



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék

TDK DOLGOZAT

**BOSCH hajtásrendszer elemek integrálásának lehetőségei
vízi járműbe**

Készítette: Lévai Emese (PC3XKF)

Konzulens: Dr. Simongáti Győző (BME, RHT)

Nyilatkozat

Alulírott Lévai Emese Sarolta hozzájárulok ahhoz, hogy az „BOSCH hajtásrendszer elemek integrálásának lehetőségei vízi járműbe” című szakdolgozatomat a BME oktatói az oktatási és kutató munkájukban korlátozás nélkül felhasználhassák, a munka kiválasztott részeit a publikációikba – a Szakdolgozatra és annak szerzőjére való szakszerű hivatkozással – beilleszthetik. A dolgozat saját munka nyomán készült, az átémelt információkat források feltüntetése mellett jelöltem.

Budapest, 2022. 10.31.

.....

Hallgató aláírása

Jelölésjegyzék

Latin betűk, jelölések:

- K_T : Tolóerő-tényező;
- K_Q : Nyomatéki tényező;
- n : Fordulatszám;
- D : Átmérő;
- P : Teljesítmény;
- v : Sebesség;
- v_A : Nyíltvízi haladási sebesség;
- T : Tolóerő;
- I : Áramerősség;
- U : Feszültség;
- t : Idő;
- C : Kapacitás;
- z : Szárnyszám;
- $\frac{P}{D}$: Emelkedés-arány;
- $\frac{A_D}{A_0}$: Nyújtott felület-arány;

Görög betűk, jelölések:

- η_M : Motorhatásfok;
- η_f : Tengelyrendszer hatásfoka;
- ρ : Víz sűrűsége;
- ω : Sodortényező;

Indexek:

- $igeny$: igény;
- $igenyEff$: effektív igény;
- $prop$: propellerre von. érték;
- T : tolóerő;
- lem : lemerítéshez szükséges;

Tartalom

2	Feladatbemutató, célmeghatározás	4
3	Potenciálisan felhasználható BOSCH termékek	5
3.1	Az e-Axle	5
3.2	Teljesítményelektronika, inverter	6
3.3	Hajtómű.....	7
3.4	Akkumulátorok	8
4	Hajótest, hajtásláncok elhelyezhetősége különféle hajótesteknél	10
4.1	Trimarán szerkezet.....	12
4.2	Katamarán szerkezet	13
4.3	Motoros kialakítás rövid testtel, egyenes fartükörrel.....	15
4.4	Karcsú forma.....	16
4.5	Vízkiürítő motoros hajó jellegzetes formája.....	16
5	Propulziós számítások.....	18
5.1	Ellenállás számítás	18
5.2	Hajócsavar kiválasztása	20
6	Hatótávbecslés, áramfelvétel a sebesség összefüggésében.....	22
6.1	Motorkarakterisztika	22
6.2	Üzemi profil	24
6.3	Önjárás jelleggörbe	24
6.4	Áramfelvétel számítása	25
6.5	Maximális motorteljesítményel való haladás.....	27
7	Hajtásláncok vizsgálata, kritikus pontok és speciális műszaki paraméterek a vízi használat esetén	30
7.1	Összevetés a konkurenciával	31
7.2	Szükséges módosítások.....	31
7.3	Tengelykapcsolás.....	34
8	Összefoglalás	35
	Források	36

1 Feladatbemutató, célmeghatározás

A BOSCH 2021-ben olyan lehetséges termék vizsgálatát kérte, melynek minél több komponensét maga a vállalat gyártja és/vagy forgalmazza, különös tekintettel az E-Axle termékcsoporthoz (2.ábra). Az elektromos autókban használt hajtásláncok közül jól működő, üzembiztos és versenyképes árú termékeknek is bizonyultak, a dolgozat vizsgálatának tárgya, hogy ezeknek a termékeknek az interpretálása vízi járműbe milyen sajátosságokat, sarkalatos pontokat hordoz magában. A BOSCH termékei igen ritkán alkalmazandók vízi használatban, komplett hajót pedig most tervez először a vállalat.

A termékeknek az elvárásoknak megfelelően minél kisebb mértékben kell a ma piacon lévő verziókhoz képest változniuk. Feladat megkeresni és megalkotni CAD rendszerben azt a hajótestet, mely a megrendelő leginkább előnyösnek tart, s amelyik leginkább kihasználja a hajtáslánc előnyeit. A feladatkiírás szakaszában a BOSCH nem kötötte meg, milyen üzemi hajót szeretne, így a dolgozatban több alternatív verziót is bemutatok. Ezek közül választ később a vállalat. Kötött paraméter előjáróban, hogy 8 fő kényelmesen elférjen a hajó fedélzetén, ehhez a rendeltetéshez célszerű egy 24-26 m² alapterületű fedélzetet biztosítani, hogy minden utas kényelmesen elférjen. A hajtáslánc tömege, és a megkívánt funkciók berendezései miatt a mintahajók vizsgálatánál a modellek hozzávetőleg azonos vízkiszorítással rendelkeznek. A hasonló méretű és rendeltetésű, már meglévő hajók mintájára 4300 kg körüli vízkiszorításúak a hajók, s majd a kiválasztott koncepció is ekkora lesz. Ez a követelmény képezi az összehasonlítási alapot a későbbiekben, amikor többféle modellt hasonlítok össze a hajótestforma kiválasztásánál.

Az elvárt maximális sebesség 18 km/h, ennyivel kell tudnia menni a hajónak teljes terhelés melletti állapotban.

További cél, hogy a beépített hajtásrendszer elemeit kiválasszam, illetve ezekre a vonatkozó átalakítási javaslatokat, beépítésükre vonatkozó különleges utasításokat, illetve a beépítésüknél felmerülő műszakilag nagyobb kihívást jelentő részleteket kiemeljem.

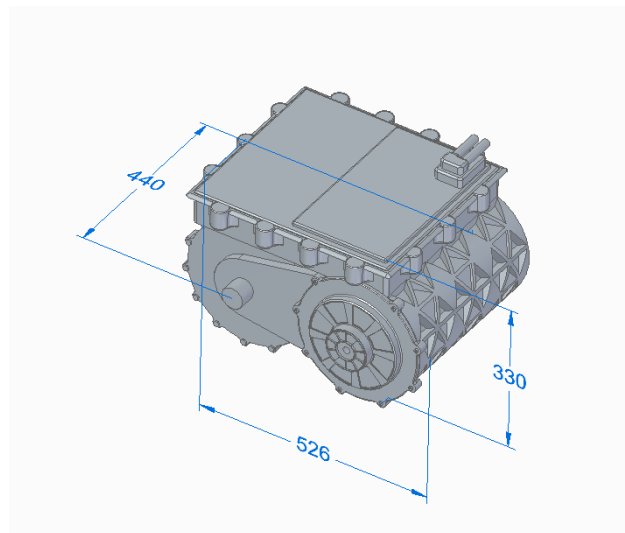
Fő feladatok közé tartozik még annak meghatározása, hogy a koncepció alapján készült hajótest várhatóan milyen hatótávval rendelkezik, hiszen az elektromos hajók piacán ez az, ami fontos összehasonlítási alap a konkurens termékekkel, továbbá a majdani megrendelőt is kiemelten érdekli majd ez az információ.

A tervezett hajóval kisebb rendezvényeket, csapatépítő eseményeket és kirándulásokat szerveznének, így kialakítása ennek meg kell, hogy feleljen.

2 Potenciálisan felhasználható BOSCH termékek

2.1 Az e-Axle

Az e-Axle (1) egy kompakt rendszer neve, ami egy szerkezeten belül egyesíti az elektromotort (1.ábra), a sebességváltót és az invertert. Míg más járművek hajtásláncainál ezek különálló elemek, addig például a BMW i3 vagy a Volkswagen id3 belsejében ezek összekapcsolódnak, ezzel helyet, tömeget spórolva meg az autókban. Teljesítményre vetítve ráadásul az azonos motorteljesítményű hajtásláncok fent felsorolt elemeinek árát összeadva az eAxle-es megoldás olcsóbb is (1). 50kW és 300kW között megrendelői igénytől függően skálázható a motorteljesítmény, így bizonyos korlátok között már a motorral is tudnak alkalmazkodni a szállítási feladathoz (ezt látjuk majd a hajó esetében is a későbbiekben). 400 V és 850 V közötti

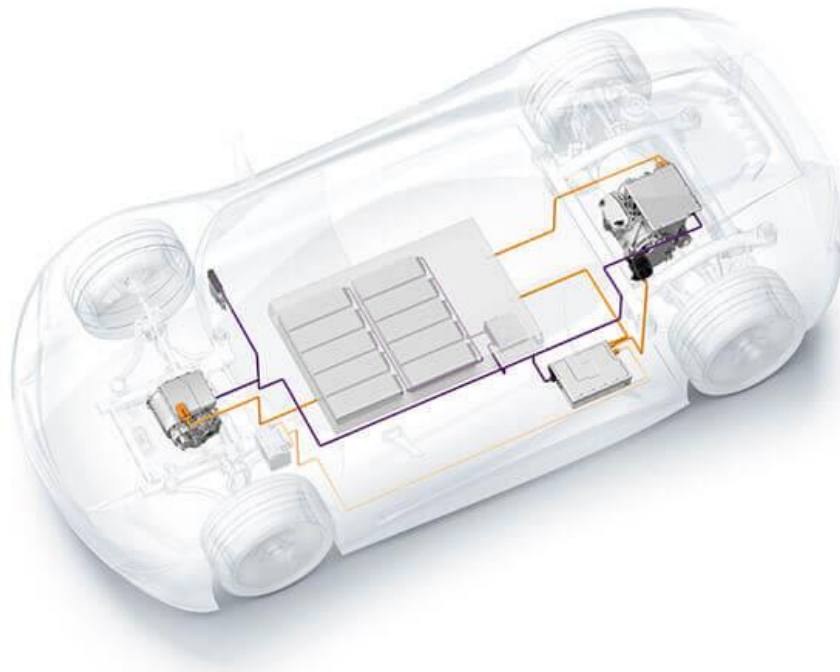


1. ábra: Motor CAD modellje

feszültségtartománnyal kaphatóak a motorok a rendszerbe (2). A BOSCH által legtöbb e-mobility termékében használt szilícium karbid félvezető technológiák miatt a teljesítményűréség viszonylag magas, a rendszer összehatásfoka új állapotban 96% (tehát a töltéstől a motor kihajtó tengelyéig mindössze 4% a veszteség). A piacon kapható motorok között nyomatékuk általában nagyobb, mint az azonos teljesítményű egyéb elektromotoroké. Az eAxle rendszer több, mint 1000 -5500 Nm értéket is képes elérni (2) (2. ábra). További előnye a felhasználó oldaláról a megoldásnak, hogy a rendszer elemeit fizikailag is egy telephelyen, egy cég gyártja, folyamatos a kommunikáció és egyszerre történik a szállítás. A

beszállító emellett saját maga végzi az elemek összekapcsolását és ezért vállalja is a felelősséget. Ráadásul a befoglaló méretekkel és alakokkal is van megrendelői mozgástér: attól függően, mekkora és milyen alakú hely van a koncepcióban az eAxle-nek, a BOSCH bizonyos határokon belül át tudja rendezni az elemek struktúráját, ezzel korlátozottan lekövetve a járműben kapott helyet.

A hajóban elhelyezett motor a BOSCH kínálatából bármelyik lehet, a termékek vizsgálatánál azonban a választás a legkisebb 50kW-os modellre esett. Ennek oka, hogy a piackutatás szerint a hasonló rendeltetésű hajók motorjai ehhez a termékverzióhoz állnak legközelebb (50kW és 250kW tartományban gyártják őket) (3., 4., 5., 6.). Emellett hajótervezői szempontból a magas fordulatszám is fontos kérdés, hiszen már itt figyelembe kell venni, hogy egy nagyobb teljesítményű motorral nagyobb maximális fordulatszám is jár. Az egyenes kihajtással tervezett hajtásláncba valószínűleg redukciós hajtóművet kell elhelyezni, hiszen az ekkora hajókhoz motorok fordulatszáma általában 1500-3600 RPM körül alakul, a BOSCH kínálatában szereplő legkisebb motor fordulatszáma is 16000 RPM, ehhez tehát nagy hajtómű is társul majd, mely nagy méretű és nagy tömeget képvisel a hajó belsejében.



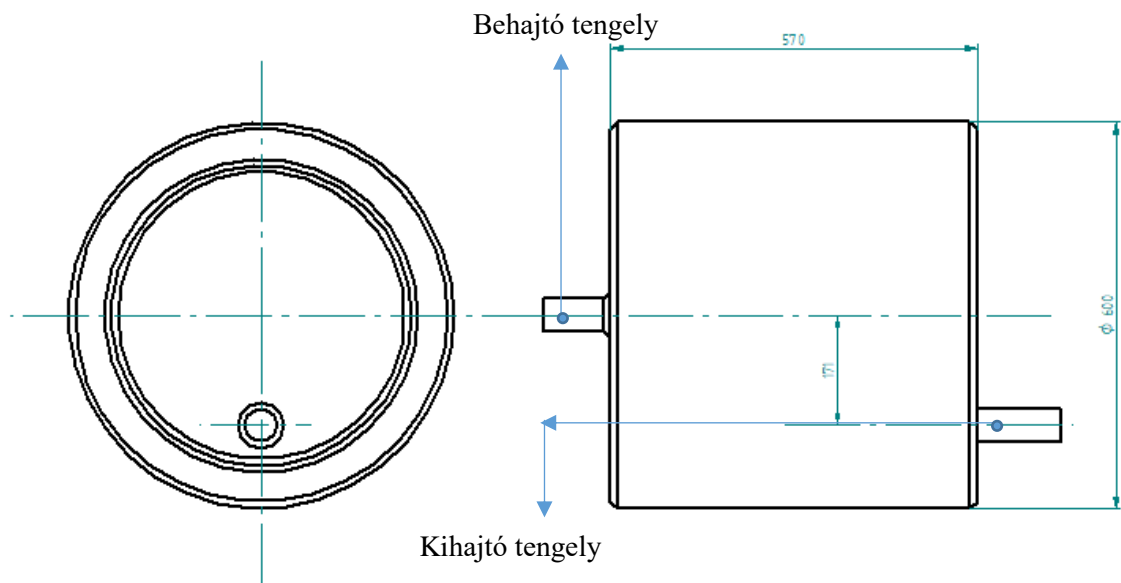
2. ábra: E-drive hajtásrendszer modellje (forrás: BOSCH csoport)

2.2 Teljesítményelektronika, inverter

A teljesítményelektronika a motor és az akkumulátorok közötti kapcsolatot képviseli, ez felel a motor vezérléséért (10). A BOSCH a hajó koncepcionálásával egyidejűleg fejleszti a GEN4

új inverterét, melyet terveik szerint közúti használattal párhuzamosan teljesítményelektronikai eszközeik közül elsőként vízen is tesztelnek. A kapcsolódó motorhoz igazítva szintén 400V-800V tartományon kiemelkedően jó hatásfokon üzemelnek. Ez a már említett szilícium-karbid technológia miatt lehetséges, itt a kapcsolat gyorsabb, így felére is csökkenthető a kapcsolási veszteség.

