

Vitorlás kishajóra ható ellenállás erő vizsgálata hajtáslánc csere okozta merülésváltozás esetén numerikus áramlástanai szimulációk használatával Investigation of the Resistance Force Acting on a Sailing Craft in the Case of a Change of Draft Caused by a Change of Powertrain Using Numerical CFD Simulations

FICZERE P.¹, LÉVAI E.²

¹Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Railway Vehicles and Vehicle System Analysis, ficzere.peter@kjk.bme.hu

² Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Mechanical Engineering, levai.emese@edu.bme.hu

Kedvtelési célú vízijárművek esetén a környezetvédelmi okokból egyre szigorodó szabályok miatt a motoros hajtások megoldásaiba való beavatkozás napjainkban gyakori munkafolyamat. Belsőégésű motorról elektromos motorra való átváltáskor a merülésváltozás hajónként eltérő, azonban közösen elmondható minden esetben, hogy a tömeg változásával a merülés is változik. Emiatt a hajóra ható ellenállási erő nagysága is változik. Jelen cikkben egy konkrét példán keresztül vizsgáljuk, milyen hozadékaik vannak a tömegnövekedés okozta merülésváltozásnak különféle haladási sebességeknél.

Nowdays In the case of recreational craft, interfering with motor drive solutions is a common workflow due to increasingly strict rules for environmental reasons. When switching from an internal combustion engine to an electric engine, the change in draft varies from boat to boat, but it can be said in all cases that as the mass changes, so does the draft. Because of this, the magnitude of the resistance force acting on the ship also varies. In this paper, we examine, through a specific example, the benefits of a change in draft caused by weight gain at different travel speeds.

Kulcsszavak: hajó 1, ellenállás 2, sebesség 3, merülés 4, CFD 5

Keywords: ship 1, resistance 2, speed 3, draft 4, CFD 5

Bevezetés

A tavi hajózás fellendülésével a magyar tavakon közlekedő kishajókra vonatkozó műszaki előírások az utóbbi évtizedekben fokozatosan szigorodtak. A vitorlás hajókon kikötői manőverezéshez használt segédmotorok eredetileg csak azt a célt szolgálták, hogy a zsúfolt kikötőkben ne okozzon fennakadást, ha adott időben nincs szél, vagy nem olyan irányú, hogy a kikötő bejáratától biztonsággal elvigye a hajót. Emellett jelentek meg a tisztán motoros üzemű kishajók is, melyek a mentési és rendészeti munkát végzőkön túl magánszemélyek sporteszközeiként is elérhetőek lettek [1]. Az így kialakult, túlnyomórészt belsőégésű motoros hajók összessége sok környezetvédelmi problémát okozott, hiszen mindamellett, hogy a károsanyag kibocsátásuk is magas, a tavi élővilág a sekély magyar vizeken meglehetősen sérülékeny [2]. A legújabb szabályozások szerint a Balatonon belsőégésű motorral kedvtelési célú járművek csak vészhelyzet esetén vagy kikötői manőverezéskor közlekedhetnek. Így azoknak a felhasználóknak, akik más esetekben is motorral kívánnak közlekedni, elektromos hajtásra kell váltaniuk [3], [4]. Ebben az esetben számolni kell azzal, hogy bár a legtöbb azonos teljesítménnyel rendelkező elektromos motor kisebb tömegű, mint belsőégésű párja, a tápláló akkumulátorok tömege többsúlyként jelentkezik [5], [6]. Emiatt az átépítéssel szinte biztosan megváltozik a hajó merülése, ezzel együtt az ellenállása is. Ebben az esetben hasznos egy olyan számítás, mellyel pontosabb képet kapunk arról, mekkora várható sebességcsökkenésre számíthatunk adott motorteljesítmény mellett. A cikkben erre a számításra láthatunk példát.

