu empirijskom formulom za snagu glavnih motora. P_{PTI} je 75 % snage instaliranog vratilnog motora podijeljenog s težinskim prosjekom korisnosti generatora. P_{AEeff} je smanjenje pomoćne snage zbog inovativnih električnih energetski efikasnih tehnologija. P_{eff} je učinak inovativnih mehaničkih energetski efikasnih tehnologija pri 75 % snage glavnog motora. Ove dvije definicije su nejasne i izazvale su brojne nedoumice. U [3], gdje su radi pojašnjenja grafički prikazani pojedini članovi formule (Slika 2), P_{eff} je izostavljen.

Ovakva definicija se razvila iz prethodnih indeksa CO_2 emisije koji su bili znatno jednostavnije definirani s jasnim fizikalnim smislom, npr. prema [4]:

$$CO_2 \text{ indeks projekta} = \frac{\left(\sum_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{NME} C_{FMEi} SFC_{MEi} P_{MEi} \right) + \left(\sum_{k=1}^L f_k \right) \left(\sum_{i=1}^{NAE} C_{FAEi} SFC_{AEi} P_{AEi} \right)}{Kapacitet \times V_{ref} \times f_w} \quad (2)$$



Slika 2. Opći i pojednostavljeni prikaz brodskog energetskeg sustava [3]

Fig. 2 A generic and simplified marine power plant [3]

Može se reći da koeficijent energetske učinkovitosti bilo kojeg energetskeg sustava predstavlja kvantificirani odnos između angažiranog energetskeg resursa i korisnog učinka kojega možemo egzaktno utvrditi kao neposrednu posljednicu angažiranja tog istog resursa.

Primjena spomenutog temeljnog načela na brodski energetskeg sustav zahtjeva u prvom koraku definiranje na kojoj će se razini cjeloživotnog ciklusa analizirati energetska učinkovitost. U drugom koraku potrebno je kvantificirati angažiranje brodskog energetskeg resursa i egzaktno iskazati neposredni gospodarski učinak. Dvije osnovne razine za analizu su projektna i eksploatacijska.

Za analizu na projektnoj razini ponuđen je analitički izraz (1) za proračun projektnog indeksa energetske učinkovitosti (EEDI). U ovom se slučaju angažirani energetskeg resurs želi odrediti pomoću ponderiranih projektnih vrijednosti nazivnih snaga glavnih i pomoćnih motora i projektnih vrijednosti inovativnih ušteda i utilizacijskih efekata, a izraziti ga u obliku masene emisije CO_2 . Gospodarski učinak iskazan je projektnim predviđanjem brzine s kojom će brod prevesti projektom predviđenu količinu tereta. Donesene su smjernice [3] prema kojima se ponderirane vrijednosti snaga energetskeg izvora određuju na temelju bilance potrošnje električne energije. Ta je bilanca „kvazistatička“ i zasniva se na čitavom nizu pretpostavki iz čega proizlaze mogućnosti velikih pogrešaka u procjeni EEDI u odnosu na realna stanja u eksploataciji i ne mogu biti generalizirana etalonska vrijednost za više tipova brodova. Naime, potrebe za energijom tijekom eksploatacije broda ovise o vrlo mnogo varijabli te imaju nestacionarni karakter. Osnovni preduvjet za optimiranje veličine ukupnog energetskeg resursa broda je poznavanje dinamičke energetske bilance za pojedini tip broda i pojedinu rutu plovidbe. Tek uz pomoć tog „alata“ moguće je definirati vrijednosti utjecajnih koeficijenata i izgraditi pouzdane izraze za proračun projektnog indeksa energetske učinkovitosti.

Primarni cilj, koji je u više navrata izgubljen iz vida na sjednicama MEPC-a i pripadajućih pododbora, jest smanjenje emisije stakleničkih plinova, odnosno povećanje ekološke prihvatljivosti broda što je u tijesnoj vezi s povećanjem energetske učinkovitosti. Naime, svi doprinosi energetske učinkovitosti brodskog energetskog sustava u vidu inovativnih ušteda ili utilizacijskih efekata se odražavaju kroz manju potrebnu angažiranu snagu prvopokretača (motora, kotlova, incineratora...) kao jedinih generatora emisije CO₂ i time veću ekološku prihvatljivost energetski učinkovitijeg broda. Emisiju CO₂ je stoga moguće odrediti ili promatrajući prvopokretače, što je jednostavnije i transparentnije, ili natražno promatrajući potrošače i učinkovitost energetskog sustava, što je u projektnoj fazi zasnovano na čitavom nizu pretpostavki, ali bi u konačnici, ako je ispravno napravljeno, moralo dati isti iznos. Upravo je takav natražni način korišten u formuli (1).

