



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

SZAKDOLGOZAT

Elektromos segédhajtás beépítése egy acél építési anyagú,
50 m²-es tengeri cirkáló típusú, kedvtelési célú vitorlás
kishajóba

2020

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VASÚTI JÁRMŰVEK, REPÜLŐGÉPEK ÉS HAJÓK TANSZÉK

Sorszám: VRHT-A-H-2020-01

SZAKDOLGOZAT FELADAT
LÉVAI EMESE mérnökjelölt részére

Cím:Elektromos segédhajtás beépítése egy acél építési anyagú, 50 m²-es tengeri cirkáló típusú, kedvtelési célú vitorlás kishajóba

A szakdolgozat célja annak megvizsgálása, hogy az acél építési anyagú, 50m²-es tengeri cirkáló típusú, vitorlás kishajó segédmotoros meghajtásának elektromos rendszerűvé átalakítása milyen gépészeti, elektromos és szerkezeti átalakítást igényel, és az átalakítás milyen hatással van a hajó tömegére, úszáshelyzetére, stabilitására és motor illetve vitorla meghajtású sebességére.

A feladat részletezése:

1. Ismertesse az acél építési anyagú, 50m²-es tengeri cirkáló típusú vitorlás kishajót az átépítés előtti állapotát.
2. Végezzen irodalomkutatót a vitorlás kishajók elektromos segédhajtására alkalmas, jelenleg a kishajós piacon elérhető motorok és hajtásrendszerek-elemek területén.
3. Ismertesse az elektromos segédhajtás beépítéséhez szükséges szerkezeti változtatásokat.
4. Végezze el az átépített hajó súlysámítását, ellenállásbecslését és a propulziós számításokat a motorhajtású állapotra.
5. Elektromos energiamérleg számítással adjon hatótáv becslést a hajó elektromos motorhajtására.
6. Határozza meg az átépített hajó úszáshelyzetét és ellenőrizze annak stabilitását az EN ISO 12217 szabvány szerint.
7. A Maxsurf program segítségével hasonlítsa össze a hajó vitorlás meghajtású sebességét (polár diagram) az átépítés előtti és utáni állapotban, a Balatonra jellemző szélviszonyok között.

Témavezető (egyetemi konzulens):Hargitai L. Csaba

Ipari (külső) konzulens:Pompor Gyula

munkahelye:

Záróvizsga tárgyak:

1. *Műszaki Ábrázolás I.-II., KOJHA121 – KOJSA455 – 4+4 kredit*
2. *Hajóépítés technológiája KOVRA468 – 3 kredit*
3. *Kishajók KOVRA472 – 4 kredit*

A szakdolgozat beadásának határideje: 2020.12.11.

P.H.Dr. Rohács Dániel
egyetemi docens, tanszékvezető

Nyilatkozat

Alulírott Lévai Emese Sarolta hozzájárulok ahhoz, hogy az „Elektromos segédhajtás beépítése egy acél építési anyagú, 50 m²-es tengeri cirkáló ípusú, kedvtelési célú vitorlás kishajóba” című szakdolgozatomat a BME Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék oktatói az oktatási és kutató munkájukban korlátozás nélkül felhasználhassák, a munka kiválasztott részeit a publikációikba – a Szakdolgozatra és annak szerzőjére való szakszerű hivatkozással – beilleszthetik.

Budapest, 2020 09.23.


.....

Hallgató aláírása

Tartalom

1.	Bevezetés.....	2
2.	A hajó műszaki ismertetése.....	3
2.1.	Általános ismertetés	3
2.2.	Főméretek, általános jellemzők	3
2.3.	Hajtáslánc.....	5
3.	Modell megalkotása. A modellből végzett számítások.....	7
3.1.	Helyszíni femérés	7
3.2.	Modellalkotás.....	8
3.3.	Ellenállás számítása	10
3.4.	Az ellenállás-görbék eltérésének lehetséges okai	13
4.	Hajtásrendszer átépítése	13
4.1.	Korábbi diesel motorhoz hasonló teljesítményű elektromos motorok lehetséges változatai	13
4.2.	Hajtáslánc átépítés	15
4.3.	Alternatív javaslat	20
4.4.	Motoralap, kivezetés	21
5.	Hatótáv becslés.....	23
5.1.	A segédhajtással megvalósítandó szállítási feladat	23
5.2.	Az elektromos segédhajtás paraméterei.....	23
5.3.	A szállítási feladathoz tartozó szolgálati sebesség meghatározása.....	25
5.4.	Propulziós számítások, a hajócsavar kiválasztása	30
6.	Súlyszámítás.....	36
6.1.	A bútorzatban történt változtatások és azok hatása a súlyponthelyzetre ..	36
6.2.	Az eredeti hajtásrendszer figyelembevételével készült súlyszámítás	37
6.3.	A hajó tömegének és súlypontjának meghatározása az átépítés után	38
7.	Stabilitás vizsgálata az EN ISO 12217 szabvány szerint	40
7.1.	A szabvány általános áttekintése	40
7.2.	A szabványtáblák kitöltéséhez szükséges számítások	41
8.	Polár diagram elkészítése, az átépítés előtti és utáni állapot összehasonlítása	46
8.1.	A polár diagramm célja.....	46
8.2.	A polár diagrammal kapott eredmények.....	46
9.	Összefoglalás.....	48
	Ábrák jegyzéke.....	49
	Felhasznált irodalom	50
1.	Melléklet: Kutatói adatlap és engedély a Veszprémi Levéltárból	52
2.	Melléklet: Motor felfüggesztés rajza	53
3.	Melléklet: Motor felfüggesztés rajza az orrból a far felé tekintve	54
4.	Melléklet: Tönkcső beépítésének rajza	55
5.	Melléklet: Hajtáslánc összeállítási rajza metszeben	56
6.	Melléklet: Tételek tömege, pozíciója és beszámítási megítélése a súlyszámításhoz	57
7.	ISO hitelesítő táblázatok	58
8.	VPP diagramhoz használt adatsor	64

Jelölésjegyzék

Latin betűk, jelölések:

- u : hajó haladási sebessége [m/s];
- L : hajó hossza [m];
- P : teljesítmény [W];
- g : nehézségi gyorsulás [m/s²];
- R : hajó ellenállása [kN];
- t : menetidő [h];
- I : áramerősség [A];
- C : akkumulátorkapacitás [Ah];
- k : térfogati tényező [-];
- V : térfogat [m³];
- B : hajószélesség [m]
- F : szabadoldal magasság [m]
- Lim : ürítési időkorlát [s]
- J : sebességtényező [-]
- v_A : nyíltvizi sebesség [m/s]
- D : hajócsavar átmérő [m]
- n : hajócsavar fordulatszám [1/s]
- K_T : tolóerő-tényező [-]
- K_Q : nyomatéki tényező [-]
- T : tolóerő [N]
- p : nyomás
- H : hajócsavar tengelyének távolsága a vízfelszíntől [m]
- P/D : hajócsavar emelkedési arány
- A_D/A_0 : nyújtott felületarány [-]
- A_p : szárnyak vetített felülete