2.3 Hajtómű



3. ábra: Hajtómű külső rajza

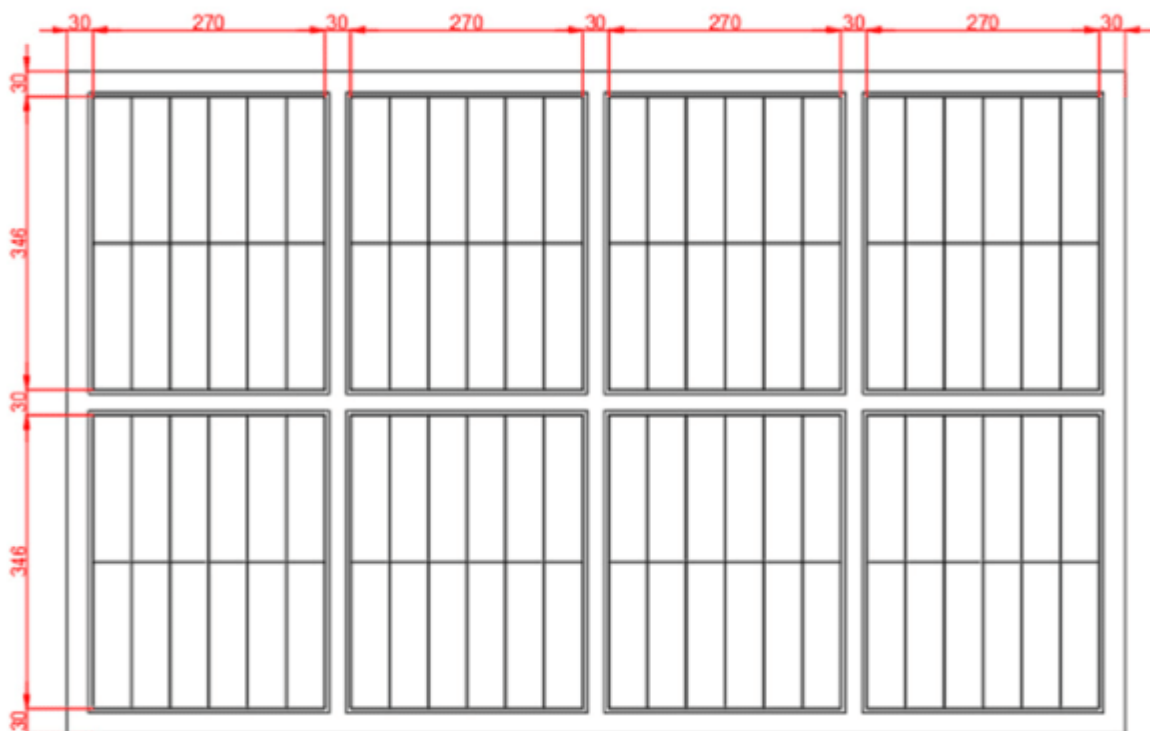
A különféle autómodellekbe eltérő áttétekkel tervez a BOSCH hajtóműveket. Az autóknál elvárt fordulatszám általában jelentősen nagyobb, mint a hajóknál vett csavarfordulatszám, így a meglévő hajtóművek közül egy áttétet sem tudunk hasznosítani. Várhatóan hajómodelltől függően 1:5 és 1:12 közötti arányú fordulatszámredukcióra lesz szükség a kihajtó tengelyről ahhoz, hogy a hajócsavaros hajtás megfelelő legyen, az áttéttel kapcsolatban akkor lehet döntést hozni, amikor a hajótestformához megválasztottuk a megfelelő hajócsavart és az ahhoz tartozó optimális fordulatszámot. A BOSCH vállalja a célnak megfelelő, egyedi áttéttel rendelkező hajtómű tervezését (3.ábra) és kivitelezését, hiszen moduláris rendszer lévén egyszerűbb egy speciális feladatra a motor helyett a hajtóműveket igazítani a követelményekhez, így van arra lehetőség, hogy tetszés szerinti áttétű hajtóművet illesszünk a motor mögé.

A hajtómű feltehetőleg a nagy bemenő és az ehhez viszonyítva kis kimenő fordulatszám miatt tehát egyedileg erre a hajózási projektre lesz megtervezve, ezt kihasználva lehetőségünk van a jelenlegi centrikus kihajtást áttervezni, és létrehozni egy olyan hajtóművet, melynek kihajtó tengelye nem a hajtómű dobjának közepén, hanem annál lejjebb, az átmérő alsó harmadán van.

Ez a későbbi vonalterveken látható módon a kihajtó tengely szögét tompítja, mely végeredményben növeli a tengelyrendszer hatásfokát.

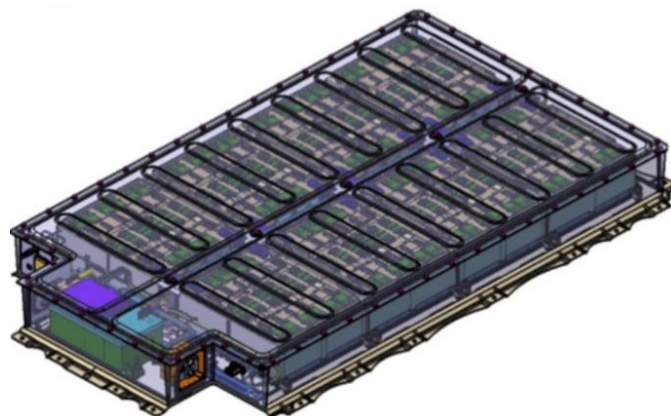
2.4 Akkumulátorok

Közúti járművekbe a BOSCH hajtásláncaihoz 120 Ah blokkokban kaphatóak akkumulátorok.



4. ábra: Akkumulátorok felülnézeti műhelyrajza, méretei. Forrás: (14)

Egy lítium akkumulátorblokk (120 Ah) 8 akkumulátort tartalmaz (4. ábra), ezeket speciális akkumulátorház fogja össze (5,6 ábra). Egy ilyen akkumulátor mérete 368x 270x 254 mm, a teljes befoglaló méret 1300x 782x 270. A teljes blokkra vonatkozó feszültség 400V (7). Az



5. ábra: összeszerelt akkumulátorblokk védőházzal (15)

akkumulátorok egyesével vett tömege 90 kg, így a teljes rendszer összesen (ház nélkül) 720 kg. A feszültségből és a kapacitásból 48 kWh összteljesítmény adódik. Az egyes kisebb akkumulátorok méretének korlátai mellett lehetőségünk van arra, hogy a házat elhagyva a blokk formáját megváltoztassuk (pl. hosszabb és keskenyebb lehet, ha nem a 2x4-es, hanem az 1x8-as elrendezést választjuk).

Megjegyzendő, hogy kishajóknál ez a 400V feszültség a magasabb kategóriába esik, így nyilvántartásba vételnél, engedélyezésnél külön elbírálás alá esik.

A fix téglatest alakzat megnehezíti, hogy azt egy íves formába integráljuk. Erre egy lehetséges megoldás a BOSCH e-bike akkumulátor stick csomagja, ami lényegesen kisebb elemekből áll, és foglaltól függően viszonylag könnyű vele komplexebb, ívelt térfogatot is feltölteni. Legfeljebb 19,2 Ah kapacitást eredményeznek blokkonként, optimális helyihasználsuk mellett hátrányuk, hogy a hajón lévő hálózati feszültségtől eltérő értéken (36V) üzemelnek.



6. ábra: A BOSCH csoport akkumulátora közúti példán és az e-bike akkumulátorai (nagyításban) (16)

A BOSCH saját terméke továbbá egy borító ház (lsd. 5. ábra), melynek feladata, hogy az akkumulátorokat (120 Ah) nyolcasával összefogja, az összekötést védje, az optimális hűtést elősegítse, illetve megkönnyítse a beszerelést. Hátránya jelen feladat szempontjából, hogy egy fix, szögletes, széles és lapos blokkot hoz létre, mely egy olyan íves profilú befoglaló testbe, amilyen a hajó, várhatóan nehezen illeszthető jó helykihasználtság mellett. Mindemellett a fent említett előnyöket mindenképpen érdemes megőrizni a meglévő rendszerből, így ezt az akkuzási fogom a próbamodellekben elhelyezni, ahol csak lehetséges.

3 Hajótest, hajtásláncok elhelyezhetősége különféle hajótesteknél

A fejezetben arra keressük a választ, hogy a kapott termékcsaláddal milyen hajózási funkciókat, feladatokat lehet ellátni, s ehhez milyen hajótestben kell azoknak elhelyezkedni.

A műszaki paraméterek legkritikusabb pontja a fordulatszám. A BOSCH termékei közül az összes elektromos motor, mely elegendően erős a meghajtáshoz, személygépjárművekre tervezett. Ezeknél a járműveknél a motorok jellemzően nagyobb teljesítményűek és jóval nagyobb fordulatszámon üzemelnek, mint a hajókon telepített rendszerek. Ezt figyelembe kell vennünk, amikor hajózási funkciót választunk, hiszen például egy széles, nagy billentőnyomatéknak is egyeneshez közeli úszással ellenálló, lassú járású hajót jól lehetne rendezvényeken, kiscsoportos eseményeken használni, de igen nagy hajtóművet kell elhelyeznünk a hajóban ahhoz, hogy az ehhez illő fordulatszám a csavaron jelentkezzen. Amennyiben gyorsabb járású motoros hajót tervezünk, úgy inkább a sebesség, a hajózás élménye kerül előtérbe, ez alapvetően egy másik felhasználói célcsoportot jelöl meg.

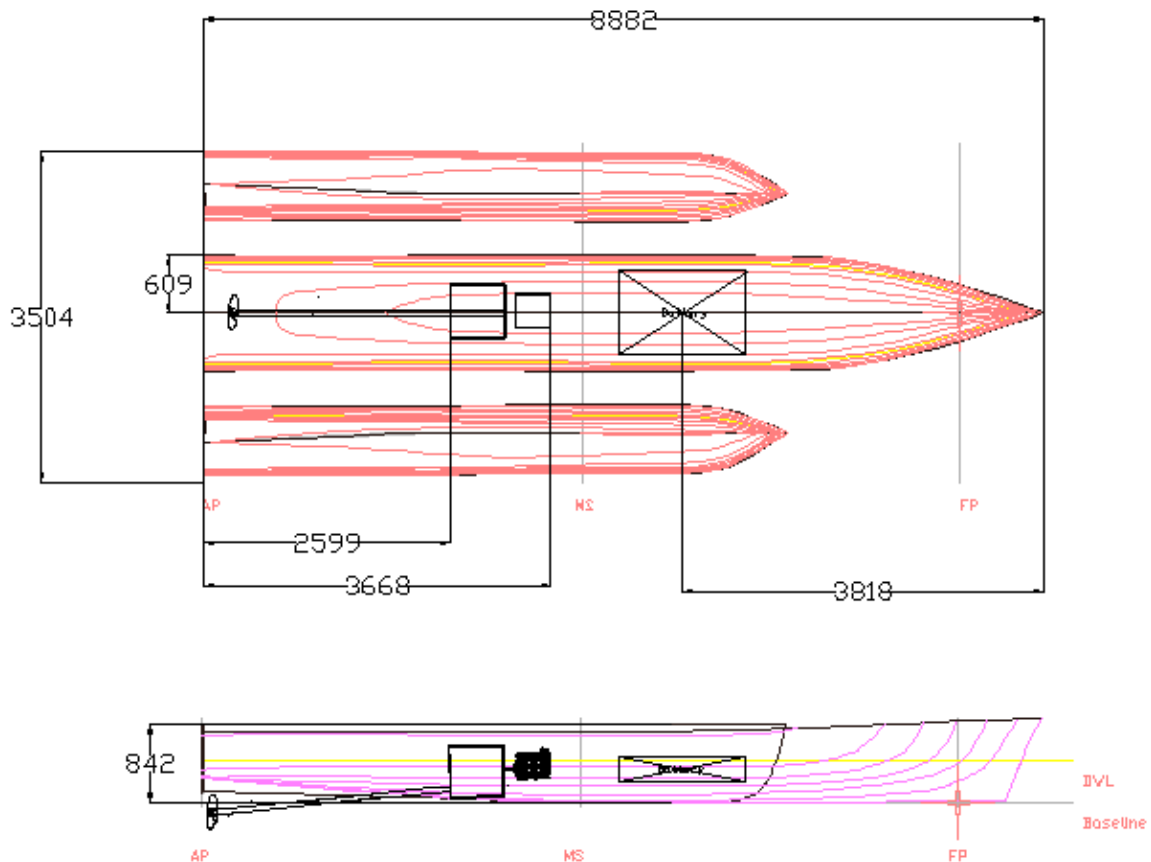
A cél megválasztásához több hajótest forma készült vonalterv és CAD modell szintjén, melybe arányosan beillesztettük a hajtásláncok elemeket. Cél ezzel az, hogy az egyes testek vonatkozásában a megrendelő megismerje az egyes testek alkalmazhatóságát és célszerű használatát, ennek mentén pedig döntést tudjon hozni, hogy a terméket milyen feladatra készítsük fel. Ezt a folyamatot segíti a jellegzetes hajóformák vizsgálata. Az egyes koncepciókhoz Maxsurf Modeller program segítségével kontrollponthálózattal modellt készítettem, ellenállását szoftveresen (virtuális víztérbe merítéssel) mértem, majd a piacon kapható hasonló méretarányokkal és alakokkal rendelkező hajók alapján merülést rendeltem. Ezután koncepcionális szinten (alátámasztás, rezgéscsillapítás, kábelek, stb. nélkül) elhelyeztem a lehetőségekhez mérten optimális helyre a testben a hajtásláncok elemeket. A modellek vizsgálata után már következhetünk egy célszerű formára. (Megjegyzendő, hogy bár a megrendelés nem tartalmazott általános elrendezési rajzot, a valószínűsített tömegtégeket, mint a kötelező felszerelés, a műszerek, a bútorok, utasok a tömegbe belekalkuláltam, tehát az eredmények nem üres testre, hanem indulásra kész járműre vonatkoznak).