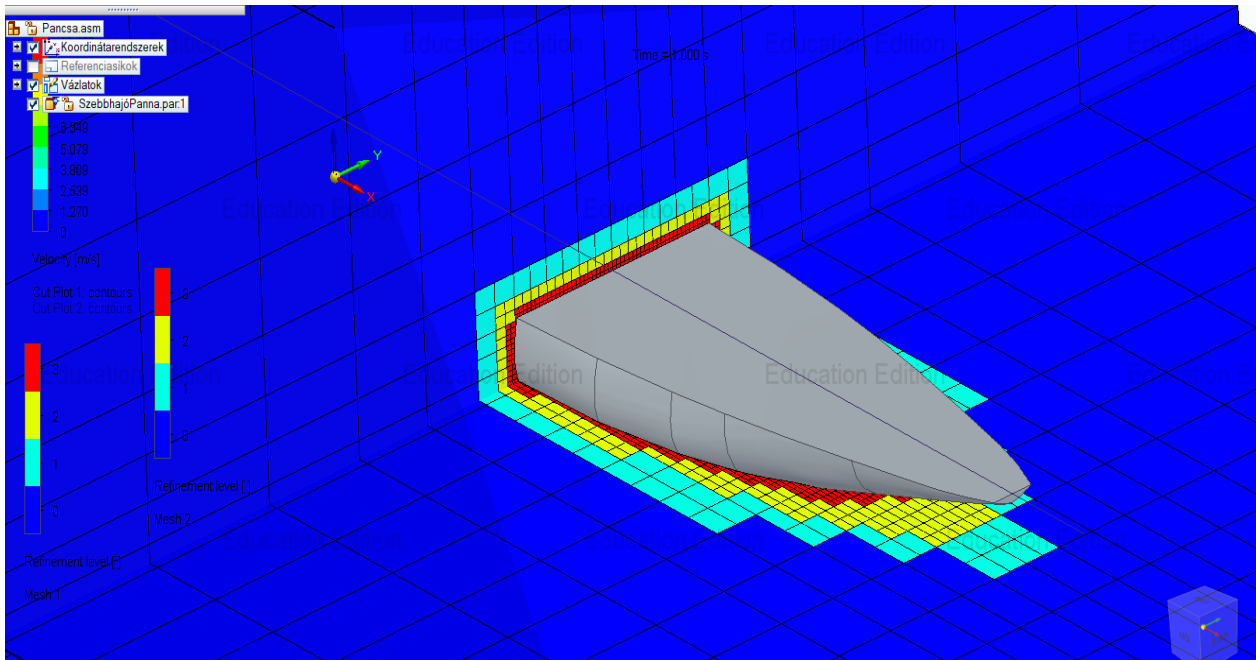
1. Módszertan

1.1. Súly-és merülésszámítás

A vizsgált hajó egy 50 m²-es cirkáló, túra kivitelű vitorlás. Tervrajzai a Balatonfüredi Hajógyárban készültek, tervezési súlyszámítását is itt végezték el. A kiindulási terhelési eset azonban eltér a hajó ezen megállapított terhelésétől, hiszen az átépítés alapja egy dízelmotoros hajtással kiegészített jármű volt. Ennek súlyszámításához helyszíni felméréssel készült el a súlytábla. Itt össze lehetett hasonlítani, mi az, ami az eredeti bútorrajzból, gépészetből a rajzokhoz képest hiányzik (pl. ágybetét deszkák), illetve mi az, ami többsúlyként jelentkezik (pl. dízel motor és a hozzá tartozó hajtáslánc). Az összehasonlítás azért volt szükséges, mert így a kiindulási alapul szolgáló hajó tömegének lemérése nem volt szükséges, csak a különbséget jelentő kisebb elemeké. Ezután megállapításra került az elektromos motor és a hozzá tartozó hajtáslánc, valamint az akkumulátorok tömege is. A számítás Maxsurf Hydromax programmal készült, eredményül a modellezett geometria ismeretében megállapítottuk, hogy a hajó kezdeti merülésre 1,68 m volt, és 1,7 m-re változott. A dízel motoros és elektromos hajtásból adódó tömeg különbség igen kicsire adódott, így a belőle adódó merülésváltozás is kicsinek mondható a hajó méreteihez viszonyítva (13,2 m hosszú hajó, 6800 tonna tervezési vízkiszorítással mindössze 2 cm merülésváltozást szenvedett). A vizsgálat amiatt is hasznos, mert a Balatonon működő hajók hasonló teljesítménytartományban végeznek motorcserét, és elektromos motorok terén is legegyszerűbben, illetve legyorsabban hasonló tömegű gépeket tudnak beszerezni a felhasználók.