Görög betűk, jelölések:

- η_F : forgási tényező
- η_F : tengelyrendszer hatásfoka
- ρ : víz sűrűsége [kg/m³]
- σ_0 : kavitációs szám [-]
-

Indexek:

- eff : effektív;
- t : teljes;
- MOT : motorhoz tartozó érték;
- lem : lemerítési;
- c : kokpitra vonatkozó érték;
- H : teljes;
- max : maximális;

- M ; hajóközépen mért érték
- $lég$; levegőre vonatkozó érték
- v ; telített vízgőzre vonatkozó érték
- max ; legnagyobb megengedett érték
- a ; átlag

Rövidítések:

- Fr ; Froude-szám;

1. Bevezetés

Az 50-es cirkáló típus népszerű a kedvtelési hajózásban, túrakvitelben kifejezetten kényelmes, stabil, ugyanakkor versenyzésre is alkalmas. A szakdolgozat feladat egy valós hajómérnöki feladat, melyben egy acél hajótest szerkezetű, 50-es cirkáló típusú, kedvtelési célú vitorlás hajó belsőégésű motoros segédhajtását kell elektromos segédhajtásra átalakítani. A hajó hajózási körzete a Balaton lesz, amely a kedvtelési célú hajókra hatályos magyar jogszabályok szerint a vonatkozó ISO szabvány (ISO 12217) „C” tervezési kategóriájának való megfelelést teszi szükségessé. A hajótulajdonos azért döntött az átalakítás mellett, mert a Balatonon rendszeresen szeretne célirányosan közlekedni a járművel, az utat akkor is meg szeretné tudni tenni, ha éppen szélcsend van. De a meglévő, kedvtelési célú vitorláshajójáról sem szeretne lemondani. Tehát a vevői igényt akkor lehet maximálisan kielégíteni, ha a hajó elsődleges hajtása (a vitorlahajtás) megmarad, és élvezeti értékéből nem veszít, de emellett a másodlagos hajtás (elektromos motorban végződő hajtáslánc) műszakilag és jogilag is megfelel a tervben való közlekedésre. A dolgozatban bemutatom a hajót, a hajó eredeti hajtásláncát, majd a modell elkészültének folyamatát ismertetem. Ezt követően irodalomkutatást végzek a piacon jelenleg beszerezhető elektromos motorok terén, a választott motor ismeretében bemutatom a hajtáslánc további alkatrészeit, beépítésük módját rajzzal szemléltetem. A kialakított rendszer energiaszükségletét kiszámítva hatótáv becslést végzek a hajó elektromos motorhajtására. A súlysámítással különféle terhelési állapotokra bebizonyosodott, hogy a kialakított új rendszer nem okoz akkora súlypontelvándorlást, hogy az vitorlázás közben a sebesség rovására menjen. A legfrissebb ISO szabvány szerinti vizsgálatot elvégezve kiderült, a hajtáslánc átalakítása mellett a hajó egyéb felújítási munkák után alkalmas a Balatonon való közlekedésre.

2. A hajó műszaki ismertetése

2.1. Általános ismertetés

A szakdolgozatban vizsgált hajó, a 66 éves „Ninnie” nevű 50-es cirkáló, melyet a múlt század elején terveztek. Tervrajzai muzeális értékűek azoknak felhasználását jelen dolgozatban a Veszprémi Levéltár engedélyezte a mellékelt kutatói adatlap megküldésével (1.melléklet). A szerkezetről szóló információk a levéltárban történt mérések alapján, az őszi és téli helyszíni felmérések, kézi méréseim alapján történtek.. A hajót eredetileg tengeri körülményekre tervezték, s a hajólevele szerint megfelel a „B” tervezési kategóriának.

2.2. Főméretek, általános jellemzők

A hajó tervezési főméretei: hossza 13,2 m, szélessége 2,64 m, hajótest magassága 3,52 m. Merülése „lightship” (üres, üzemkész) terhelési állapotban 1,68 m. Tőkesúlyos, kedvtelési célú, kabinos vitorlás kishajó. A hajótest formája: long kielés, a kormánylapát a kiel-re van ágyazva. A hajótest jellemzője a hosszú vízvonal feletti orr-és far túlnyúlás, az éles gerincvonal, valamint a nagy LWL/BWL viszonyú (karcsú), hajó mindkét végén

Ninnie 50-es cirkáló adatai (átépítés előtt)		
Adat	Mérték	Mért.egys.
Teljes hossz	13,2	m
Legnagyobb szélesség	2,64	m
Tervezési merülés	1,68	m
Vízvonalhossz	9,5	m
Vízvonalterület szélessége (MS)	2,3	m
Víz kiszorítás (LS)	6950	kg
Építési anyag (test)	Acél	
Segédhajtás adatai		
Beépített motor típusa	VETUS M2.18	
Beépített motor névleges teljesítménye	12	kW
Beépített motor fordulatszáma	3600	RPM
	60	1/s
Beépített motor névleges nyomatéka	35,1	Nm/2000RPM
Vitorlázat adatai		
Nagyvitorla	38	m ²
Orrvitorla	22,9	m ²
Hátszélvitorla	47,5	m ²

1. ábra: Hajó főbb adatai táblázatosan

4

nem változik, tervezés során folyamatosan figyelni kell a súlyszámítást és a súlypont-elvándorlást, nehogy a hajó veszítsen kényelméből.

2.3. Hajtáslánc

A segédhajtást az átépítés előtti állapotban egy VETUS M2.18 típusú diesel motor adta. Ennek a gépnek a cseréje részben a feladat. A hajtásrendszer egyenes kihajtású, a motor után szerelt tengelykapcsolóból kilépő tengely hozzávetőleg egy méter. Ez a gerincen át fut ki a hajótestből tömszelence után szerelt tönkcsövön át. A hajó oldalnézeti képén is látjuk (1.ábra), hogy az alsó héj sziluettje némileg eltér a modern építésű vitroláshajók körvonalától. Ez azért van így, mert a hajó az 1950-es évek elején került megtervezésre, majdnem 70 évvel ezelőtt. Ekkoriban még a jellemző vitorlás hajó-profil Ninnie-hez hasonlóan long-kieles, tőkesúly-kormány-hajó hármast nem teljesen külön választó vonalvezetés volt, ami némileg eltér a modern verzióktól, ahol a kormány, a tőkesúly (vagy uszony) és a hajótest jobban elkülönül. Bár a long-kieles verziónak is van előnye, az így kapott hajóforma tengerállása igen jó, kis merüléssel nagy laterálfelületet eredményez, emellett a kormánylapát terhelése is kisebb, mint a különálló, hátrébb elhelyezett lapátoknak. Gyártástechnológia szempontjából is elérhetőnek mondható ez a hajóforma. Ebben az esetben a kormány gyakorlatilag a tőkesúly folytatása. Mint lapaelemnek, a vízkiszorítással kapcsolatos számításokban nincs szerepe (vagy csak igen kevés), ellenben a modellben mégis szerepelnie kell, mert ellenállása jelentős. Emiatt a későbbi, ellenállás-, valamint úszáshelyzet és stabilitás számításához készített számítógépes 3D modellben is szerepel. A vevő motorral való céljából az is adódik, hogy a megszokott „sail drive”, vagy a fartükörre szerelt motoros kialakítás nem is opció, hiszen a kikötőben való rövid manőverezésen túlmutató hosszabb motoros utak már feltételezik a hullámzást, ekkor pedig a farra szerelt motor esetében a hajócsavar a „bólogató” mozgás miatt gyakran részben vagy egészben a levegőben járna. Emiatt célszerű inkább az egyenes kihajtás. Ekkor a hajócsavar a kormánylapba vágott ablakban forog, ide vezeti ki a tengely. Az átépítés előtti állapotban még az eredeti (szintén muzeális értékű) hajócsavar volt felszerve. Ennek alapota egyébként nem kifogásolható, de az átépítés utáni állapothoz nem biztos, hogy ideális az átmérője, illetve egyéb paraméterei. Lehet, hogy nagyobb tolóerő kell (például kiderülhet, hogy nehezebb lett a hajó valamilyen eszköztől), ebből kifolyólag hatásfok szempontjából szükség lehet egy nagyobb átmérőjű csavarra. Itt