Általánosan elmondható, hogy sarkalatos paraméter a magas fordulatszám redukálásához szükséges igen nagy méretű hajtómű (600x570), melyet el kell helyezni a hajótestben. Szűkíti a lehetőségeket, hogy a meghajtási módok közül a külmotoros kialakítás a motor tömege és

mechanikai jellemzői miatt, a „V” hajtás pedig a hajtómű paraméterei miatt nem megvalósítható. Ezekkel az alkatrészekkel kizárólag az egyenes kihajtás maradt lehetőségnek, ennél a megoldásnál tudjuk felhasználni a lehető legtöbb BOSCH által forgalmazott terméket. Ebből következik, hogy nem célszerű nagy sebességű, sikló üzemállapothoz illeszkedő hajótestformákat választani, illetve a hasonló kialakítású, félsikló üzemállapotra tervezett formáktól is el kell tekintenünk. Nem célszerű továbbá azoknak a formáknak az alkalmazása sem, melyeknek nagy ívű fenékfelhajlása van, hiszen ez a testforma a hajtóműnek helyet adó hátsó harmadban csökkenti a rendelkezésre álló térfogatot. Nem megfelelő a karcsú, nagy hossz-szélesség arányú megoldás sem, mivel az akkumulátorokat ezekben nehéz elhelyezni, azok mennyisége a hatótáv rovására csökkenhet, vagy azonos kapacitással meg kell válnunk a széles burkoló, előnyös akkumulátorháztól, és hosszúkás rendben kell elhelyezni a töltéstárolókat a hajóban. A hajótestkonceptiók kritikai vizsgálata előtt számba kell venni, melyik hajtáslánc elem mekkora, ugyanis ezeket kell tudni elsősorban befogadni a hajótest belsejének. Ehhez modellt készítettem a hajtáslánc elemekről, a (7.ábra), (8.ábra), (9.ábra), (10.ábra), (11.ábra) ábrákon szereplő képek szerinti méretekkkel. A méreteket részben a BOSCH szertárában felvett mérések alapján, részben a megfelelő gyártó osztály által kapott becslés (pl. hajtómű egyedi esete) mentén vettem fel.

A modellek Maxsurf-ből való exportálása után az illesztés és a méretek felvétele AutoCad környezetben történt.

3.1 Trimarán szerkezet



7. ábra: Trimarán test vonalterve

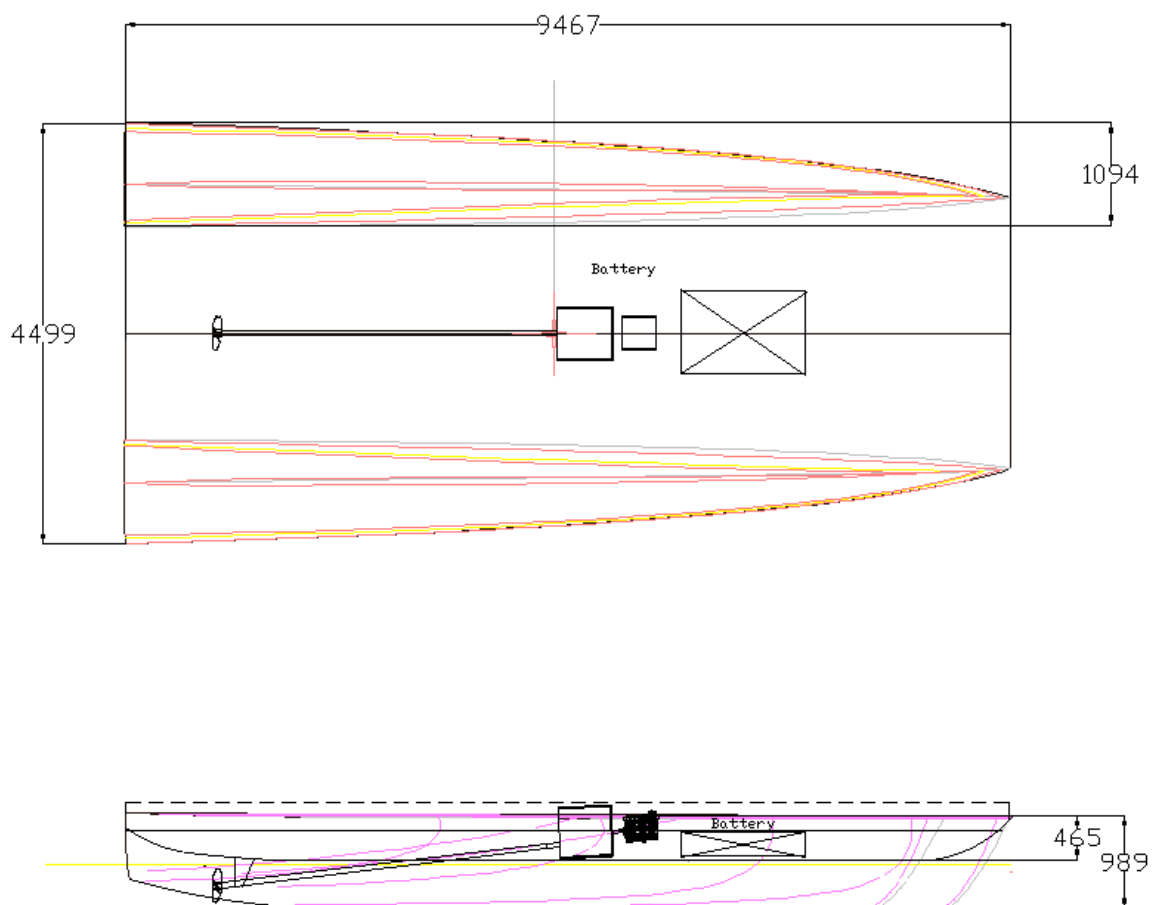
(7.ábra) A megrendelői kritériumok, mint a rendezvényeken való kényelmes részvétel, és a 24-26m² alapterületű mozgástér indokolják, hogy egy olyan testszerkezetből induljunk ki, melynek formastabilitása igen jó, ezzel párhuzamosan a lehető legnagyobb deckfelületet biztosítja. Ezeknek a követelményeknek megfelel egy trimarán (háromtestű) hajó. Ennek egyensúlyi helyzetben középső teste úszik a vízen, megdőlt állapotban pedig a dőlés mértékétől függően a megdőlt oldal irányába mindinkább nagyobb térfogat merül be az oldalsó testből, ami a megnövekedett vízkiszorítás mellett plusz felhajtóerőt indukál, ami visszafelé billenti a hajót az egyensúlyi állapot irányába (8). Ennek a testnek az ellenállása értelemszerűen meghaladja egy azonos hosszúságú egytestű hajóét, így annak a kritériumnak is megfelelünk, hogy a nagy teljesítményű motor energiája nagy tömeget mozgasson.

A hátránya ennek a testnek, hogy szélessége korlátozott (főként a vontathatóság és a kikötőhelyek miatt nem előnyös), ráadásul ezen a szélességen egy helyett három keskenyebb hajótestnek kell elférnie. Ezáltal a középső test szélessége értelemszerűen redukálódik. Azonos

víz kiszorítására tervezve és a többi hajóval összevetve az ellenállása azonos sebességnél némileg nagyobb, manőverképessége egyértelműen gyengébb. Hatótáv bővítés szempontjából korlátozottabbak itt a lehetőségek, mint egy egytestű modellnél, hiszen a keskenyebb középső test miatt eredeti akkuháznál nem fér el még egy blokk, csak megbontva (például 1x8 elrendezésben). Nem teljes megoldás az oldalsó testek „feltöltése” sem kisebb akkumulátorokkal, hiszen ezek összekötése a középső testtel komplikált, hosszú vezetékkötegeket eredményez, ami nem előnyös, ráadásul az ívelt metszeti forma miatt ezeket a testeket is rosszul tudnánk kihasználni a szögletes akkumulátorokkal.

Ez a hajó tehát nagy deckfelülettel rendelkezik, hatótávja a később felsorolt modellekénél némileg kisebb, hiszen ellenállása nagyobb, de keskeny teste miatt ez a hatótáv bővíthető (hozzávetőleg a kétszeresére). Lassabb menetben tartott rendezvények, kirándulások, túrákhoz alkalmas. Méretei miatt kikötőhelyének majdani költségei meghaladják az egytestű hajókét, emiatt összességében magasabb árkategóriába sorolható.

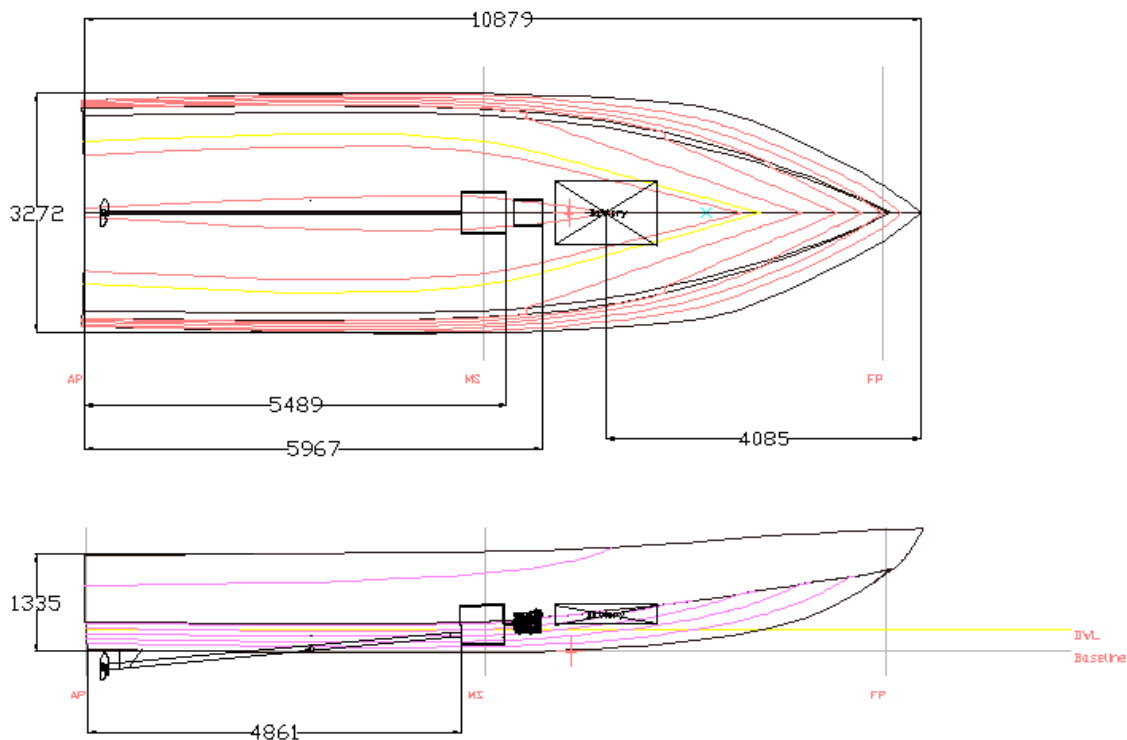
3.2 Katamarán szerkezet



8. ábra: Katamarán test vonalterve

(8.ábra) A trimaránnál felmerült probléma főként az volt, hogy kevés a hajó középvonalánál a hely. Egy katamarán testnél az akkumulátor a deck közelében (vagy egyenesen a fedélzeten) van elhelyezve, itt szabadon sorolhatóak. Fedélzeti beépítés kérdése, hogy a cellákat a felszínen hogy építjük körbe úgy, hogy ne akadályozzák az utasokat (pl. dupla padló), de megfelelő kialakítással ez nem zavaró. Hátrány, hogy minél több akkumulátor kerül a deckre, annál magasabbra kerül a súlypont, ez pedig csökkenti a stabilitást. Ebben az esetben a deck alatti középső térfogathoz nem tartozik vízkiszorítás-érték, nem érhet vízbe. További nehézség, hogy az egytengelyű, egyenes kihajtás, mely az egyetlen lehetőség a kapott hajtáselemekkel egymotoros hajtást ír elő (két motorral a két oldalt elhelyezett testben a 100kW-ra méretezett rendszer szükségtelenül nehéz lenne egy ekkora hajóba), így a motor és a hajtómű középre kell kerüljön. A hosszú tengely veszteségeket okoz a hajtásrendszerben, egyértelműen nem előnyös.

Ez a konstrukció magában hordozza a trimaránnál kijelölt feladatokat: kisebb rendezvények, kirándulások tartása, könnyű, utasbarát bútorozhatóság, tágas utastér. Igaz továbbá a kikötőhelyre és annak árára tett megállapítás is.



9. ábra: Motoros hajótest vonalterve

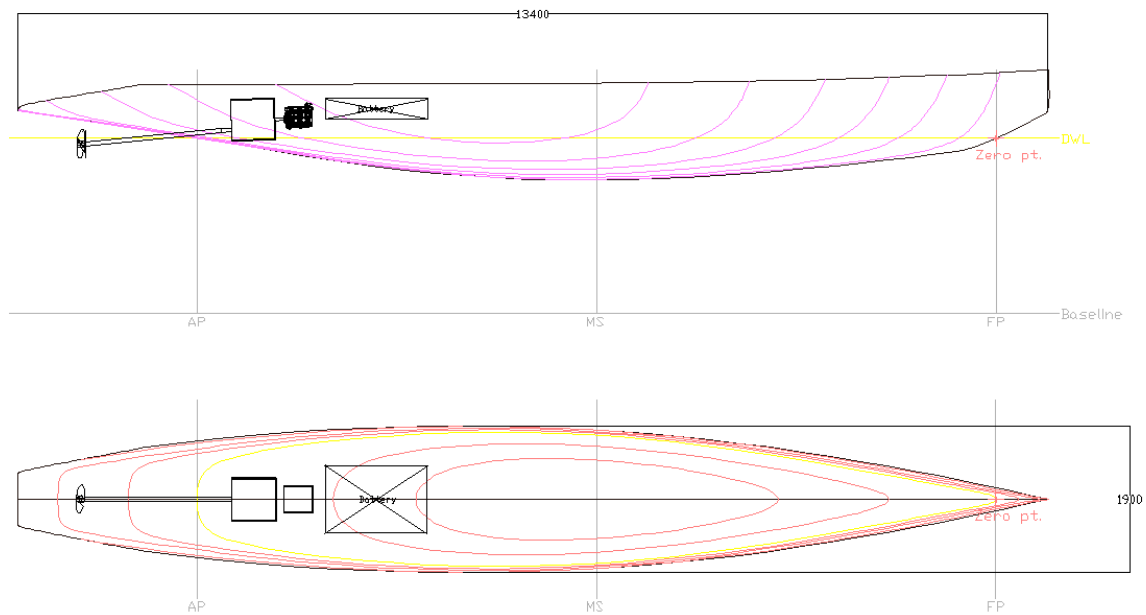
3.3 Motoros kialakítás rövid testtel, egyenes fartükörrel

(9.ábra) A motor teljesítménye indokolna egy olyan hajót, amely kifejezetten nagy sebességre, sikló motoros üzemállapotra tervezett testtel rendelkezik. Ez a test verzió igen jól kihasználja a motor adottságait, és némileg kisebb hajtómű is elegendő lenne a hajtásláncba, ami nem csak tömeg tekintetében pozitív eset, hanem a felszabadult térfogat miatt is, ahová akkumulátor egységeket is elhelyezhetünk.