No, ovdje se javlja problem, jer je definicija P_{ME} nejasna. Kao što je već spomenuto, P_{ME} je 75 % MCR-a nakon oduzimanja snage vratilnih generatora, međutim nije jasno kako odrediti MCR. Trenutna definicija navodi na to da je MCR stvarno instalirana snaga motora s EIAPP certifikata ili, u nedostatku istoga, podatak s pločice na motoru. Sad se postavlja pitanje načina na koji se odabire motor. Ako su u projektnoj fazi već predviđene mjere uštede energije, u formuli (1) označene kao P_{eff} , i posebno ako su one značajnijeg iznosa, neće li se to odraziti na odabir motora? Ako bi to dovelo do odabira motora manje snage, to bi značilo da se pri određivanju EEDI-a uštede energije uzimaju u obzir dva puta, najprije u vidu smanjenog P_{ME} , a potom i negativnog P_{eff} .

Taj je nedostatak već primijećen, npr. u [5], i zahtjevano je pojašnjenje. Kakav utjecaj ovakvo shvaćanje formule ima, u ovom je radu prikazano kroz izračun EEDI-a 88-metarskog jedrenjaka „Maltese Falcon“. Brod je pokretan s dva dizelska motora svaki snage 1500 kW i s njima postiže 14 čv. P_{ME} je 75 % od ukupne snage glavnih motora, tj. oko 2250 kW. P_{AE} iznosi prema empirijskoj formuli iz [3] oko 325 kW. No, s jedrima brod postiže brzinu od čak 19.6 čv. Pretpostavljajući kubnu ovisnost potrebne snage motora o brzini, dolazi se do zaključka da bi brodu bila potrebna snaga dizelskih motora od oko 8200 kW da postigne tu brzinu. To bi značilo da bi P_{eff} iznosio 75 % smanjenja te dodatne snage, što je 75 % od 5200 kW, tj. oko 3900 kW, što je značajno više od P_{ME} i P_{AE} zajedno pa bi brojnik, a time i cijeli EEDI postao negativan. Nije jasno kakav bi fizikalni smisao ovakvoga indeksa bio.

Sporna je i definicija SFC – specifične potrošnje goriva. Prema [3] to je podatak iz EIAPP certifikata („Engine International Air Pollution Prevention“) kojega mora imati svaki motor iznad 130 kW [6]. No, pri izdavanju tog certifikata, primarno u svrhu određivanja emisije NO_x spojeva, ne mjeri se samo SFC , već i izravno emisija CO₂. Stoga nije jasno zašto se taj podatak ne koristi izravno.

To bi riješilo i dvojbu je li C_F zaista ovisan isključivo o masenom udjelu ugljika u gorivu kako se tvrdi u [3]. To vrijedi uz pretpostavku potpunog izgaranja, no takvo u stvarnosti ne postoji. Korištenjem podataka o proizvedenom CO₂ pri testiranju pri izdavanju EIAPP certifikata i taj bi se problem mogao riješiti.

Veoma je zanimljivo da nova definicija P_{AE} negira sve prijašnje, prema kojima se uzimala u obzir sva snaga koju proizvode pomoćni motori, kotlovi, incineratori itd. Na taj su način izuzeti svi drugi pomoćni sustavi koji zahtijevaju snagu koja je značajna, a nerijetko na razini ili čak veća od snage porivnog sustava. Nadalje, izuzimanjem dijela brodskih sustava iz ukupne bilance potrošnje energije formula prestaje biti primjenjiva na integrirane i hibridne brodske energetske sustave jer tok energije više nije jednoznačno definiran. Stoga se područje primjene formule na ovaj način ograničilo. Potrebno je istaknuti da formula (2), budući da promatra prvopokretače, jest primjenjiva na svim izvedbama brodskog energetskog sustava.

4. Primjena na Ro-Pax brodove

Još je u [7] prepoznat problem određivanja EEDI-a za putničke, ro-ro i ro-pax brodove. Taj problem još nije riješen, a u [1] je predviđeno donošenje rezolucije koja bi obuhvatila ove tipova brodova tek na 66. sjednici MEPC-a početkom 2014. godine. Kakav učinak ovi tipovi brodova imaju na okoliš svake godine, vidljivo je iz tablice.