megjegyzendő egy újabb korlát is, miszerint a kormányba vágott ablak mérete fix, bizonyos mérték után nem növelhetjük a hajócsavar átmérőjét, mert a szárnyvégek hozzáütközhetnek az ablak pereméhez, tehát, még ha a számításból az is adódik, hogy az ideális hatásfok eléréséhez nagyobb csavar kell, ezt akkor sem feltétlenül tudjuk beszerezni. Előfordulhat ennek az ellenkezője is, miszerint a kavitáció miatt kisebb hajócsavar kell. Erre főként akkor lehet számítani, ha a nagyobb hajócsavar szárnyvégein túl nagy a kerületi sebesség, és kavitáció lép fel. Ebben az esetben nem érdemes megtartani a régi csavart, mert, bár ki tudná fejteni a kellő tolóerőt, felesleges ellenállást is ad a vitorlás üzemmódban. Ennek az ellenállásnak a szemponjából megfontolandó javaslat az összecsucskható hajócsavar is. A hajtáslánc elemei módosulhatnak (némelyiknek a cseréje ajánlott, például előregedett tömszelence), a propulziós számítások függvényében új hajócsavar beépítésére is sor kerülhet. Az egyenes kihajtáson azonban nem lehet változtatni, mert az már a hajótest szerkezetét érintő jelentős változtatás lenne, melynek költségei messze meghaladják a pénzügyi keretet. Az átépítés előtt a motor alatti gépalap a gerinc menti bordatalpak feletti épített acél szerkezet, maga a motor a 11 és a 13-as bordák között helyezkedik el. A motor erről a gépalapról a hajó életében kevésszer kerül le, így kihasználva az egyébként is szükséges levételt, a motoralapot a rezgések csillapítására alkalmassá tervezzük át, melyre jelen állapotában kevéssé alkalmas. A hajó padlólemeze (a gerinccel párhuzamosan) az orrtól a farfelé nézve enyhén lefelé lejt, nem párhuzamos a vízvonallal. Emiatt arra lehet számítani, hogy a hosszas szabadtéri (leponyvázatlan) tárolás alatt a beeső csapadék felgyűlhetett a hajó hátsó részében, onnan pedig – mivel nem tud elfolyni – szivattyúzás hiányában csak párolgás útján tudott távozni. A hosszan ott időző víz gyors korróziót okoz. A felmérés során ez bebizonyosodott: az eredetileg 3 mm vastag lemez elvékonyodott, főként a 11-12-es bordák között. Ez azért különösen fontos észrevétel, mert ehhez a lemezfelülethez közel van kivezetve a tönkcső a hajótestből, és ezen keresztül a hajócsavar tengely is, amely a gyártási pontatlanság és a csavarról leváló örvények miatt minimálisan amplitúdóval rezegni fog. Ez a rezgés az anyag fárasztó igénybevétele, amely különösen az elvékonyodott, már a statikus terhelésnek is épphogy megfelelő lemezben repedéseket indít el, ezért itt fontos lesz javítást eszközölni.

3. Modell megalkotása. A modellből végzett számítások

3.1. Helyszíni felmérés

A helyszíni (Újpesti Hajójavító) felmérést úgy kellett elvégezni, hogy minden, súlysámítás, hajtás, felújítás, ISO szabvány szerint vizsgálatnak alávetés szempontjából fontos részletet le kellett fényképezni, azok pozícióját pedig mérőszalaggal fel kellett venni, a lehetséges bázistól lehetőleg két koordináta szerint. Lehetséges bázis minden olyan felület, ami rajta van a tervrajzokon, tehát helyzete irodai körülmények közt is felmérhető a megmaradt tervdokumentációból. Ilyen lehet bútorok helyzeténél praktikusán a kajüt fala vagy a belső térelválasztók, bikák, csörlők, ablakok esetében pedig a külhéli. A felmérés során jegyzőkönyvbe kellett venni minden nyílást és annak pozícióját, különös tekintettel azokra a nyílásokra, melyek az épen maradt általános elrendezési tervrajzokon nem szerepelnek, és jelenlétükre a többi rajzon sem utal semmi (például külön berajzolt méretvonal, általános elrendezésben a bútorok elhelyezése). A felmérés általános elvére is igaz, hogy minden olyan különbséget rögzíteni kell, ami nem szerepel a műszaki dokumentációban, hiszen ezek esetében felmerül, hogy a tervezés és a vízrebocsátást megelőző hitelesítés után jöttek létre, ilyenformán nem lehetünk benne biztosak, hogy megfelelnek a hatályos szabályoknak. Ezek az eltérések a súlysámítást tárgyaló fejezetben szerepelni fognak, ilyen például az ágyak alatti polcsorok hiánya a tervrajzokhoz képest, vagy a WC és mosdó elhelyezése, de ide tartozik az akkumulátorok elhelyezése is. Ez a rögzítés minimum egy fényképből, és egy kézi vázlatból áll azokkal a lemerített méretekkkel, ami alapján a modellbe a nyílások átültethetőek. Emellett, tekintettel a régi építésre és tervezésre, minden ISO szabályrendszerben lefektetett paramétert gondosan meg kell vizsgálni (pl.: szabad oldalmagasság, kokpit önürítése), hiszen az '50-es évek óta a szabályozás több pontban változott. Amennyiben nem teljesítjük az ISO

szerint meghatározott „C” kategória követelményeit, úgy a vevő számára a balatoni használat lehetetlenné válik.