Ezeknek a hajóknak a sikló üzemállapot könnyebb eléréséhez jellemzően fartükörük egyenes vagy enyhén dőlt, bordametszetük szögletes, sarkos, fenékrészük lapos. Mivel követelmény volt az egyenes kihajtás, az ilyen hajóknál szokásos külmotoros verzió nem jöhetett szóba, az egyenes kihajtás alapvetően fix követelmény a hajtáslánc meglévő elemeinek kialakítása miatt. Itt jelentkezik az első és legnagyobb hátrány, hogy pont egy olyan esetben, amikor a sikláshoz a farnál, hátul lenne szükség a súlypontra, azzal, hogy középre kényszerülnek a lapos fenék miatt a nagy tömegű elemek, a hajó végeredményben nehezebben kerül át sikló üzemállapotba. A hajtómű és a motor biztonságga elfér a testben, azonban a lapos fenék és az egyenes kihajtás kombinációja miatt a kihajtó tengelynek viszonylag nagy szögben kell dőlnie. Ezt a szöget csak megfelelő tengelykapcsolóval lehet korrigálni, a tengelykapcsoló terhelését csökkenthetjük enyhén ferdén elhelyezett motorral és hajtóművel, de végeredményben mindkét esetben romlik a tengelyrendszer hatásfoka. Emellett a tengely is viszonylag hosszú lenne. A hosszú tengely sok veszteséggel jár és káros rezgéseivel nagyban rontja a propulzió hatásfokát. Mindezen hátrányok ellenére ez a konstrukció képes (azonos deckfelület mellett) az eddig felsoroltak közül a legnagyobb várható végsebességre.

Ez a hajó inkább sportolási célra való, fedélzetén kevesebb kényelmi felszerelés, bútor stb. fér el, helyette viszont nagyobb sebességre képes, mint a többtestű verziók. Kirándulásokra, rövidebb túrákra, élményhajózásra alkalmas rendszer.

3.4 Karcsú forma



10. ábra: Karcsú hajótestforma vonalterve

(10.ábra) A hajtáslánc hatásfokának tekintetében kedvezőbb forma egy enyhén felfelé ívelt farrész, ez az egyenes kihajtáshoz is alkalmasabb, mivel a sikló motoros egyenes aljához képest egy ilyen ívelt hosszmetsetnél nem kell megtörni a tengelyt (vagy csak egy jóval kisebb szögben), ami a propulzió összhatásfoka szempontjából kedvezőbbé teszi az előző siklómotoros modellnél.

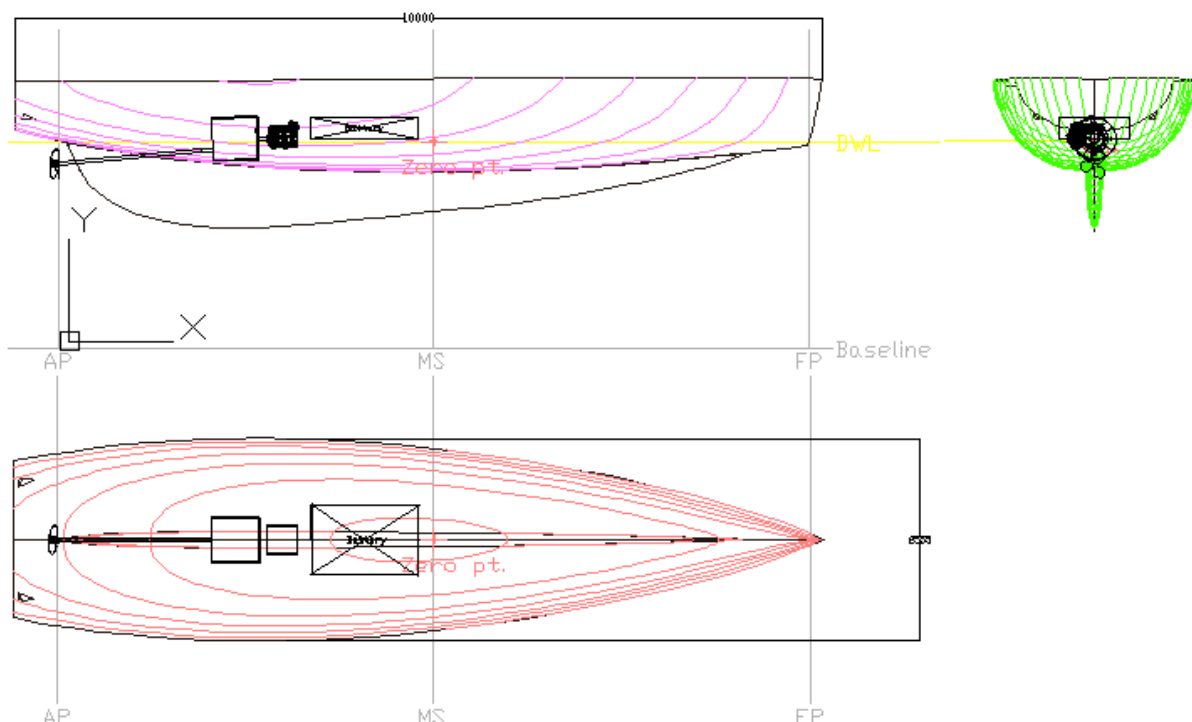
Ennek a testnek a bordametszete keskenyebb, mint a sikló motorosé és íves alakú. Emiatt formastabilitása kisebb, ellenben ellenállása alacsonyabb sebességeknél kisebb (vízkiszorításos állapotban, amikor a sikló motoros még nem emelkedik ki). A hatótáv bővítésére itt is rendelkezésre áll a szabad térfogat, amennyiben a megrendelő többet szeretne egy töltéssel utazni.

Ennél a hajónál a lehetséges használat a sikló motoroshoz hasonlóan „sportosabb” menet, nagyobb sebességgel, kevesebb kényelmi berendezéssel, ülőhellyel.

3.5 Vízkiszorításos motoros hajó jellegzetes formája

(11.ábra) Az előző hajótestek tanulságai alapján készítettem egy, inkább a vízkiszorításos üzemállapothoz szintén illeszkedő hajótestformát, mely az előzőnél szélesebb, laposabb hátsó ívű formával rendelkezik. Ennek deckfelülete bár ugyanakkora, de hossz-szélesség aránya

kisebb, mint a hosszú, karcsú modellé. Ez azt jelenti, hogy az utasoknak az előbbi esetben egy hosszú, keskeny fedélzeten, míg a vízkiszorításos motorosnál egy rövidebb, szélesebb felületen kell elhelyezkedni. Ezutóbbi egyértelműen kényelmesebb. Emellett formastabilitása nagyobb, mivel bordametszete, bár szintén íves, szélesebb, mint elődjéé. Ebben a testben szintén elférnek a szükséges elemek, de emellett sokkal több akkumulátor is helyet kaphat. Hátránya, hogy egyenes kihajtás esetében a tengelykapcsolónak a nagy hajtómű miatt nagy állásszöget kell kompenzálnia, illetve a motort és a hajtóművet a sikló motoroshoz hasonlóan meg kell dönteni. Az állásszög kompenzálására létezik megfelelő homokinetikus tengelykapcsoló, de nem a BOSCH kínálatában. Mivel azonban az összes eddigi megoldás is rászorult külső vállalatok tengelykapcsolóira, így ez nem hátrány a test esetében. Ugyanakkor a tengelyrendszer határfokát a törési szög jelentősen rontja, még egy ilyen állásszöget katalógus adatok szerint elviselő tengelykapcsolónál is. Hátránya továbbá, hogy azonos hosszra nézve az egytestűek között ennek a típusnak a legnagyobb az ellenállása. Mivel azonban a motor az azonos méretű, piacon kapható hajók között az erősebb kategóriába esik (még a BOSCH jelenleg kapható, legkisebb, 50kW-os modellje is), ezért még emellett is versenyképes a verzió. Fontos szempont a hatótáv kérdése is, ez a táv erősen összefügg a hajtás energiaigényét kiszolgáló akkumulátorok mennyiségével. Értelemszerűen hatótáv szempontjából legjobb, ha minél többet el tudunk belőle helyezni a hajóban.

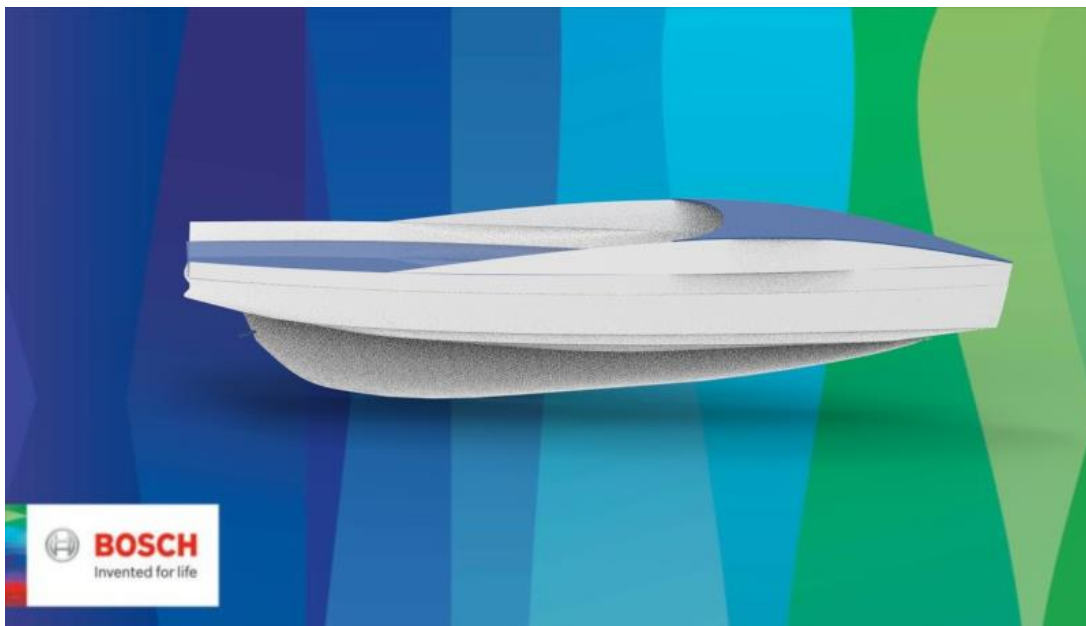


11. ábra: Vízkiszorításos modell vonalterve

Ez a testmodell egyfajta egyesítése az eddigi külhajakhoz társítható feladatköröknek: stabilabb, mint a hosszúkás forma, de könnyebben manőverezhető és olcsóbb kikötni vele, mint a többtesttű verziókkal. Ugyanígy a többtestűekhez képest nagyobb sebességre képes várhatóan, de sikló üzemállapotban nem jellemző, hogy használni fogják. Ez tehát szintén egy viszonylag stabil, szabadidős tevékenységekhez való hajó, melynek várható sebessége valahol félúton adódik az eddigi modellek sorában. Hatótávja szintén bővíthető, további előny, hogy ezt az eredeti akkumulátorházzal lehet megtenni.

A felsorolt szempontok és érvek alapján ezt a hajótest modellt választotta a BOSCH csapata.

A véglegesített megrendelői kérés széles, nagy billentőnyomatéknak is egyeneshez közeli úszással ellenálló, lassú járású hajó, melynek a hosszabb üzemidejéhez nagy akkumulátorkapacitás szükséges. Ennek fajlagos tömege nagy, így maga a teljes rendszer is nehéz, de ezt várhatóan a motor ereje ezt képes kompenzálni.



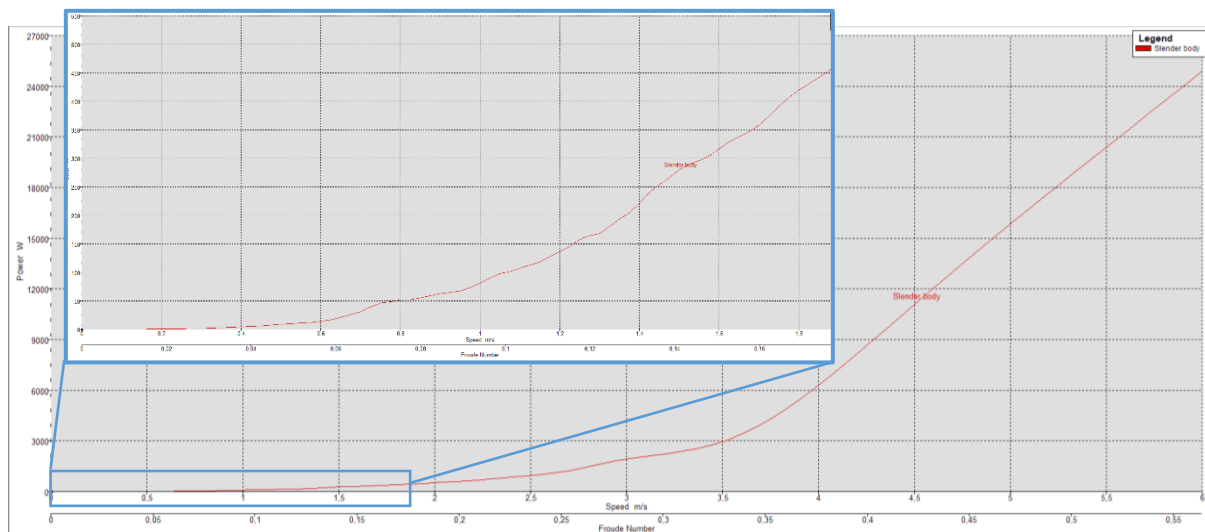
12. ábra: Elkészült hajómodell

4 Propulziós számítások

4.1 Ellenállásszámítás

A hajó ellenállása lényeges tényező, hiszen adott sebességnél ez az az érték, amely ellen a hajtáslánc dolgozik: ezt az ellenerőt kell leküzdenie induláskor és ennek ellenében kell többleteljesítményt szolgáltatnia haladáskor. A hajótest ellenállását a különféle sebességértékeknél a Slender Body (9) metódus alapján számoltam, Maxsurf Resistance

program segítségével. A hajózási gyakorlatban elterjedt ellenállásszámítási módszerek közül ez az, melynek használati feltételeinek megfelel a választott hajótest.



13. ábra: Ellenállásértékek alacsony sebességek esetén nagyítva)

A kísérleti módszerekben alapvetően közös, hogy laboratóriumi körülmények között olyan módszereket igyekeztek kidolgozni az intézetek mérnökei, melyek minél szélesebb geometriai határokon belül, minél pontosabban matematikai leírást biztosít a hajótestek ellenállására nézve. Ezen belül a modellkísérletekre általánosan igaz, hogy több, meghatározott paraméterben eltérő hajótesteket vizsgálva áramló közegben vannak le következtetéseket az ellenállásra nézve. Ebből már következik, hogy a különféle ellenállás számító matematikai modellek jó közelítéssel azokat a geometriákat írják le, melyekkel a kísérleteket elvégezték, emiatt szerepelnek mindegyik mellett kikötésként a vizsgált hajók geometriai-és esetenként sebesség-adatai.