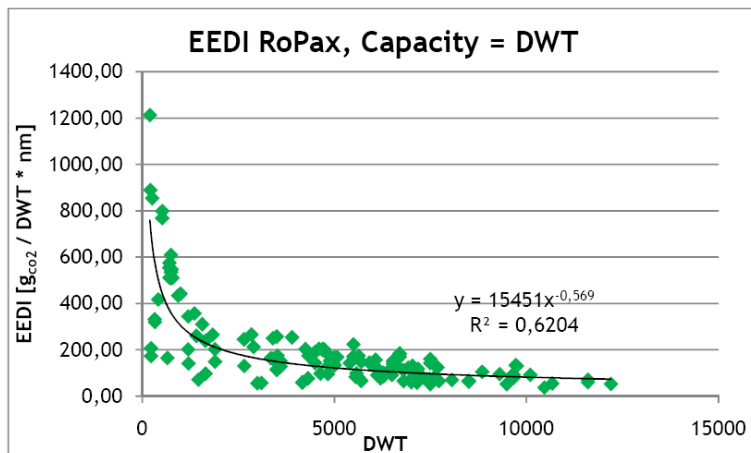
Tablica 1. Emisija CO₂ brodova na koje se ne odnosi EEDI [8]

Table 1 CO₂ Emission from ships to which EEDI does not apply [8]

Vrsta brodova	Predviđena emisija CO ₂ [miliijuna t/god]	Udio u ukupnoj emisiji flote [%]
Putnički	21,31	1,91
RO-RO za prijevoz vozila	27,42	2,46
RO-RO za prijevoz tereta na kotačima	18,25	1,63
RO-PAX	81,84	7,32
Ukupno	148,82	13,31

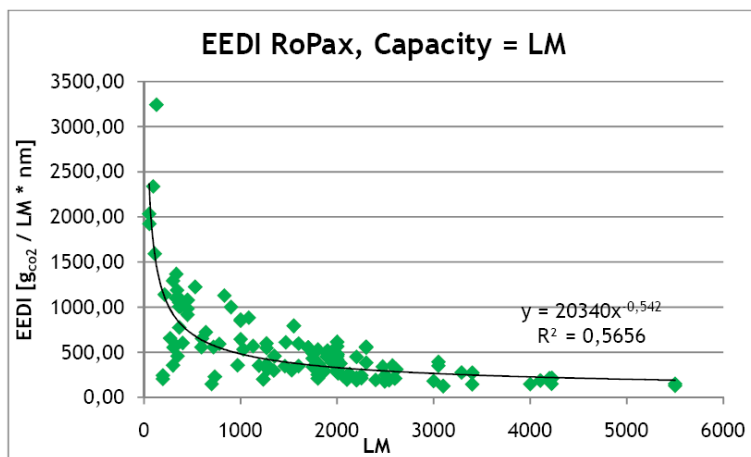
Kao najveći problem pri određivanju EEDI-a za navedene tipove brodova prepoznat je problem određivanja kapaciteta. Kao što je spomenuto, za većinu brodova prevezeni teret, tj. kapacitet se mjeri u tonama, tj. kao DWT. Za kontejnerske brodove, kapacitet se mjeri u kontejnerima, no u [3] je propisano ipak 70 % DWT-a, što se pokazalo dovoljno dobrim. Za neke brodove specifične namjene to nije bilo moguće pa su uvedeni korekcijski faktori f_i , f_j i f_c . No, za ro-ro i ro-pax brodove niti korekcijski faktori nisu bili dovoljni. Glavni razlog tome je što takve vrste brodova prevoze teret, vozila i putnike, koji imaju veoma raznovrsne značajke. Naime, na palubi u duljini od 20 metara, može stati 4 mala, ili 3 veća osobna automobila, autobus prazan ili s 50 putnika, kamion prazan ili s 20 t tereta. U nadgrađu na površini od 100 m² mogu biti postavljene klupe za 100 osoba, sjedala za 50 osoba, 5 kabina za 20 osoba ili jedna kabina za dvije osobe.

U [9] su prikazane razne mogućnosti određivanja referentne krivulje u ovisnosti o raznim veličinama, kao što su DWT (Slika 3), duljina staze za vozila (Slika 4), broj putnika (Slika 5), broj kabina, bruto tonaža, Froudova značajka itd, no nijedna se nije pokazala dobrom. U [9] navodi se da EEDI u trenutnom obliku nije prikladan za ro-ro brodove za prijevoz tereta na kotačima i ro-pax brodove, dok bi za ro-ro brodove za prijevoz vozila EEDI mogao biti prikladan uz neke korekcije. Razlog tome su prevelike razlike u projektnim zahtjevima za te vrste brodova što onemogućuje njihovo kvalitetno uspoređivanje. To je posebno izraženo za brodove koji su dio većeg transportnog lanca i koji su vezani rasporedom plovidbe. Ti brodovi, kako bi bili konkurentni ostalim oblicima prijevoza (cestovni, željeznički), moraju imati određene zalihe dodatne snage kako bi mogli kompenzirati većom brzinom eventualna kašnjenja. Uvođenje prevelikih zahtjeva na EEDI za tu vrstu brodova, koji bi se mogli zadovoljiti samo smanjenjem brzine, moglo bi dovesti do smanjenja prijevoza putnika i tereta ro-pax brodovima, a povećanja prijevoza ostalim, energetske manje efikasnim, načinima transporta (cestovni, zrakoplovni), što nije poželjno s ekološkog stajališta.