3.2. Modellalkotás

Mivel a levéltári vonalterv több helyen sérült, és a levéltári fényképezés kis pontatlanságot tartalmazhat, így két módszerrel készültek a modellek, két külön programban. Az első modell a „Maxsurf Modeller” programban készült. Ez kontrollpontok segítségével hoz létre felületeket, ezekből a felületekből épül fel az alsó héj. Az alsó héj modellezése azért elegendő a „Maxsurf Modeller” esetében, mert ennek társprogramját, a „Maxsurf Resistance”-t használtam az ellenállás kiszámítására, mely később az úszáshelyzet-, valamint a propulziós számítások, és a hajtáslánc megtervezésének alapja. Az ellenállás számításnál a hajó víz alatti részének pontos modellezése fontos, hiszen a motoros üzemben a légellenállás kisebb jelentőséggel bír. Első lépésben mindkét modellben létre kellett hozni egy rasztert, ami a függélyek közötti szakaszon 380 mm-es osztást jelent. Ugyancsak a megmaradt vonaltervi részletek alapján a 17. számú borda rajzáról kiderült a bordametszetre vetített osztás is (vízvonalak, és azokkal párhuzamos egyenesek a nem-bemerülő szakaszon), mely a víz alatti részen 100 mm, a vízvonallal felett pedig 200 mm. Ismerve a hajótest szélességét (felülnézeti kép) létre



3. ábra: Korrigált 2D-s rajzok raszterre illesztése

lehetett hozni az alsó héj három dimenziós képét. A Maxsurf modell fő célja tehát az úszáshelyzet és az ellenállás kiszámítása. A másik modell Solid Works programban készült. Erre azért van szükség, mert bár a Maxsurf modell alkalmas az úszáshelyzet és ellenállás számítására, a tengelyrendszert elhelyezni és a berendezéseket súlypontjuk ismeretében (ezek forrása a felmérés során készített fotósorozat) pozícionálni nem tudjuk benne. Emellett itt lehetőség van a bordák képein lévő hibák pontosabb kompenzálására, hiszen a Solid Works háttérkép-kezelő panelje („background image”) precízebb módosításokat tesz lehetővé, mint Maxsurf-é, illetve a hossz-és keresztirányú nyújtást is enged a képarányok megváltoztatása mellett, ami lehetőséget ad a lencsetorzítás kiküszöbölésére. A rotációkat és a függőleges torzításokat a referenciasíkok (CL, CWL) segítségével pontosítani tudjuk, egyéb program (pl.: Photoshop) alkalmazása nélkül. Ebben az esetben felmerül egy másik hibalehetőség, a vonalvastagság. Ennek kiküszöbölésére nem egyben, hanem a képek feldarabolásával, jobb felbontásban kerültek be a képek a háttérbe. Az illesztésekben és a bordák fényképeinek háttérének kalibrálásánál a vonaltervi méretábrázolást segít. Ez tartalmazza a bordák végpontjainak (azaz a fedélzet pontjainak) távolságát a tervezési vízvonaltól, illetve a tervezési vízvonaltól 100 miliméterenként a bordák félszélességeit. Ezekre a pontokra illesztve a kapott spline kirajzolja a bordaívét. A kirajzolt bordaívek összessége azért is fontos, mivel ezek sokaságára oldalnézetből illesztett görbe kirajzolja a fedélzet szélének vonalát, ami jelentős információ, különös tekintettel a későbbi ISO szabvány szerinti „DOWNLOADING” (elárasztás) dokumentumpont alatti számításokra.

Összehasonlítva a Maxsurf Modeller-ben készített testtel a Solid Works modell vízkiszorítása sokkal kevésbé tért el (minimálisan) a tervrajzokon megállapított súlytól. Emiatt a Solid Works modellből való importált fájllal dolgoztam tovább. Bár a levéltári rajzokon szerepel a súlypont helyzete, a hajóba jelenleg beépített motor típusára és elhelyezésére nem utal semmilyen méretvonal vagy jelölés, azaz a hajóba eredetileg nem terveztek motorhajtást. Ebből már a hivatalos felmérés előtt látszott, hogy a tervrajzokon szereplő súlypont helyzete valószínűleg nem azonos a hajó súlyának és súlypontjának a jelenlegi állapotában mért értékekkel. Ez azért is fontos, mert a balatoni hajókhöz képest a dolgozaban tárgyalt hajónak a merülése viszonylag nagy, ezzel párhuzamosan a szabad oldal magasság is relatíve alacsonyabb érték. A kényelmes manőverezés és az ISO által támasztott követelmények teljes terhelés melletti biztos teljesítésének érdekében az

merülést nem szeretnénk jelentősen növelni. Emiatt is fontos a súlypont helyének pontos kiszámítása. A felmérés során kiderült, hogy a bútorokat is részben átrendezték ahhoz képest, amit a levéltári általános elrendezési rajzon láttunk, így a berendezés súlyszámítása is szükségessé vált.

3.3. Ellenállás számítása

Select methods to be computed

Planing

☐ Savitsky pre-planing

☐ Savitsky planing

☐ Blount and Fox

☐ Lahtiharju

☐ Wyman

Displacement

☐ Holtrop

☐ Compton

☐ Fung

☐ van Oortmerssen

☐ Series 60

☐ KR Barge resistance

Yachts

☐ Delft I, II

☐ Delft III

Analytical

☐ Slender Body

Form factor (1+k), including viscous interaction for

Method

☐ Use 19th ITTC modified formula for C_f

OK Cancel

4. ábra: Maxsurf Resistance által használható ellenállásszámító módszerek

Hajók ellenállásának számítására több módszer is ismert, háromféle alapelvvvel lehet számolni: a szisztematikus modellkísérleteken alapuló módszerek összefüggéseivel, analitikus módszerrel, és a numerikus módszer metódusával. Az első esetben a nevéből adódóan az eredményeket modellekkel való kísérletekből, különféle paraméterek szisztematikus változtatásával produkálták. Ennek következtében alkalmazhatóságuk attól függ, hogy az ún. „parent modell”-ekkel milyen mértékű hasonlóságot mutat az aktuális jármű. Az alkalmazott Maxsurf Resistance [18] programban a 4.ábrán szereplő tizennégy ellenállásszámítási módszer van leprogramozva. Ezek közül a siklóhajókra használatos Savitsky, Delfti (I.,II., III.) és Blount and Fox módszerek, valamint a félsikló hajókra való Savitsky pre-planning módszer jelen esetben nem alkalmazható, hisz a tárgyalt hajó vízkiszorításos üzemű. Nem használható a Holtrop (Holtrop-Mennen), a Korean Register of Shipping (KR)

Barge és a Fung módszer sem, valamint a 60-as sorozat eredményei, mert ezek kifejezetten a nagyhajók méretarányaival nyújtanak hiteles eredményt (ismét a „parent modell” okán nem alkalmazható az eljárás). Compton módszerével motorcsónakok ellenállását szokás [1] számítani, a vitoláshajónk alakja és üzeme nem hasonlít annyira a motorcsónakokéhoz, hogy ezzel érdemes legyen kalkulálni. A vízkiszorításos üzemű hajókra alkalmazott módszerek közül már csak a van Oortmerssen által kidolgozott maradt. Ezt valóban lekerekített bordaformájú kishajókra tervezték. Ezt azonban szintén