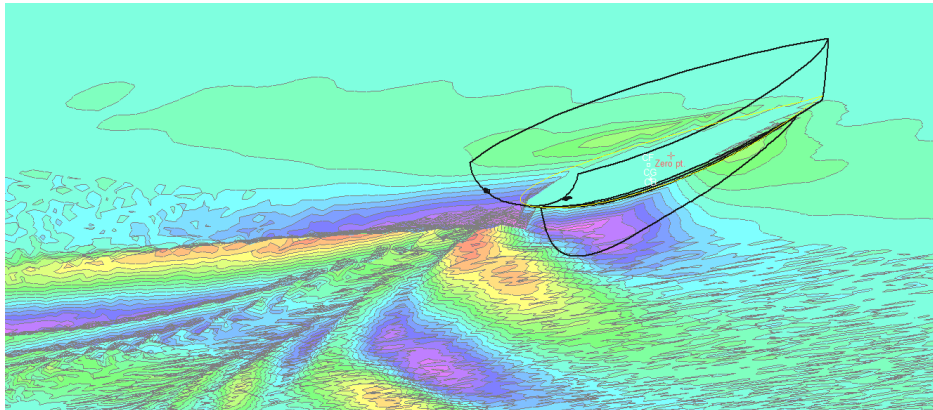
A Slender Body metódus csak 0,75-ös Froude számig használható, de a tervezett legnagyobb sebesség ez alatt van, 0,47-es értéknél van, így a geometriai határok mellett a sebességhatároknak is megfelel a vizsgálat a BOSCH hajó esetében.

A Slender Body módszer az adott felület által generált szabadfelszíni hullámmintában lévő energiát számítja ki, ebből pedig következtet a hajó hullámmellenállására. Minden egyéb ellenállástényezőt az ITTC '57-es metódusából számít: a karcsúsági tényezőt a geometriai méretekből kalkulálva állapítja meg az alakellenállást, továbbá az ITTC összefüggéseivel kiszámítja a súrlódási ellenállást is. A légellenállást elhanyagolja, de ez vízkiszorításos üzemben nem jelentős (a későbbi hatótáv kalkulációban a program emiatt magasabb biztonsági tényezővel számol). A további ellenállás-komponensek közül a hulláms miatti többletellenállást nem számolja (csak a modell keltette hullámokkal törődik, az alapul vett

környezete sima vízfelszín), egyenes úszást feltételezve dőlésből adódó ellenálláshányadot sem kalkulálja bele a végeredménybe.

Az ellenállásértékeket táblázatosan az 1.sz melléklet tartalmazza.

Az eredményül kapott ellenállásértékeket grafikusán a 13 ábrán találjuk. A vízszintes tengelyen a Froude-szám és a sebesség látható, a függőlegesen a vontatáshoz szükséges effektív teljesítmény szerepel, ehhez társul később a propulziós hatásfok.



14. ábra: Ellenállás szoftveres mérése, hullámkép (5m/s)

4.2 Hajócsavar kiválasztása

Ahhoz, hogy a későbbiekben a hatótávot tudjuk vizsgálni, vontatási jelleggörbét kell készíteni, ebből kiderül, a különféle sebességpontokban milyen teljesítmény igényt támaszt a hajó a hajtáslánccal szemben, s ezt az igényt meddig fedi le a motor. Ugyanakkor a vontatási jelleggörbe tulajdonképpen a hajócsavar és a hajótest együttműködését jellemzi. Ehhez a feladathoz tehát szükség volt a szállítási feladathoz megfelelő hajócsavar kiválasztására. Ez a Wageningen B típusú hajócsavarok jellemző görbéiből és az adott tengelyrendszer hatásfokából és adataiból számítható, eredményül pedig megkapjuk a hajócsavar geometriai adatait.

A K_t tolóerő-tényező és K_Q nyomatéki tényező értékeit és együtthatóit a Bernitas-Ray-Kinley táblázatok alapján vettem fel (11), ezt a 15. ábra tartalmazza.

A tolóerő-tényező:

$$K_T = \frac{T}{\rho * n^2 * D^4}$$

A nyomatéki-tényező:

$$K_Q = \frac{P * \eta_M * \eta_f}{\rho * n^3 * D^5 * 2\pi}$$

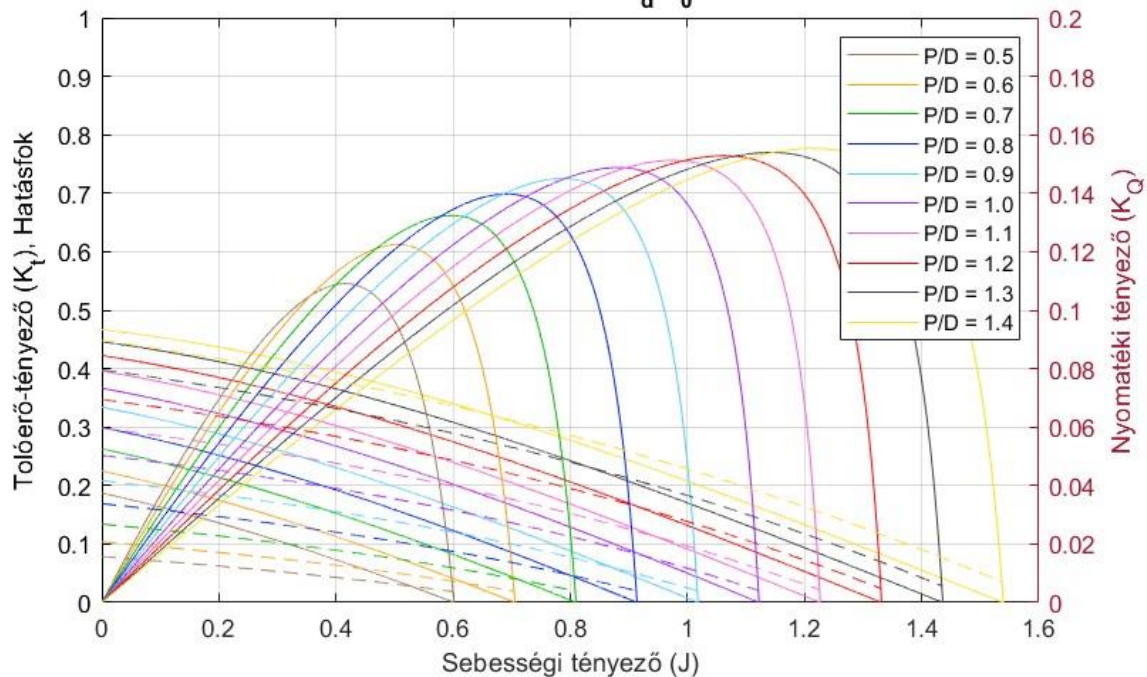
Ezekhez szükséges dimenziótlan viszonyszámok felvétele. A sebességi tényező paraméteresen:

$$J = \frac{v_A}{D * n}$$

A program kirajzolja különféle emelkedés-arányok esetében a sebességi tényező és a tolóerő-tényező, hatások összefüggését. Várakozások szerint egy olyan jellegű (alakú) görbesereget kell a számítással kapni, mint amilyen a (11), (12)-es forrásokban van. Ezt sikerült megvalósítani, a generált görbesereg alakra hasonló, értékei reálisak (az ábrán egy példa, $A_D/A_0=0,35$ -ös csavar görbeserege látható).

Ezután kézzel rajzolt és programmal való számolás esetén is meg kell keresnünk a

Tolóerő-tényező, nyomatéki tényező és hatások görbék a sebességi tényező függvényében
 $P/D = 0.50 - 1.40$ $A_d/A_0 = 0.350$

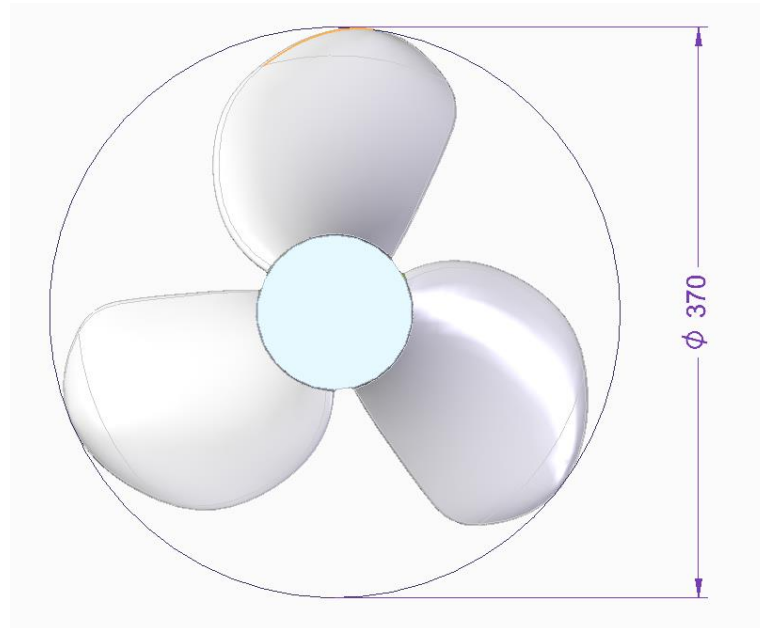


15. ábra: Hajócsavar görbéinek kirajzolt képe MATLAB programból

legnagyobb tolóerőt biztosító konstrukciót. Ehhez a felvett lehetséges sebességi tényező-értékeket vesszük sorra. Ahogy az ehhez tartozó összefüggésből is látszik, e tulajdonképpen a csavarátmérő, mint paraméter átfogalmazása, hiszen két fixált paraméter függvénye a számolásban. Végeredményben tehát az esettanulmányban a beállított 1cm-es lépésközzel átmérőről átmérőre haladunk egészen addig az átmérőig, amit a konstrukciót leíró geometriai egyenletek engednek. Ezekből egyesével függőlegest bocsátunk, és megnézzük, melyik görbét metszi legjobb hatásokon, és ehhez mely P/D emelkedési arány tartozik, ebből már leolvasható a K_t tolóerő tényező-is. Ezen adatok és a bemenő paraméterek ismeretében már számítható a

K_Q nyomatéki tényező is (ld. K_q összefüggése az alfejezet elején). Az eredmény file egy emelkedés-arányhoz (melyhez egy optimális átmérő tartozik adott motor mellett) hat alapadatot rendel: Optimális átmérő, sebességi tényező, optimális P/D arány, az ezekkel a feltételekkel várható hatásfok, a leolvasott tolóerő-tényező és a számított nyomatéki-tényező. A megértést segítő az eredményfile tartalmaz egy átmér-tolóerő-tényező összefüggés görbét, melyen látható a hatásfok, a tolóerő-tényező és a nyomatéki tényező. A rendszer jelöli a legmagasabb tolóerő-tényezőt, amely alapján átmérőt választott egy paraméterhez.

Ezalapján ehhez a hajóhoz, ezzel a motorral egy 0,37 m átmérőjű, 0,5 emelkedésarányú, 0,35 nyújtott felületarányú darab a legalkalmasabb.



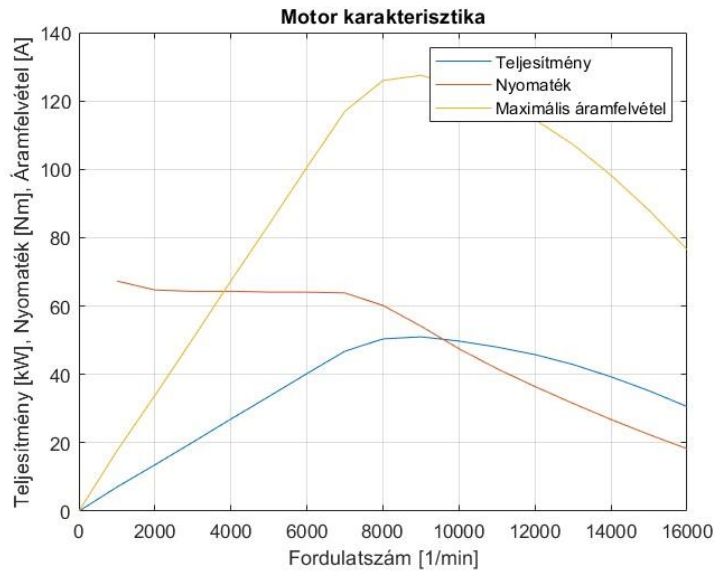
16. ábra: Hajócsavar modell (Solid Edge)

5 Hatótávbecslés, áramfelvétel a sebesség összefüggésében

5.1 Motorkarakterisztika

Ahogy a bevezetőben kifejtettem, a BOSCH preferált termékcsoportjából a legkisebb teljesítményű motort választottuk (Teljesítménye: 50kW). A hajtáslánc elemek méretezéséhez ez a műszaki adat és az ellenállásértékek adják a kiindulást.

A hatótáv az egyik legfontosabb kritikai szempontja a hajtáslánc és a tervezett hajótest rendszerének. Emiatt készült el egy olyan program, mely a konstrukció bemenő paramétereit alapján különféle eseteken keresztül számítja a hatótávot.

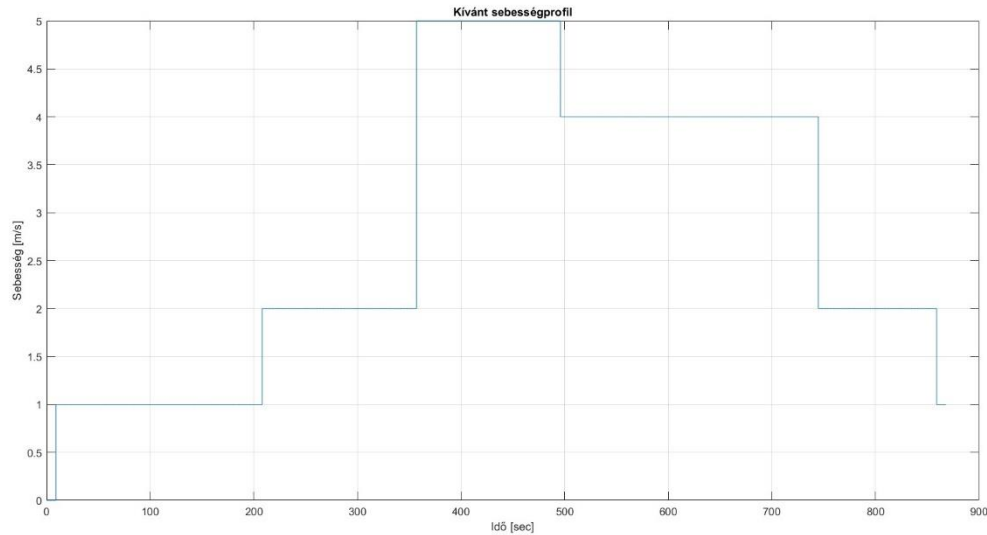


17. ábra: Motorkarakterisztika

Ennek röviden a menete, hogy az ellenállásértékekből a hajóra számítható minden sebességpontban egy tolóerő-igény érték, ezt kell minimálisan szolgáltatnia a hajtásláncnak. Ezután egy sebességi profilra van szükségünk, hogy erre nézve szemléletesebben állapíthassuk meg a hatótávot. Ezt szemlélteti az 5.2 számú alfejezet. További emelő paramétereink a hajótest mért ellenállás-sebesség párjai és a motorkarakterisztika görbe.