1.2. Áramlástanai szimuláció

Az áramlástanai szimuláció során a cél annak meghatározása volt, hogy a különböző haladási sebességeknél mekkora ellenállási erő hat a hajótestre a vízben. Ebből meghatározható, hogy az átépítés során kapott merülésváltozás milyen mértékben befolyásolja a közeg által kifejtett ellenállás erőt, azaz végeredményben azt, hogy a vitorlás hajó mennyit veszít a várható sebességéből azonos motorteljesítmény esetén. A vizsgálatokat a Siemens Solid Edge program FloEFD bővítményével végeztük. Beállításként felvettük a hajó merülését (a két esetben a két, fent említett értéket), az áramlás jellegét - test körüli, szabad felszínes - és a határoló közegeket (merülési mélység alatt víz, felette



1. ábra: Hajótest farrésze körül megjelenített lokálisan sűrített háló

levegő), továbbá azoknak szükséges fizikai tulajdonságait. Külső erőként a kalkuláció része volt a nehézségi erő nagysága és iránya is. Az adott esetben vizsgált rááramlási sebességét is beállítottuk a közegnek, ellentétes irányban a hajó sebességvektorával. A hálót lokálisan 3 lépcsős sűrítéssel a testet határoló felületek köré sűrítettük (1. ábra), részben annak érdekében, hogy a testtől távoli, kevésbé releváns pontokban végzett feleslegesen pontos számítások ne lassítsák az eredmények megjelenését, részben azért, hogy a test körüli, ellenállási célérték szempontjából kritikus zónában az értékek minél pontosabbak legyenek. A terhelési esetek megválasztását már egy korábbi pontban tárgyaltuk. A vizsgált sebességek megválasztásának szempontja a hajó üzemállapotai voltak. A jármű rendeltetészerűen vízkiszorításos üzemben működik, ami 0,45 értékű Froude-számig terjed [7]. Mivel a siklás a hajóhossztól is függ, így a Froude-szám - a sebesség mellett - a hajóhosszal is arányos mennyiség, és a

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gL}}$$

összefüggéssel számítható, ahol „Fr” a Froude-szám, „u” a hajó haladási sebessége (m/s), „g” a nehézségi gyorsulás (9,81 m/s²), és „L” teljes vízvonalhossz (m). Megállapítható a számításból, hogy a hajó vízkiszorításos üzemének a határa 9,2 m vízvonalhossznál (mely a két terhelési esetben nem változik szignifikáns módon) 4,3 m/s. A mérés során tehát 4 mérési pontot vettünk fel egyenletesen az üzemi állapothoz tartozó tartományban, és kettőt félsikló állapotban (utóbbi viharos szélben való viselkedésre ad példát).

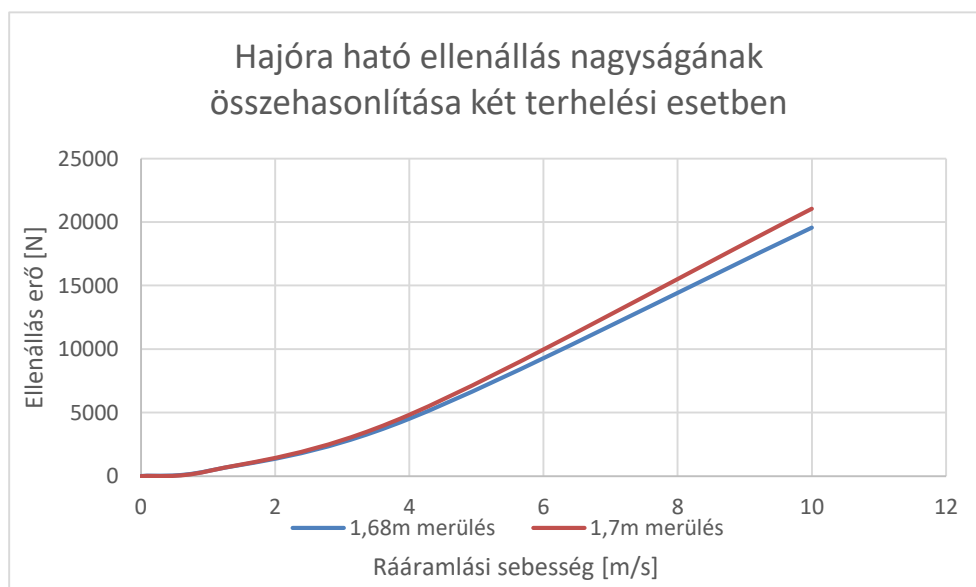
2. Eredmények

A futtatás után minden terhelési esetben, mind a hat mérési pontban külön vizsgálat alá vetettük a mérési sorozatot. A konvergencia minden esetben egyértelműen meghatározható volt, azokat az értékeket, melyekhez az iterációkkal az ellenállás konvergált, táblázatosan és grafikonon is ábrázoltuk.