Ellenállás számító módszerek vizsgálata		
Ellenállás számítómódszer	Alkalmazható	Indoklás
Savitsky	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének üzeme nem egyezik
Delft I.	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének üzeme nem egyezik
Delft II.	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének üzeme nem egyezik
Delft III.	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének üzeme nem egyezik
Blount and Fox	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének üzeme nem egyezik
Savitsky pre-planning	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének üzeme nem egyezik
Holtrop-Mennen	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének méretaránya nem e.
KR Barge	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének méretaránya nem e.
Fung	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének méretaránya nem e.
Series 60	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének méretaránya nem e.
Compton	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének alakja, üzeme nem e.
van Oortmersen	nem	A tárgyalat hajó és a módszer "parent modell"-jének B/T aránya nem e.
Slender Body	igen	A tárgyalat hajó és a módszer által megkövetelt szimmetria és karcsúság

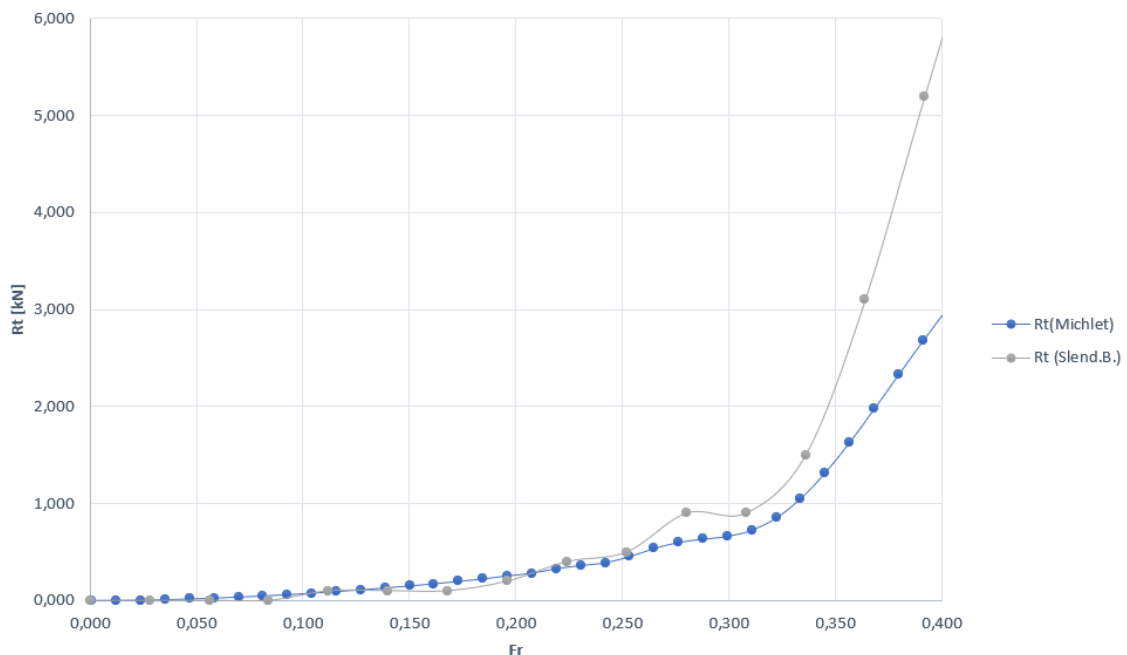
5. ábra: Ellenállás számító módszer kiválasztásának összefoglalása

fenntartásokkal kezeljük, mert a B/T arány a mérésekkor használt modellekénél alacsonyabb, az L/B arány pedig elvileg még éppen csak megfelelő, ámbar van Oortmersen a gyakorlatban sokkal kisebb L/B arányokkal rendelkező hajók ellenállás számítására való a módszer (egyszerűbben fogalmazva a dolgozatban tárgyalat modell egyszerűen túl karcsú a van Oortmersen módszernek). Ráadásul ezen módszer során többségében 15-75 m hosszú hajómodellekkel mértek [1], az 50-es cirkáló pedig kívül esik ezen az intervallumon. A módszerek célja minden esetben a vízkiszorítás tömegegységére vonatkoztatott teljes ellenállás meghatározása, így fontos, hogy a vonatkozó módszer megfelelő legyen a hajó alakja szempontjából is, ebben a tekintetben viszont a van Oortmersen-féle számítás teljesen megfelelne. Ennek ellenére az eltérő karcsúság miatt nem ezzel a módszerrel született az eredmény. A program analitikai módszerrel is képes számolni, ez a Slender Body elméleten alapszik. Ennek alkalmazási köre a szimmetrikus, kacsú hajók, ebbe tökéletesen beleillik a tárgyalat modell is. A Slender Body módszer az adott felület által generált szabadfelszíni hullámmintában lévő energiát számtja 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 [19]. A légellenállást elhanyagolja. A további ellenállás-komponensek közül a hullámváz 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 eredmények a 5. ábrán láthatóak. A függőleges tengelyen a teljes

ellenállás látható (kN), a vízszintes tengelyen a Froude szám szerepel (ami a sebesség függvénye, ahogy az (1) összefüggés is mutatja).

$$(1) \quad Fr = \frac{u}{\sqrt{L * g}}$$

A slender body módszerrel kapott eredmény esetében vissza kell utalni, hogy, bár az eredményül kapott ellenállás-sebesség értékpárok első ránézésre reálisak voltak, az örvénypanel-módszer (amit a Slender Body metódus használ), a tapasztalatok szerint esetenként (főleg magasabb Froude-számoknál) túlbecsüli a hullámmellenállás nagyságát. Ez első ránézésre sejthető a 0,28-as Froude-számnál lévő kisebb kiemelkedésből. Ennél az értéknél a hajóorrban hullámhegy, a farban pedig hullámvölgy keletkezik. Ez az ellenállásban lokális maximumot eredményez, a magasabb érték ennek tulajdonítható. A pontosság kedvéért egy másik módszert is használni kellett az ellenállásszámításhoz, mely -mivel láthatóan egyik modellkísérleteken alapuló módszer sem felel meg a vizsgált hajó ellenállás becslésére-nem a Maxsurf Resistance programon belül keresendő. Erre a Michlet nevű szoftvert választottam. A program eredményeit vizsgálva, majd táblázatba exportálva az eredményt a 6. ábra mutatja (kék jellel rajzolva a Michlet eredményeit). Az ellenállás számításakor használt modell adatait az 1. ábrához képest a súlypont helyzetével



6. ábra: Teljes ellenállás a Froude-szám függvényében (Michlet program eredményeivel kiegészítve)

szükséges kiegészíteni. A 7. ábrán táblázatosan nem csak az eredeti, hanem az átépítés utáni súlyponthelyzet is szerepel (ennek az új súlypontnak a számítása a 6. fejezetben kerül részletezésre).