5.2 Üzemi profil

Adott tehát egy minta feladat, ami egy fiktív útvonal, amit a tervezett járműnek teljesítenie kell szakaszonként különféle sebességekkel fut be. A hajócsavar jellemző görbéjéből (Kq



18. ábra: Példa feladat (sebességprofil)

nyomatéki tényező) számítható ezzel párhuzamosan annak forgatásához szükséges nyomaték az egyes fordulatszámokban. Ezek az értékek rendre az áttét ismeretében egy adott motorfordulatszámhoz és nyomatékhoz tartoznak. A fenti számításokat összefűzve egy olyan adatsort kapunk, mely a hajónál a megadott tulajdonságú hajtáslánc elemekkel az egyes sebességpontokhoz tartozó teljesítményigényt mutatja meg, illetve számítható a sebesség és a fordulatszám görbéje is.

$$P_{igeny} = R_T * v$$

$$P_{igenyEff} = R_T * v * \eta_{prop}$$

Az elkészült MATLAB programban a felhasználó bármilyen sebességprofil megadhat, a fenti értékeket tehát az útvonaltervezésnél automatikusan tudjuk számítani. A program több biztonsági paramétert is tartalmaz, melyet a felhasználó célszerűen nem ír felül, ilyen például a légellenállás miatti tartalék teljesítmény, vagy az akkumulátorok 80%-os határmerítettsége.

5.3 Önjárási jelleggörbe

Készült egy u.n. önjárási jelleggörbe, mely a sebesség függvényében látható, hogy a hajócsavar által igényelt teljesítmény motor oldalról. Továbbá látható rajta, hogy a motorkarakterisztikából következő motorteljesítménypontok görbéjét hol metszi a hajó

teljesítménye, azaz hol van az a legnagyobb teljesítmény, melyet a hajó a motor teljesítőképességének határán belül igényel. Ez egy fix határ, amin túlmenően a program nem számolhat értéket, hiszen ez fals eredményhez vezet. Ezt a metszéspontot (mivel már ismerjük a hajósebesség és a fordulatszám összefüggését) átfogalmazhatjuk fordulatszám helyett sebesség összefüggésében is, ami azért tanulságos, mert útvonaltervezésnél a sebességgel felhasználóként könnyebb számolni, mint a fordulatszámmal. Azaz végeredményben megismerjük a hajó maximális sebességét (ez bizonyos szállítási feladatoknál külön fontos, mert felülírja a tervezett szakasz sebességét a lehetséges maximumra, ha a bevitt sebességérték meghaladja a rendszer képességeit).

5.4 Áramfelvétel számítása

Ezután kalkulálható a rendszerből kivett teljesítmény ismeretében a felvett áram (állandó feszültségű rendszer lévén) egy adott szakaszon, hiszen az azonos sebességgel megtett úthosszak áramfelvételét kell összegezni a mérés időpillanatáig.

$$I_{lem} = \frac{P_{igeny}}{U}$$

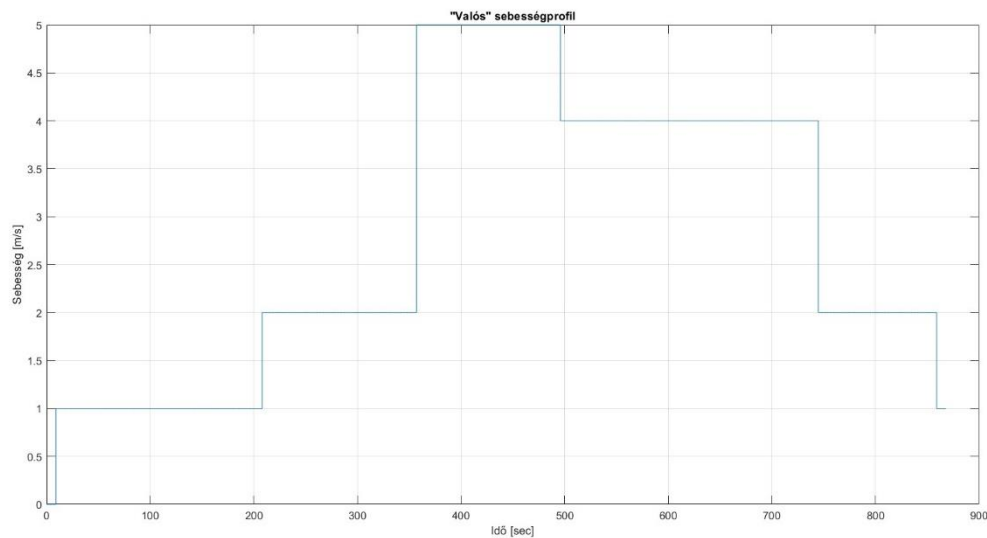
$$\frac{C}{I_{lem}} = t$$

Hasonló összegző módszerrel egy hajtási feladatra meghatározható a teljesítményfelvétel is. A tesztciklusok során a gyorsítási és lassításkor létrejövő meredek áramfelvételi szakaszokat elhanyagoltam, mivel ezek viszonylag rövid ideig tartanak. Idealizálva függőleges egyenesekkel közelítettem őket a grafikonon. A hatótávot az átlagos áramfelvételtől és az átlagsebességből számítjuk: a sebességprofilból számított átlagsebességet feltételezve a feladat teljes idejére ismert a tesztúton számítható a kivett teljesítmény és a felvett áram (a fent említett számítások miatt). A ciklus folyamán felvett árammal elosztva a rendelkezésre álló kapacitást már látható a hatótáv. Fix sebességprofil esetén a hatótávot ciklusszámmal adjuk meg, azaz, hogy az adott beépített akkukapacitás mellett a szállítási feladatot hány alkalommal lehet megtenni.

Ebből számítható a valós sebességprofil, mely jelen esetben ugyanaz az ív lenne, mint a fenti kép, hiszen a számított maximum sebesség (5,2 m/s) még éppen nagyobb, mint a profilban megadott. Bemenő adatként a sebességfeladat mellé megadtuk a hajócsavar emelkedésarányát ($P/D=0,6$), a szárnyszámot ($z=3$), átmérőt ($D=0,37\text{m}$) és nyújtott felület arányát ($Ad/A0=0.35$). Ezek az ideális hajócsavar megválasztásakor számított értékek, mely folyamatot később

részletesen is ismertetjük. Bemelő adat volt egy maximális sebesség, mely várhatóan a vontatási jelleggörbén látható teljesítményigény-szolgáltatott teljesítmény metszéspont felett van, és később nem kívánunk annál gyorsabban menni. Az ellenállásértékeket is idáig számítottuk ki, ez a határ jelen esetben 10 m/s. A hajtóműáttételt 1:10-es redukáló képességgel vettük számításba. Adott volt az édesvíz sűrűsége. A sodortényező (maximum 6°-os tengelyszög határig terjedő, egyenes kihajtású hajó lévén) 0.02-es értékre rögzített, a szívási tényező 0,05. A sodortényező egy, a hajó haladása mentén létrejövő hatást vesz figyelembe. A test melletti hullámkép a hajócsavarhoz érve körmozgásként rááramlik a forgó rendszerre, ezt a hatást pedig szintén figyelembe kell venni. A szívási tényezőnél szintén a valós körülményeket igyekeztünk jobban figyelembe venni, itt a hajótest melletti hullámkép és a farnál tapasztalható nyomáseloszlás miatti tolóerőigény növekményt számoljuk fel. A konvertálás utáni feszültség 400 V, a maximálisan beépíthető akkumulátorkapacitás 120 Ah, maximális kihasználtsága 80%. A tengelyrendszer vesztesége 20%-re becsült. A légellenállást ebben az esetben nem vettem figyelembe, de ez várhatóan a hajó üzemállapotából adódóan (vízkiszorításos) nem fog jelentős hibát okozni.

Eredményül kapott valós teljesítményprofil erre az útra:



19. ábra: Redukált sebességprofil a maximális teljesítmény figyelembevételével

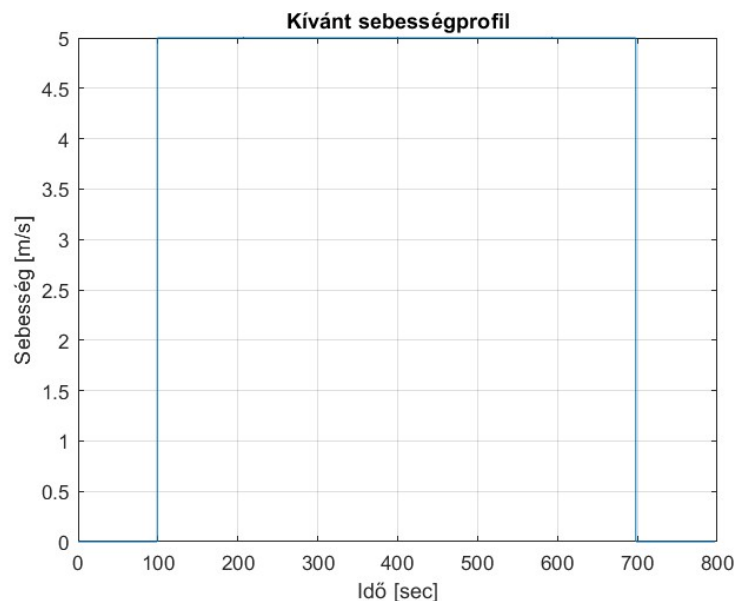
A tesztciklus átlagsebessége 2.78 m/s, a ciklus alapján számított üzemidő 4 óra. Ilyen profillal tehát ennyi ideig lehet haladni. Ez ciklusszámban kifejezve 16 ciklust jelent, tehát biztonsági tényezővel 8 oda-vissza utat. Hatótávnak 41 km adódott.

```
%% Adatok megadása
PD = 0.6; % emelkedési arány
AdA0 = 0.35; % nyújtott felület arány
Z = 3; % szárny szám
v_max = 10; % maximális sebesség [m/s]
i = 10; % áttétel
D = 0.35; % hajócsavar átmérő [m]
ro = 1000; % víz sűrűsége [kg / m^3]
w = 0.02; % sodortényező
t = 0.05; % szívási tényező
U_motor = 400; % motor névleges üzemi feszültsége [V]
C_akku = 120; % Akkumulátor kapacitás [Ah]
Akkumulator_kihasznalhatosaga = 0.8; %
mu = 0.8; % A rendszer hatásfoka
```

```
Maximális elérhető sebesség: 18.888 km/h = 5.2467 m/s
Tesztciklus során az átlagsebesség: 10.0389 km/h = 2.7886 m/s
Átlagos teljesítményszükséglet a ciklus során másodpercenként: 9.2496 kW
Átlagos áramfelvétel a ciklus során másodpercenként: 23.1241 A
A ciklus alapján számított üzemidő: 4.1515 óra
A ciklus alapján számított hatótáv: 41.6765 km
>>
```

20. ábra: Példa feladat adatmegadása és eredményei MATLAB környezetben

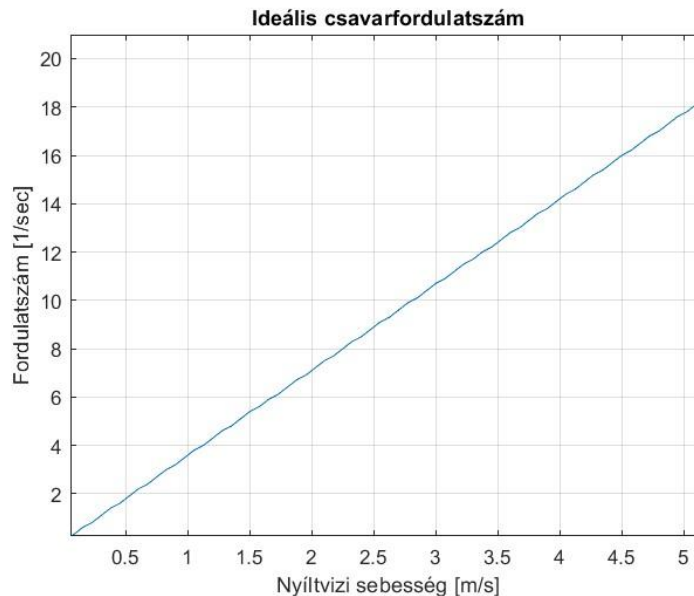
5.5 Maximális motorteljesítménnyel való haladás



21. ábra: Speciális sebességprofil maximális sebességgel való haladáskor

Azt az esetet vizsgálva, amikor a motor teljes kihasználtsággal működik, szintén vizsgálhatjuk a hatótávot. Nyilván ez nem annyira fest le reális képet egy valós útról, mint egy meghatározott sebességprofil, de mégis tanulságos, hogy teljes kihasználtság mellett mennyit tud haladni a hajó.

Az ideális fordulatszámot egy adott sebességhez úgy lehet meghatározni, hogy a rendelkezésre álló hajógeometria adataiból (emelkedés arány, nyújtott felület arány) a BBBZ kódex alapján meghatározott állandókkal K_t - K_q görbéket veszek fel (tolóerő-tényező, nyomaték tényező).



22. ábra: Fordulatszám-sebesség görbe

Ehhez felhasználjuk a választott hajósebességet. A görbéről ezek alapján a sebességhez rendelhető egy hajócsavar nyomaték. A kiindulásnak vett fordulatszámából az áttételt figyelembe véve megkapjuk a motorfordulatszámot, aminek segítségével a motorkarakterisztika görbéből, mely a gyártótól rendelkezésre áll, leolvasható a motornyomaték.