Túra cirkálóra ható ellenállás értékek		
Rááramlási sebesség [m/s]	Merülés	
	1,68 m	1,7 m
	Ellenállás erő [N]	
0	0	0
1	103,2	143,78
2	1894,109	1965,89
4	4512,443	4830,331
6	9390,548	9402,159
10	19570,12	21042,41

1. táblázat: Túra cirkálóra ható ellenállás értékek különböző mértékű merülések esetén

A szimulációk során kapott számszerű értékeket az 1. táblázat mutatja. A táblázat értékeit grafikusán szemléltetve (2. ábra) azt tapasztaljuk, hogy minél nagyobb sebességgel halad a vitorlás, annál nagyobb



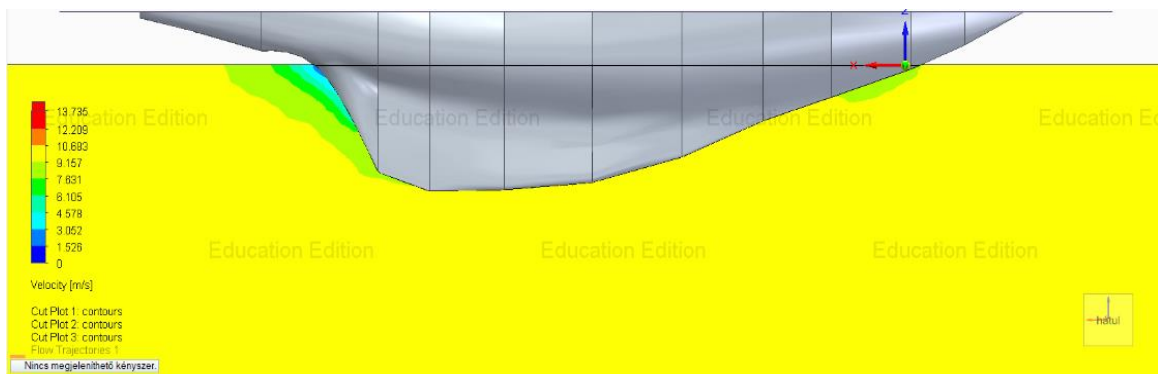
1. ábra: Hajóra ható ellenállás nagyságának összehasonlítása két terhelési esetben

a távolság a két grafikon pontjai közt vertikális irányban. Ez azt jelenti, hogy nagyobb merülésnél növelve a sebességet nagyobb mértékben növekszik a hajótestre ható ellenállás értéke, ami az elmélettel teljes mértékben összevág.

A merülés megváltozásával nem csak a nedvesített felület nagysága -és ezzel az ellenállási erő- nő meg, hanem a nedvesített felület és a vízvonalmetszet alakja is változik. Jelen esetben geometriailag egy szélesebb alakzatot metsz ki a vízfelszín a hajótestből, így az áramképet is vizsgálni kell (3. és 4. ábra). Amennyiben a bemeülő alak úgy változik, hogy az áramlás korán leszakadó örvényeket generál a hajótest körül, vagy a legnagyobb szélesség körül túlságosan felgyorsul, az drasztikus sebességcsökkenést eredményez.

3. Analízis

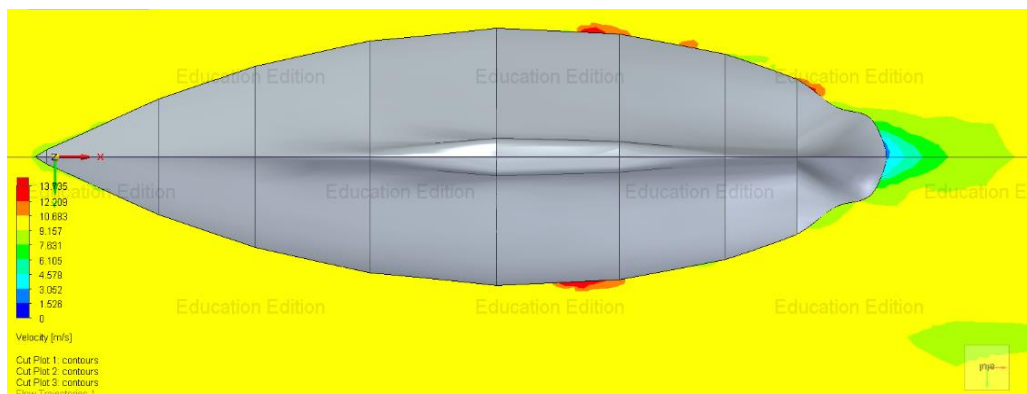
Megvizsgálva az eredményeket jellegük és mértékük szerint is több megállapítást tehetünk. Figyelembe véve a hajó méretéhez képest viszonylag kis merülésváltozást, azt tapasztaljuk, hogy a kis változáshoz képest viszonylag nagy differenciák adódnak azonos sebességnél az ellenállás értékei között (pl.: 10 m/s esetén több, mint 1472 N), tehát centiméteres nagyságrendű merülésváltozás hatása is szignifikáns