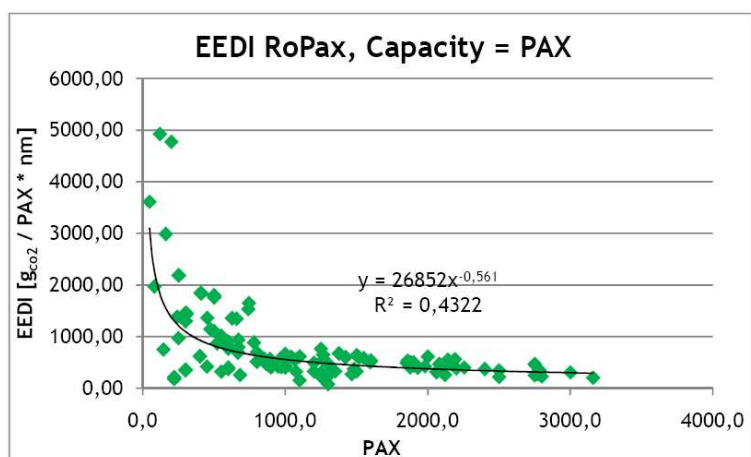
Slika 3. EEDI za Ro-Pax, kapacitet definiran kao DWT [9]

Fig. 3 EEDI for Ro-Pax, capacity defined as DWT [9]



Slika 4. EEDI za Ro-Pax, kapacitet definiran kao duljina staze za vozila [9]

Fig. 4 EEDI for Ro-Pax, capacity defined as lane meters [9]



Slika 5. EEDI za Ro-Pax, kapacitet definiran kao broj putnika [9]

Fig. 5 EEDI for Ro-Pax, capacity defined as number of passengers [9]

5. Zaključak

EEDI je jedna od projektnih mjera povećanja energetske učinkovitosti, a time i ekološke prihvatljivosti brodova koja zasigurno ima značajni potencijal, koji se primjenom operativnih i tržišnih mjera može i još povećati. Za donošenje Rezolucije utrošeno je mnogo vremena i truda, nažalost prečesto gubeći iz vida temeljni smisao rezolucije, a to je smanjenje zagađenja okoliša stakleničkim plinovima. To je cilj koji, u načelu, podupiru sve zemlje članice IMO-a. Ipak, neke zemlje danas tvrde da CO₂ nije zagađivač, i da se odredbe donesene Rezolucijom na njih ne bi smjele odnositi. Premda se o CO₂ indeksu, koji je u međuvremenu preimenovan u EEDI, raspravlja intenzivno još od 57. sjednice MEPC-a (2008. godina), neke zemlje i danas tvrde da je Rezolucija donesena ishitreno, da EEDI nije dovoljno sazio te procjenjuju da je potrebno još barem 6 do 8 godina istraživanja i dogovaranja kompromisa. Naposljetku, može se zaključiti da je dobro da se nije dulje čekalo s donošenjem Rezolucije, ali i naglasiti da je potreban daljnji rad kako bi se ispravili nedostaci i načinile dopune postojećeg izraza za proračun.

LITERATURA

- [1] MEPC 62/24, Report of the marine environment protection committee on its sixty-second session (Secretariat)
- [2] Second IMO GHG Study 2009
- [3] MEPC 63/4/11, Report of the second Intersessional Meeting of the Working Group on Energy Efficiency Measures for Ships (Secretariat)
- [4] MEPC 58/4, Report of the outcome of the first Intersessional Meeting of the Working Group on Greenhouse Gas Emissions from Ships (Secretariat)
- [5] GHG-WG 2/2/10, Comments on the draft Interim Guidelines on the Method of Calculation of the Energy (China)
- [6] Rezolucija MEPC.176(58)
- [7] MEPC 59/4/2, Report of the outcome of the second Intersessional Meeting of the Working Group on Greenhouse Gas Emissions from Ships (Secretariat)
- [8] MEPC 61/5/15, Information to facilitate discussion on GHG emissions from ships (Secretariat)
- [9] Deltamarin, Report for Project 6543, "Study on tests and trials of the Energy Efficiency Design Index as developed by the IMO", 2011.