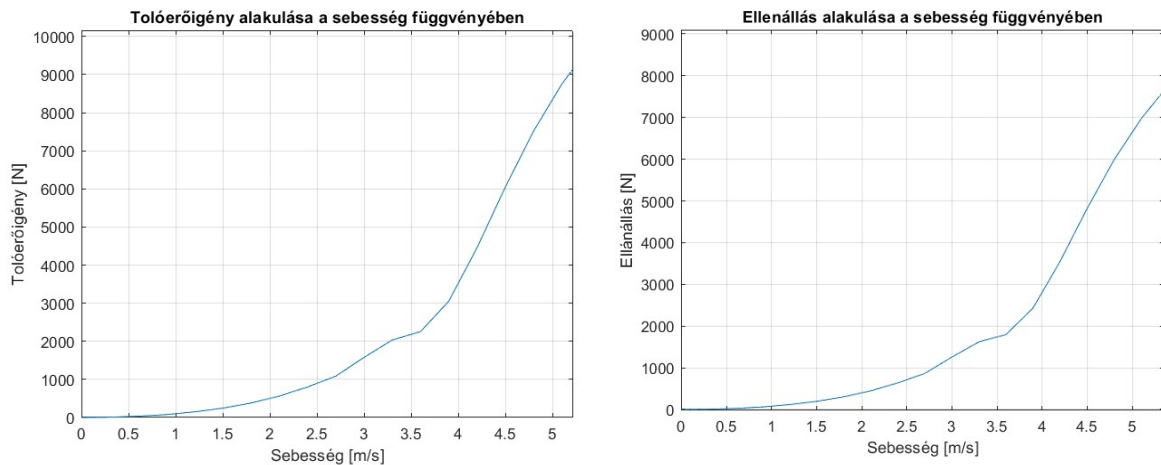
Ahol a hajócsavar pontosan akkora nyomatékot vesz fel, mint amennyit a motor az adott feltételek mellett szolgáltat, ott megtaláltuk az adott sebességhez tartozó ideális nyomatékot és ezzel együtt az ideális fordulatszámot. Ha ez nem teljesül, akkor az elkészített MATLAB program ciklusba kezd, mely addig növeli a fordulatszámot tizedes lépésközzel, ameddig az egyenlőség meg nem valósul.

Ha figyelembe vesszük a hajó ellenállását is, akkor megkapjuk azt a tolóerőt, amit a hajócsavarnak szolgáltatnia kell az adott sebességgel való haladáshoz. A tolóerőt az ellenállás

és a szívási tényező ismeretében számítható. Az ellenállásértékeket a MATLAB-ba a Maxsurf Resistance programban végzett mérések alapján importáltam.

Így számítható a teljesítményigény is. Itt a nyíltvízi haladási sebesség helyett a hajósebességet ábrázoltam a grafikonon.

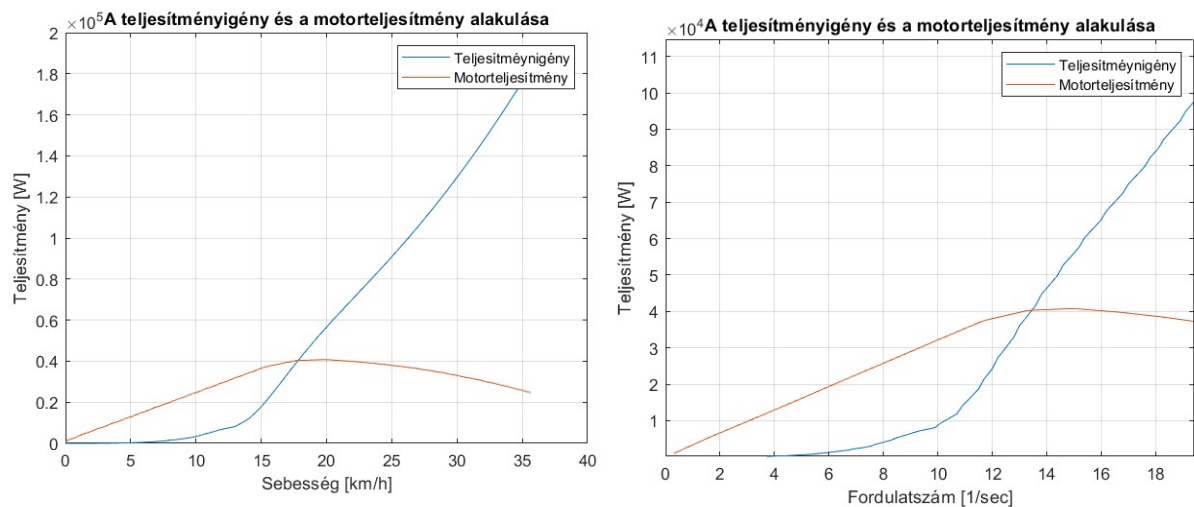
$$v_a = v * (1 - \omega)$$



23. ábra: Tolóerőigény és ellenállás a sebesség függvényében

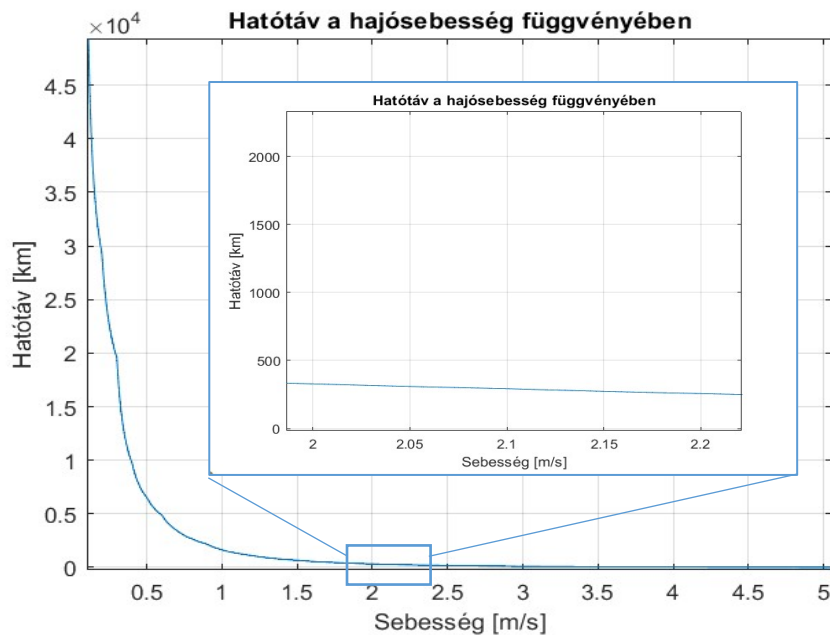
Ekkor azt a fordulatszámot keressük, ahol a motor teljesítménye metszi a teljesítményigény görbéjét.

Ez egy olyan határ, ameddig a program a hatótáv kalkulációt relevánsnak ítéli, azaz nem számol olyan sebesség vagy fordulatszámértékekkel, melyet a motor teljesítménye már nem tud fedezni.



24. ábra: Teljesítményigény és motorteljesítmény alakulása

Ezután a beépített akkumulátorkapacitással és a felhasznált áramerősséggel minden sebességpontban számítható az az idő, amennyit haladni lehet ebben az ütemben. Ezt az időt megszorozva a sebességgel megadható a hatótáv.



25. ábra: Hatótáv alakulása a konstans sebesség függvényében

6 Hajtásláncok vizsgálata, kritikus pontok és speciális műszaki paraméterek a vízi használat esetén

Az előző fejezetekből kiderült, hogy a BOSCH által forgalmazott és gyártott termékek, az elektromos motor, inverter, vezérlő, és hajtómű alkalmas a hajtási feladat elvégzésére, a következőkben meg kell vizsgálni, hogy a kapott konstrukció képességei összességében versenyképes terméket eredményeznek-e. Ehhez több hasonló elektromos hajó érintett paramétereit (hossz, motorteljesítmény, hatótáv, végsebesség és akkumulátorkapacitás) vettem össze a jelenleg tárgyalt hajóéval.

Hajótípus	Motorteljesítmény	Végsebesség	Hatótáv	Hossz	Akkukapacitás
Northman 1200	40 kW	15 km/h	25 km	12,26 m	30 kWh
Regal	10 kW	15 km/h	40 km	7,4 m	60kWh
Alfastreet	10kW	13 km/h	24 km	7,6 m	30kWh
Fraucher	60 kW	17 km/h	45 km	6,5 m	125kWh
BOSCH koncepció	50 kW	18 km/h	41 km	10 m	48kWh

26. ábra: Koncepció összehasonlítása a piacon kapható hajómodellekkel (forrás: (3),(4),(5),(6))

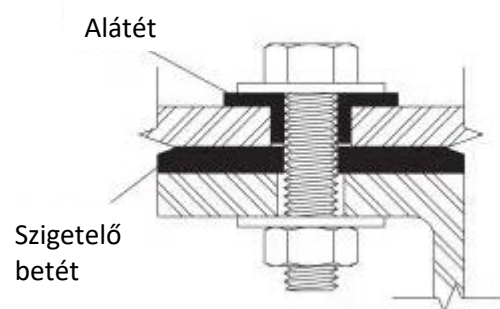
6.1 Összevetés a konkurenciával

Összevetve a kapott konstrukciót a hasonló méretű és rendeltetésű hajókkal, látható, hogy elérhető sebesség és utazási idő tekintetében egy versenyképes modellt kaptunk. A [1] táblázatban példaként láthatóak hasonló rendeltetésű elektromos hajók. Ebben látható, hogy mind végsebesség, mind hatótáv tekintetében jól teljesít a hajó motorteljesítményre illetve hossza vetítve: végsebessége eléri, esetenként meg is haladja még a magasabb motorteljesítményű modellekét is, akkumulátorkapacitásra vetített hatótávja a vizsgált modellek között a legmagasabb értékek közé tartozik.

Elméletileg a kapott koncepció tehát versenyképes, ahhoz viszont, hogy gyakorlatban is jól használható legyen a későbbiekben, meg kell vizsgálni az alkatrészeket, hogy a megváltozott feladatra milyen speciális beszerelési igényeik vannak, illetve, hogy milyen esetleges átalakításra szorulnak. Fontos továbbá kiemelni, milyen előnyei vannak a termék használatának a hajózásban, hiszen ez is jó szempont lehet később a hajó eladásában.

6.2 Szükséges módosítások

A rendszer szinkronmotorral rendelkezik, mely hajózási szempontból azért lényeges, mert azonos teljesítményre vetített befoglaló méreteik a piacon kapható aszinkron motorokhoz képest általában kisebbek. Előnyös tehát, ha a motorhoz minél kevesebbszer kell hozzáférközni karbantartás miatt. Szintén előnyös továbbá, hogy alacsony fordulatszámon járva is alacsony a zajszintjük, ami a lakott területek melletti haladáskor és általában véve a rendezvényeken egy igen pozitív tulajdonság. Hátránya ennek a motortípusnak, hogy a magasabb fordulatszám tartományban romlik a hatásfoka (ez az aszinkron gépeknél nem jelentkezik vagy nem ilyen jelentősen). Továbbá a kapcsolódó vezérlés is komplikált, és viszonylag nagy tömeget jelent. Fontos megemlíteni, hogy a motor olyan ritkaföldfémeket tartalmaz, melyek ára évről évre egyre magasabb, s ez a tendencia várhatóan a következő években egyre inkább növeli a termék bekerülési árát. Technikailag a beszerelése némileg egyszerűbb, mint a belső égésű motoroké, kishajókban az elektromos verziók nem igényelnek nagymértékű rezgéscsillapítást és talapzatot. Ennek ellenére a kompakt rendszer az eAxle-ben nem csak egy

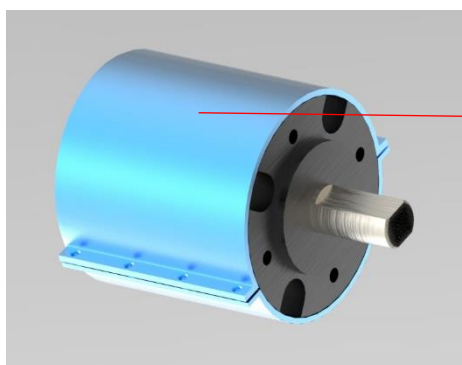


25. ábra: Rezgéscsillapító alátét



27. ábra: Példa hajóba épített elektromos motorra (17)

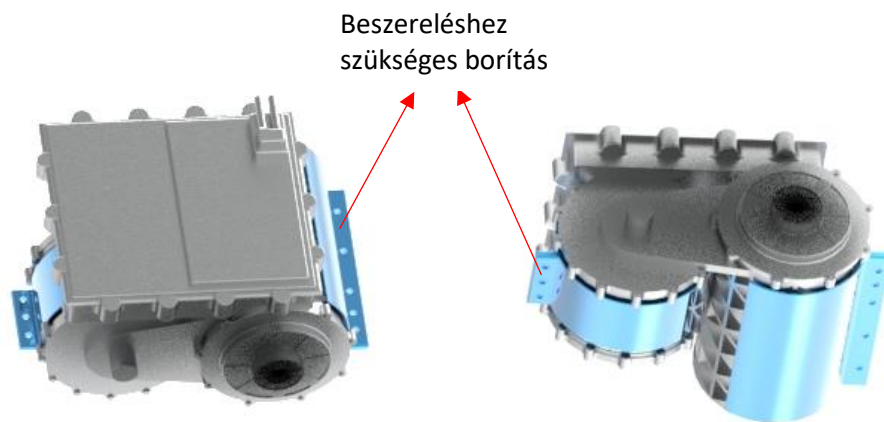
motor, hanem egy sokkal nagyobb rendszer tömegét hordozza, melyet a hűtőkör egyszerűségének később tárgyalt előnyei miatt nem javasolt megbontani. A hajó belső elrendezéséből adódóan a rendszert függeszteni kell, beszerelése egy motorbakon keresztül történik. Kihívás, hogy a rendszert burkoló házon nincsenek gyárilag felfüggesztési pontok, így ezeket módosításként ki kell alakítani. Fontos, hogy a beszereléskor rezgés csillapító alátéteket célszerű beszerelni, ezeket szintén forgalmazza a megfelelő átmérőben a BOSCH, igaz, nem a motorokhoz, hanem a háztartási gépekhez. Ezeket tehát tesztelni szükséges, hogy kellőképpen kompenzálják-e a várható rezgéseket. Ami egy nagyon fontos előny, és hajózásban igen pozitív, hogy a motor, az inverter és a teljes eAxle rendszer egy hűtőkörhöz tartozik, és a termék részeként ezek hatékony hűtése beépített módon megoldott, így a hajtásláncban már csak az akkumulátorok hűtésével kell foglalkozni, melyről pedig az autók esetében használt akkumulátor ház szintén gondoskodik. A hatékony hűtésére vonatkozó



Beszereléshez szükséges borítás

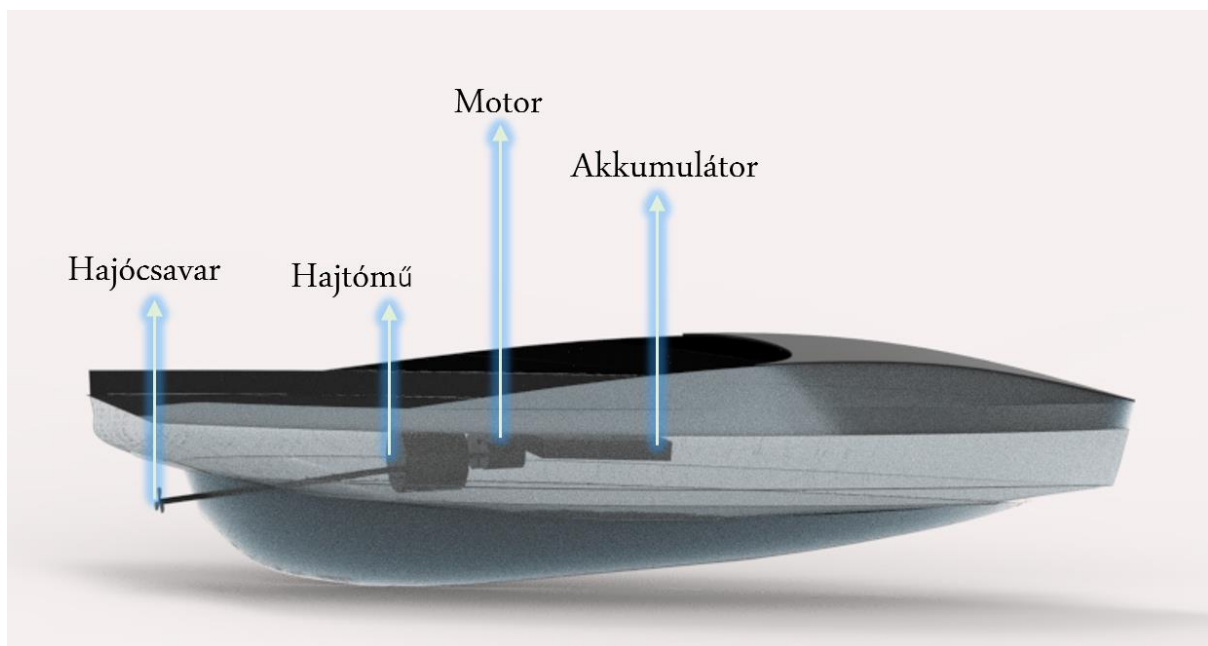
28. ábra: Hajtómű kiegészítő eleme hajóba való beszereléshez

szabvány szerinti motortér szellőztetés betartása mellett a hűtés üzembiztos lesz, a motor és az inverter megfelelően fog üzemelni, hiszen a moduláris rendszernek része a beépített vízhűtés.