3. ábra: Közeg sebessége a hajótest körül (oldalnézet, középvonal síkja)

eltérést mutat ellenállás tekintetében.

Az áramképben ábrázolva a sebességeloszlást a hajó környezetében azt tapasztaljuk, hogy a test legnagyobb szélessége mögött (a far felé) közvetlenül az oldallemez mellett (4. ábra) az áramlás



4. ábra: Sebességeloszlás a hajótest körül (alulnézet, vízvonal síkja)

lokálisan felgyorsul, majd újra lelassul a kiinduló, első térfélnél tapasztalt sebességre. A hajó körül amellet a felület mellett, ami rááramlási árnyékban van, azaz a hajó melletti gyorsult áramvonalak nem - vagy csak részben érintik, a közeg sebessége jelentősen csökken, a vízvonalterület és a kormánycsapágy tengelyének metszéspontjában és környékén pedig a közeg sebessége közel 0 m/s. Azt látjuk, hogy a legnagyobb áramlási sebességnek sem a nagysága (13,7 m/s), sem a helye (főborda mögötti szűkülő ív) nem okoz nagymértékű sebességcsökkenést.

4. Konklúzió

Konklúzióképpen elmondható, hogy az átépítés kivitelezése ennél a hajónál eredményez ellenállás többletet, és ennek hatása azonos vitorlázat vagy motorteljesítmény mellett lassulásként jelentkezik. Mivel a cirkáló osztály többi tagja hasonló kivitellel készült, sorozatgyártott termék, így esetükben ez a számítás szintén elvégezhető, és ha hasonló teljesítményű motorokat szánunk rájuk, a bútorzat hajóhoz képesti viszonylag kis tömege miatt akkor is hasonló eredményeket tapasztalunk, ha esetleg a használat során a hajó belseje átrendezésre került. Mivel a számításokat vízszintesen úszó vitorlásra végeztük, további tanulmányozás tárgya lehet a megdőlt helyzetű jármű vizsgálata, illetve a gyorsuláskor kiemelkedő hajótest vizsgálata ugyanezen metódussal.

Szintén kérdéseket vehet fel a motoros üzem hatótáv növelése érdekében esetlegesen behelyezett további akkumulátorok többletterhelése.

Hivatkozások

- [1] Marina Zanne, Elen Twrdy, The Economic Analysis of Air Pollution Mitigation Measures in Smaller Ports, *RFDS* 33(2021), no. 1, 145-152, DOI 10.15181/rfds.v33i1.2206
- [2] Jugović, A., Debelić, B. & Brdar, M. (2011). SHORT SEA SHIPPING IN EUROPE FACTOR OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT TRANSPORT SYSTEM OF CROATIA. *Pomorstvo*, 25 (1), 109-124. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/69640>
- [3] Vilke, S., Tadic, F., Ostović, I. & Debelić, B. (2020). The use of hydrogen as an alternative fuel in urban transport. *Pomorstvo*, 34 (2), 376-386. <https://doi.org/10.31217/p.34.2.18>
- [4] Hess, M., Pavić, I.F., Kos, S. & Brčić, D. (2020). Global shipbuilding activities in the modern maritime market environment. *Pomorstvo*, 34 (2), 270-281. <https://doi.org/10.31217/p.34.2.8>
- [5] Žaglinskis, J., Rapalis, P., Lazareva, N. (2018) "An overview of Natural Gas Use in Ships: Necessity and Engine Supply", *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 46(4), pp. 185-193. <https://doi.org/10.3311/PPtr.11708>
- [6] Székely, P., Ficzer, P. (2017) "The Examination of Dynamic Effects of Shape Optimized Vehicle Components", *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 45(2), pp. 90-93. <https://doi.org/10.3311/PPtr.9875>
- [7] Simongáti Gy, Hargitai L. *Kishajók*, Budapest: Typotex. (2012), ISBN 978-963-279-643-7