Súlypont helyzete [m]*		
	Átépítés előtt	Átépítés után
X_G	6,588	6,569
Y_G	1,104	1,112
*milliméterre kerekítve		
Hajó tömege [kg]**		
m	6640	6923
**kilogrammmra kerekítve		

7. ábra: Súlypont és hajótömeg összefoglalás

3.4. Az ellenállás-görbék eltérésének lehetséges okai

A numerikus módszerekkel számoló Michlet a hullámellenállást a Michlet- integrál numerikus megoldásával számítja, mely pontosabban közelíti a valós hullámellenállást, mint a Maxsurf Resistance Slender Body módszere. Megfigyelhető, hogy a 0,28-as Froude-számnál a „felugrás” ugyanúgy megvan a Michlet-adta görbén is, csak sokkal kevésbé „ugrik ki” az adatsorból, mint a Slender Body módszerrel generált görbénél. A hajó hosszából adódóan körülbelül 0,4-es Froude-számig érdemes vizsgálni az intervallumot, hozzávetőleg ez a vízkiszorításos üzemmód határa a hajónál. A motoros üzem nagy részében azonban a gyakorlatban a hajót nem fogják 0,3-as Froude-szám felett használni. A $Fr=[0;0,252]$ intervallumban az értékek közti eltérés nem nagy, az $Fr=[0,252;0,3]$ intervallumban a hullámellenállás túlbecsültsége miatt a Slender Body módszer részéről az eltérés 0,28 kN. Összegezve a tapasztaltakat a továbbiakban a Michlet program eredményei kerülnek beszámításra, figyelembe véve, hogy az alternatív módszernél ez pontosabban veszi számításba a hullámellenállás nagyságát.

4. Hajtásrendszer átépítése

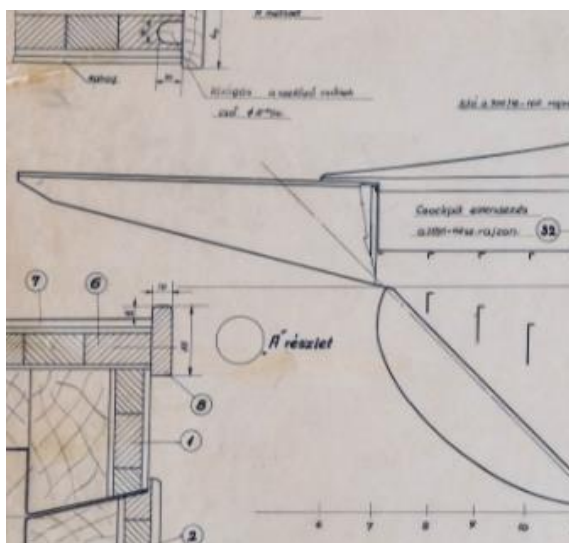
4.1. Korábbi diesel motorhoz hasonló teljesítményű elektromos motorok lehetséges változatai

Lehetséges alternatívája lehet a régebbi VETUS motornak a Bellmarine által gyártott 15 kW teljesítményű léghűtéses motor [8]. Ennek a verzióknak előnye lenne, hogy a motort

egy komplett rendszerként értékesítik, így a külön alkatrészek megrendelésének lépéseit megtakaríthatjuk. Hátránya az ára, mely némileg meghaladja még egy újonnan vásárolt TEMA motorét (mely a vevő rendelkezésére áll) is. A Combi által gyártott, teljesítményben szintén megegyező modell előnye a kompakt kivitelezés, hátránya viszont, hogy az a motor, ami elegendő teljesítmény leadására képes a szállítási feladat elvégzéséhez, csak folyadékhűtéses kivitelben kapható. Az ELCO az itt felsoroltak közül a legnagyobb múlttal rendelkező csónakmotort gyártó vállalat, így biztató lehet a területen szerzett mérnöki tapasztalat a gyártmányaikkal, azonban az Egyesült Államokból való szállítás sokszor költséges és bizonytalan határidejű. Utóbbi hátrányt hordozza magában az Electric Yacht 12kW-os modellje is. Közelebbi beszállító a lengyel E-Tech vállalat, vagy az osztrák Piktronik, azonban a megfelelő teljesítménnyel rendelkező motor ezeknél a gyártóknál is vízhűtéses. Ugyanezen hátránnyal rendelkezik a Krautler forgalmazta motor is, emellett ennek előnye a nagyon részletes működési és szerelési dokumentáció (mely a vásárlók rendelkezésére áll). A német Fisher Panda kiemelkedő vevő-támogató rendszerrel, egy motor-elhelyező mintákkal segíti a lehetséges elhelyezések közül való választást, emellett ez a gyártó is komplett rendszereket forgalmaz. Jelen esetben itt is hátrány a vízhűtéses megoldás. A Green Star motor választásának előnye, hogy a tápegységeket is mellékelné a gyártó, sőt, weblapjukon közelítő számításokat is tudunk végezni adott hajóméret mellett a megrendelni kívánt akkumulátorcsomag-motor kombinációk futási idejére vonatkozóan. 12kW-os terméket forgalmaz a TEMA is, ennek előnyei a léghűtés, a megfelelő tömeg (73kg, míg a diesel motor 107 kg volt) és fordulatszám (nem haladja meg az előzőleg beépített motorét). Hátránya, hogy nem kapni ilyen motorral komplett rendszert, így az egyéb alkatrészeket a tervezőnek kell méretezni, a vevőnek pedig külön megrendelni. Ugyanígy léghűtéses modellek még a Thoosa motorok, ezeknek a TEMA-hoz hasonlóan alacsonyabb a fordulatszámuk az előzőleg hajtásláncban működő VETUS motorénál és kaphatóak 12kW névleges teljesítménnyel. Elektromos, kedvtelési hajózás számára gyárt még vízhűtéses motorokat a Torqeedo és a WaterWorld, de ezek szintén a hűtésük jellege miatt nem preferáltak, ráadásul a drágább kivitelek közé sorolhatók.