29. ábra: Motor kiegészítő elemei hajóba illesztéshez

Hajtómű tekintetében már említésre került a kifejezetten nagy számú áttétel, az emiatt adódó nagy tömeg. Az is látható, hogy a nagy áttét elengedhetetlen mind a maximális sebesség megtartásához a versenyképes értéken, mind pedig az egyenes kihajtás végén elhelyezett hajócsavar megfelelő használatához. Mivel kis helyen kell elférnie egy viszonylag nagy áttételnek, mindenképpen javasolt egy bolygóműves hajtómű használata a klasszikus redukáló (több áttételes) megoldás helyett. Ez a hajtómű megoldások között viszonylag jó hatásfokon üzemel. Bár a BOSCH minden megrendeléshez egyedi, saját igényekhez illeszkedő hajtóművet



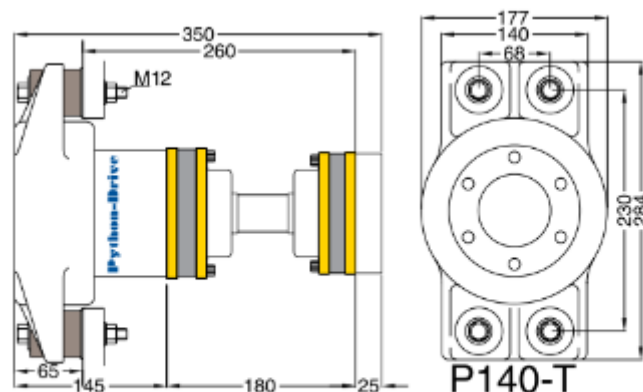
30. ábra: Konceptió röntgenrajza

tervez, a bolygókeres megoldások igen pontos gyártási illesztéseket és a hosszabb tervezési időt igényelnek, illetve azonos áttétre nézve gyártásuk is költségesebb és hosszabb.

Ahogy a motornál is probléma volt, a hajtómű sem egy egyenes kihajtású hajóhajtáslánc geometriájához illeszkedő felfüggesztési peremmel rendelkezik. Itt is szükséges egy motoralap, motortartó bak, egy peremezett bölcső, illetve a hajtóműházon elhelyezett rögzítési pontok (28.,29. ábrák), melyek tervezése szintén feladat volt. Előbbi a hajótest része, utóbbi gyártmányt érintő módosítás, mely azonban a hajtómű árához képest kis költség, mert a konstrukció drágább részeit, a fogaskerekeket nem érinti, csak a házat. Abban az esetben, ha az öntvényformát nem szeretnénk módosítani a rögzítőpontok miatt, lehetőségünk van olyan befoglaló panelt gyártani, mely felülről burkolja a gyártmányt, így lekötve az összes szabadsági fokát (a tengely forgásán kívül természetesen). Utóbbi logisztikailag egyszerűbb, ára közel azonos a közvetlen gyártmánymódosításával.

6.3 Tengelykapcsolás

Az elrendezésből adódó (egyenes kihajtás) hátrány, hogy a hajtómű után a hajócsavar tengely kis állásszögben, egyenestől enyhén eltérve csatlakozik, ennek a szögnek a kompenzálására egy homokinetikus tengelykapcsoló alkalmas, amit azonban a BOSCH nem gyárt. Emiatt külső forgalmazótól kell beszerezni. Ilyen tengelykapcsolókat gyárt például a Python Drive (31.ábra). Mivel a számítást 1:10-es fordulatszám osztással végeztük el, ezért a maximális 16000 RPM motorfordulatszám tizedét, 1600 RPM határfordulatszámot kell kibírnia a tengelykapcsolónak. A megfelelő (50 mm) tengelyátmérőhöz méretezve ennek a kritériumnak a „P 140 T” (13) jelű modell felel meg a legalacsonyabb ár mellett.



29. ábra: Tengelykapcsoló rajza (13)

Vízi használat tekintetében külön figyelmet igényel a csatlakozók kérdése. A hajtáslánc elemek összekapcsolásáért felelős osztály a BOSCH-nál minden elemhez külön csatlakozási geometriát tervez, ezután pedig olyan körülmények között teszteli, melyek várhatóan az autós használat közben körül veszik a rendszert. A hajós környezet egy, csatlakozók tekintetében fontos paraméterben nagyon különbözik a közútitól, ez pedig a páratartalom. A BOSCH tesztrendszere nem szabályozható páratartalmú. Az előzetes konzultációknál a tervezők szilikon huzatot javasoltak a csatlakozásokra, ezek hátránya, hogy javításnál egyszer megbonthatók, utána pedig újat kell venni és külön hőszerszámmal újra rá kell zsugorítani a csatlakozásra. Mivel ezek a beavatkozások várhatóan ritkák, a szilikon pótlások pedig olcsóbbak, mint a tesztrendszer bővítése párásítóval, ez a megoldás kedvezőbb lehet.

A BOSCH autóiparban használt akkumulátorait már használják hajókban. A Torquedo hajózási eszközöket (motor, hajócsavar, stb.) forgalmazó vállalat Deep Blue (18) nevű elektromos hajtásrendszerében ilyen akkumulátor van. Itt a szükséges csatlakozók, a bordákhoz való beszerelés rögzítő egységei és a többi olyan módosítás, ami vízi használathoz szükséges, már megoldott, az így készült hajók pedig évek óta megfelelően működnek.

7 Összefoglalás

A BOSCH kérése, miszerint egy, az autóiparban használt hajtáslánc termékcsomagjukhoz koncepcionális hajótervet képezzünk, sikeres előtervezési szakasszal zárult. Elkészült a hajótest, a hajtáslánc elemek modellje, a hatótávot és optimális csavargeometriát számító program, az ellenállás értékelése, valamint javaslatot is sikerült adni egyes gépészeti elemek átalakítására, hogy hajózásban könnyen használhatóak legyenek. Utóbbi sikerült olyan módon megoldani, hogy a gyártmányon ne kelljen az eddigihez képest módosítani, csak új, kiegészítő terméket kelljen használni, ami az árat várhatóan csökkenti, a logisztikai feladatokat pedig egyszerűsíti. A jövőbeli karbonsemleges közlekedés felé vezető úton a projekt megvalósulása olyan piacot nyit meg a cég számára a hajózásban, mely területen még igen kevés terméket forgalmazott.

Források

1. BOSCH (2021).EAXle. [eAxe \(bosch-mobility-solutions.com\)](https://www.bosch-mobility-solutions.com) [Letöltve: 2022. 10. 20.]
2. BOSCH (2020). Electric drive. [Electric motors and active parts \(bosch-mobility-solutions.com\)](https://www.bosch-mobility-solutions.com) [Letöltve: 2022. 10. 20.]
3. Stickl Boats (2020.) Evolution 136. [b99c5b_6281980f114d4346851014d104b93c62.pdf \(sticklboats.com\)](https://www.sticklboats.com) [Letöltve: 2022. 10. 21.]
4. Stickl Boats (2020.) Evolution 820. [b99c5b_88fe53dcd6ed44c2b9214f373baabf14.pdf \(sticklboats.com\)](https://www.sticklboats.com) [Letöltve: 2022. 10. 21.]
5. E-hajó Center (2021.) Northman. [E-Hajó Center - Northman - Nexus Revo 870 \(ehajocenter.hu\)](https://www.ehajocenter.hu) [Letöltve: 2022. 10. 21.]
6. E-hajó Center (2021.) Regal-LS4C. [E-Hajó Center - REGAL - LS4C Electric \(ehajocenter.hu\)](https://www.ehajocenter.hu) [Letöltve: 2022. 10. 21.]
7. EV Database (2020.) BMW I3. [BMW i3 120 Ah \(2018-2022\) price and specifications - EV Database \(ev-database.org\)](https://www.ev-database.org) [Letöltve: 2022. 10. 21.]
8. Simongáti Gy. (2012) Kishajók. Budapest, Typotex. 24-31. ISBN 978-963-279-643-7
9. Bentley (2018) User Manual Maxsurf Resistance. https://forum.katera.ru/index.php?app=core&module=attach§ion=attach&attach_id=441719 [Letöltve: 2022. 10. 22.]
10. BOSCH (2020). Electric drive, Power Electronics. [Power electronics generation 3evo \(bosch-mobility-solutions.com\)](https://www.bosch-mobility-solutions.com) [Letöltve: 2022. 10. 28.]
11. D. Ray, P.Kinley, M.M. Bernitas (1981): Kt, KQ Efficiency Curves for the Wageningen B_Series Propellers. Michigan, Department of Naval Architecture. Report No. 237.
12. Benedek Z. (1988): Hajócsavarsorozatok kisminta-mérési eredményei. Budapesti Műszaki Egyetem, Járműgépészeti Intézet.
13. Python Drive (2018): Python Drive P 140-T. [Python Drive P140-T at Python Specialist Drinkwaard Marine](https://www.python-drive.com) [Letöltve: 2022. 10. 28.]
14. E.Pierrri, M. Sorrentino, T.Vietor (2021): Adopting a Conversion Design Approach to Maximize the Energy Density of Battery Packs in Electric Vehicles. Energies, 2021.March. pp.:11. ISSN: 1996-1073
15. J.V.Muenzel (2011) Evaluation and Refinement of Measurement Procedures for High-Voltage Energy Storage Systems of Production Electric Vehicles. Southampton, UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON FACULTY OF ENGINEERING, SCIENCE AND MATHEMATICS SCHOOL OF ENGINEERING SCIENCES. DOI: DOI: 10.13140
16. B.Newton (2018): BMW i3 REX to be axed. [BMW i3 REX to be axed - carsales.com.au](https://www.carsales.com.au) [Letöltve: 2022.10.31.]
17. Fischer Panda (2022): Inboard Electric Motors. [Inboard Electric - Bell Marine \(fischerpanda.co.uk\)](https://www.fischerpanda.co.uk) [Letöltve: 2022.10.31.]
18. Torqueedo (2019): Bettry. High Capacity Deep Blue Battery with BMW i Technology. [Battery Technology - Torqueedo](https://www.torqueedo.com) [Letöltve:2022. 10. 14.]

Ábrák jegyzéke

1. ábra: Motor CAD modellje	5
2. ábra: E-drive hajtásrendszer modellje (forrás: BOSCH csoport).....	6
3. ábra: Hajtómű külső rajza	7
4. ábra: Akkumulátorok felülnézeti műhelyrajza, méretei. Forrás: (14).....	8
5. ábra: összeszerelt akkumulátorblokk védőházzal (15).....	8
6. ábra: A BOSCH csoport akkumulátora közötti példán és az e-bike akkumulátorai (nagyításban) (16)	9
7. ábra: Trimarán test vonalterve	12
8. ábra: Katamarán test vonalterve.....	13
9. ábra:Motoros hajótest vonalterve.....	14
10. ábra: Karcsú hajótestforma vonalterve	16
11. ábra: Vízkiszorításos modell vonalterve	17
12. ábra: Elkészült hajómodell.....	18
13. ábra: Ellenállásértékek alacsony sebességek esetén nagyítva)	19
14. ábra: Ellenállás szoftveres mérése, hullámkép (5m/s)	20
15. ábra: Hajócsavar görbéinek kirajzolt képe MATLAB programból	21
16. ábra: Hajócsavar modell (Solid Edge)	22
17. ábra: Motorkarakterisztika	23
18. ábra: Példa feladat (sebességprofil)	24
19. ábra: Redukált sebességprofil a maximális teljesítmény figyelembevételével	26
20. ábra: Példa feladat adatmegadása és eredményei MATLAB környezetben	27
21. ábra: Speciális sebességprofil maximális sebességgel való haladáskor.....	27
22. ábra: Fordulatszám-sebesség görbe	28
23. ábra: Tolóerőigény és ellenállás a sebesség függvényében	29
24. ábra: Teljesítményigény és motorteljesítmény alakulása.....	29
25. ábra: Rezgéscsillapító alátét.....	31
26. ábra: Rezgéscsillapító alátét.....	31
27. ábra: Példa hajóba épített elektromos motorra (17)	32
28. ábra: Hajtómű kiegészítő eleme hajóba való beszereléshez	32
29. ábra: Tengelykapcsoló rajza (13).....	34

Mellékletek

1: Ellenállásértékek táblázatos formában

Sebesség(m/s)	Ellenállás (N)
0	--
0,3	6,72
0,6	26,98
0,9	60,48
1,2	118,35
1,5	195,95
1,8	303,79
2,1	449,07
2,4	638,84
2,7	866,38
3	1257,65
3,3	1622,52
3,6	1798,33
3,9	2433,86
4,2	3552,07
4,5	4820,81
4,8	5991,94
5,1	6974,89
5,4	7774,83
5,7	8431,82
6	8988,58
6,3	9481,08
6,6	9935,74
6,9	10369,56
7,2	10791,56
7,5	11211,92
7,8	11633,9
8,1	12058,21
8,4	12488,61
8,7	12920,88
9	13361,86
9,3	13805,6
9,6	14254,91
9,9	14710,91
10,2	15169,83
10,5	15631,12
10,8	16103,98
11,1	16574,64
11,4	17051,64
11,7	17533,46
12	18021,57