4.2. Hajtáslánc átépítés

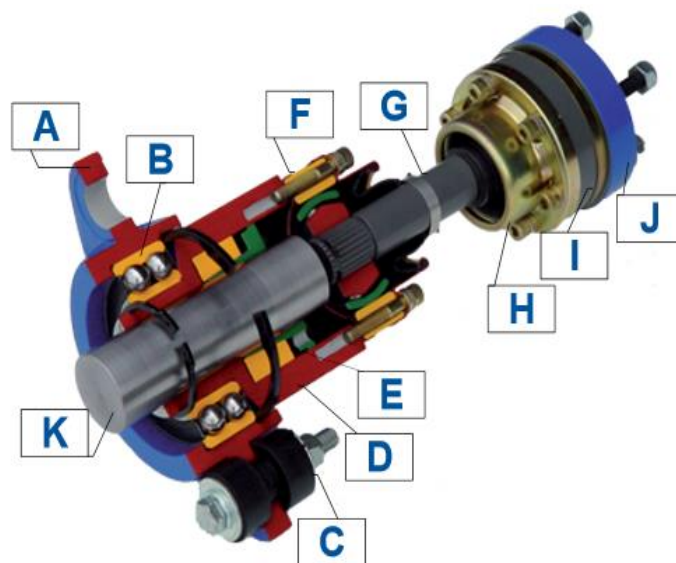
A TEMA horvát vállalat által hajózási használatra gyártott („marine”) motorjai akkumulátorról és generátorról is üzemeltethetőek. Jelenleg ötféle méretben kaphatóak motorok, ebből az kerül a hajóba, amelyik a leginkább közel áll teljesítményben a régebbi motorhoz (VETUS M2.18). Ezért a 12kW teljesítményű SPM 132-1 modellel megfelelő (fordulatszáma 1800 RPM, azaz 30 1/s). Emellett a vezérléshez szükséges alkatrészeket (kontroller, kijelző, gázkar, vezetékezés) komplett rendszerként a motor mellé adja a gyáró. Ez azért pozitív fejlemény, mert ennek összeszerelése és megtervezése különálló, összetett villamosmérnöki feladat, ebben az esetben viszont ezzel nem kell külső szakembert megbízni. Ez lényegesen meggyorsítja tehát a munkát. A motor melletti döntést legjobban az indokolná, hogy a névleges teljesítmény egyezése mellett, ahogy az 1. ábra adattáblájával való összevetésből is kiderül, sem a fordulatszáma, sem a nyomatéka nem haladja meg az előző VETUS motorét, így a hajócsavartengely, tolócsapágy szerkezeti bekötésén nem kell ebből az okból változtatni, ezzel az egyik legköltséghatékonyabb megoldásnak ígérkezik. A TEMA motoroknak hátrányuk, hogy viszonylag nehezek, a 12 kW teljesítményű modell 73 kg. A fenti motor beépítésének lehetősége erősen függ a felmérésen megállapított berendezésbeli változásoktól, a javítások okozta tömegváltozástól (pl. mennyi fémet használtunk fel az elvékonyodott lemez javítására), azaz végsősoron a súlypont helyzetétől. Amennyiben például azt tapasztaljuk, hogy a hajtásláncot közvetlenül nem érintő átalakítások után a súlypont



8. ábra: Hajó farrésze, a motor beépítésének helye metszetben

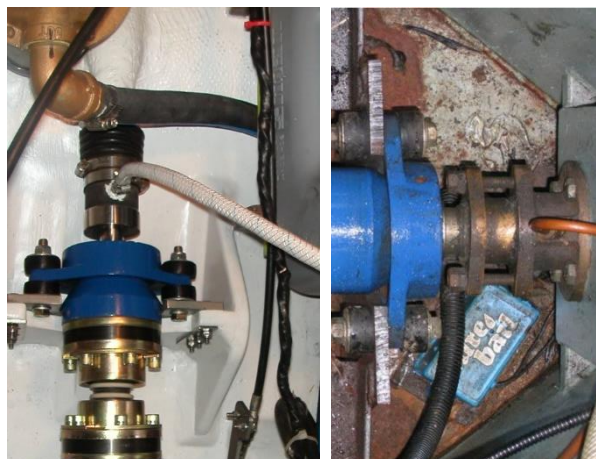
vertikális irányban olyan alacsonyan van, hogy a nehezebb motorral a megengedett 1,7-1,8m merülésnél nagyobb értéket kapunk, úgy ezt a motort nem tudjuk beépíteni, mindenképpen könnyebbet kell keresni. Amiatt viszont, hogy azonos teljesítmény mellett sem nyomaték, sem fordulatszám terén nem múlja felül az átépítés előtti motort, így emiatt sem a tönkcső, a propeller és a tolócsapágy szerkezeti bekötésén nem szükséges változtatni, ennek a motornak a beépítésével egyúttal az egyik legköltséghatékonyabb megoldást is választjuk.

A TEMA motor szabványos, reteszpályás tengelyvége és a hajócsavar tengely között a gyártási pontatlanság, illetve üzem közben a hajótest deformációja miatt (pl.: hullámvágnál) egytengelyűségi-, valamint szöghiba lép fel. A hibák miatt rezgés és másodlagos feszültségek ébrednek a hajtásláncban, ami zajos hajtást, a csapágyélettartam csökkenését, rosszabb esetben idő előtti anyagkifáradást okozhat. Ezek elkerülésére a Python Drive homokkinetikus tengelykapcsoló alkalmas, ami a hajócsavar tengely és a motortengely közötti egytengelyűségi és szöghibákat (akár 8°-ig) szögsebesség-változás nélkül kiküszöböli. Ebben az esetben a fordulatszám és a nyomaték nagyságából a PythonDrive P30-R modell szükséges (alkalmazhatósági határai: 294 Nm és 3000 RPM). A 9. ábrán lévő metszetben a 'K' jelű tengely a hajócsavartengely, a 'G' egy köztes tengelyelem, mögötte pedig a motor kihajtó tengelye van bekötve. Az 'A' jelű ház menet közben nem fordul el, ezen keresztül rögzítjük a rendszert a vázhoz. Ehhez az 'F' jelű csavarokkal csatlakozik egy rugalmas anyaggal kitöltött szelence (egyfajta gumiharang),



9. ábra: Python Drive tengelykapcsoló
(forrás: [9])

melyben egy ívelt ház van (zöld, íves elem). Ebben a házban a bordás ágyazásba körben elhelyezett csapágygolyók mentén a tengely egy bizonyos határszögig el tud billenni. A gumiharangot a 'G' tengelyen lévő szorítógyűrű rögzíti. A tengelyek közti szögeltérés terén a Python Drive az átlagos kardáncsatlakozásnál nagyobb szögeket enged, ez a gyártó leírása szerint CV ('constant velocity') jelölésű termékeknél ez az érték 4500 RPN (75 1/s) fordulatszám 8 fok [9]. A Python Drive másik gyakorlati



10. ábra: Példák a vékony lemezekhez való csatlakoztatásra

(forrás:

<https://www.cruisersforum.com/forums/f114/cv-driveshaft-experience-70411.html>,

<https://www.canalworld.net/forums/index.php?/topic/17664-python-drives/>))

előnye, hogy a hajócsavar csatlakozási pontjánál van benne egy tolócsapágó, amely gumialátéteken (7. ábra 'C') keresztül adja át a tolóerőt a hajótestben létrehozott tolócsapágó alapnak (lásd 10. ábra példái). A hajóban a korábbi hajtásrendszer a diesel motor hajtóművébe épített tolócsapágó miatt a motoralapon keresztül adta át a tolóerőt, így a Python Drive beépítése miatt szükségessé válik a korábban csak merevítő szerepet játszó, most tolócsapágó alapként szolgáló hajótest szerkezet rész megerősítése. Üzemelő hajókon való hasonlómegoldásokra mutat példát a 10. ábra. A tengelykapcsoló mellé rendelni kell a gyártótól egy kontakt elemet az új motor kihajtó tengelyvégehez. Ez azért szükséges, mert a motor oldali csatlakozó rész a diesel motoroknál szokásosos tárcsás tengelyvég. A TEMA motor tengelyvége ISO szabvány szerinti, emiatt szükséges közé és a Python Drive közé egy tárcsás tengelykapcsoló, azaz egy kontakt elem. A homokinetikus tengelykapcsoló egyik nagy előnye, hogy a rezgéseket jól bírja, így biztonságosabbá teszi a rendszert. Ahogy már korábban felmerült, a TEMA motorjainak mindegyike méretében kisebb, mint az átalakítás előtt beszerelt VETUS motor, ezért megvan az a szabadságunk, hogy a meglévő motoralapon vízszintes irányban elmozgassuk, sőt, függőlegesen lefelé is süllyesszük a motoralap szögvasai között. Ez egyrészt a súlypont hosszirányú és függőleges irányú koordinátájának változtatására ad lehetőséget a tervezőnek (amennyiben erre szükség van), másrészt a far fele való

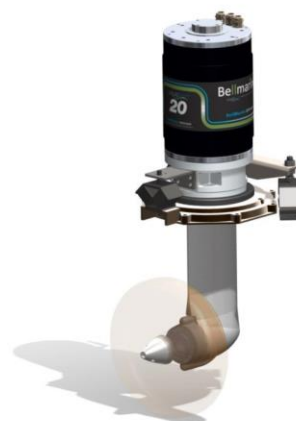


11. ábra: Speciális alátét
(forrás: [20])

elmozgatással alkalmunk lesz rövidebb tengelyt használni, ezzel csökkentve mind a hajtáslánc tömegét, mind pedig a rezgéseket, ezzel együtt pedig a hajótest farrészének lemezelésére ható terhelést. Mivel nem ugyanoda rögzítjük a motoralapon a motort, a lefektetett szögvasakon átfúrt furatok mellé újabbakat fogunk létrehozni, ami szerkezetileg gyengíti a motoralapot. Egy egyszerű, háromfuratos csavaralátéten keresztül való rögzítés azt jelentené, hogy egy csavar rögzíti a motoralaphoz a motorhoz kapcsolt 'L' idomot, kettő pedig két oldalt az alátétet a motoralaphoz (2. és 3. melléklet). Ez mind a négy rögzítési pontban 3 furatot jelent. Ebből négyet nem kell kifúrni, ha speciális, rugalmas alátéteket használunk (11. ábra). Ennél a megoldásnál az alátéteket rögzítő csavarfuratok mennek csak át a motoralapon, a köztük lévő csavar a gumi betétbe fut, ezutóbbi miatt a gumi alátétek is elhagyhatóak (pontosbban integráltak az alátétbe). A hajtáslánc másik végén a kivágott ablak miatt a csavar helye (pár centiméter mozgástértől eltekintve) fix, így ennél a megoldásnál (mivel az új motor áshol lesz, mit az előző) a motor és csavar közötti tengelyből valószínűleg nem lehet megtartani a régit, más hosszúságúra lesz szükség. Csökkenti a költségeket, hogy a választott homokinetikus tengelykapcsoló tengely felőli oldalán nincs szükség bordára vagy horonyra, enélkül is megfogja a tengelykapcsoló a tengelyvéget. Így ezek kimarásának költségeit az új tengelyen megtakarítjuk. Ha a tengely átmérője változik, új tömszelence és tönkcső is kelleni fog, ezért célszerűen olyan hajócsavar-tengelyt kell rendelni, ami átmérőre az előzővel egyezik (24mm). A tönkcső és a hajótest lemezének kapcsolatát egy behegeszthető kontakt gyűrű biztosítja, melynek beszerzése szintén szükséges. A most melévő tönkcsövet is meg lehet tartani, annak ellenére, hogy a VETUS motorját lecseréljük, ugyanezen gyártó tönkcsőve még beépíthető. A hajócsavar kiválasztása külön, a „propulziós számítások” pontban kerül részletezésre. A későbbi számítás a Wageningen B sorozat formáját veszi alapul, erre a formára a VETUS gyártó hajócsavarjai hasonlítanak, de pontos információt ezek formájáról nem szolgáltat a gyártó. A hasonlóság miatt azonban feltételezhetjük, hogy a

Wageningen B formára elvégzett számítások nagy pontossággal közelítik a Vetus által gyártott hajócsavarra vonatkozó értékeket.

A 4. fejezet elején részletesen kitértem már rá, hogy a hagyományos egyes kihajtás szerkezeti kötöttségek (és anyagi korlátok) miatt nem változhat meg a tervezés során. A mai újíptású vitorlások esetében elterjedt a sail-drive hajtás, mely



12. ábra: Sail Drive hajtás

(forrás:

<https://www.bellmarine.tech/en/products/sailmaster/>)

a tervező szempontjából azért is praktikus, mert a kompakt rendszer, a gyártók motort, hajtóművet és egyéb szükséges elemeket mind mellékelnek, a rendszert „csak” fel kell erősíteni a hajóra. Ez a megoldás a long-kieles hajó esetében nagyon komoly szerkezeti átalakításokkal járna (értelmezést segíti a 8.ábra a beépítés helyéről). Az egyenes kihajts kapcsán az előnyök és hátrányok ismertetése jelen esetben ezért nem amiatt történik, hogy egy lehetséges alternatívával összehasonlítsuk a megoldást, hanem azért, hogy a felhasználó ismerje, mire kell számítnia a későbbi használat során, és miben különbözik a rendszer üzeme, karbantartása például a - ma már kedvtelési hajózási oktatásban többségében kezelni tanult- „sail-drive” megoldással készült járművekhez képest. Általánosan elmondható, hogy az egyenes kihajtás egy olcsóbb megoldás, amit régebb óta használnak vitorlás hajókon, általánosságban több vele kapcsolatban mind a felhasználói, mind a karbantartói tapasztalat [1]. Külön előnye a hagyományos kihajtásnak, hogy a hajócsavar nagyon közel van a kormányhoz, így sokkal kedvezőbb a manőverezési képessége a hajónak. Ebben a konkrét esetben ez a közelség hatványozottan megvalósul, hiszen a csavar gyakorlatilag „benne van” a kormánylapát lemezében. Hátrányos tulajdonság, hogy a hagyományos kihajtás esetében a tömegeloszlás semmiképpen sem optimális. Jelen esetben a motor a 12-es és 11-es borda között lesz elhelyezve, ami hosszirányban messze van a súlyponttól (viszonyításként: a hajó középső bordája a 17. borda, a bordák közötti távolság pedig 380 mm). Az orrban semmi sem ellensúlyoz egy ekkora tömeget, a súlypont hosszirányú koordinátája biztosan

Átépitett hajtáslánc elemei				
Alkatrész	Cseréje szükséges	Rendelendő alkatrész neve	Gyártója	Tömege
Motor	igen	TEMA SPM 132-1	TEMA P.S.	73 kg
Kontakt elem	igen	/Egyedileg készült/	PythonDrive	0,3 kg
Tengelykapcsoló	igen	PythonDrive P30-R (CV)	PythonDrive	0,45 kg
Hajócsavar tengely	igen	/Egyedileg készült/	Sandvik	1,8 kg
Tönkcső	nem	VETUS BL25	VETUS	1,2 kg
Kontakt gyűrű	igen	/Egyedileg készült/	VETUS	
Alátétek	igen	Metavulk PLO	Metavulk	
Hajócsavar	igen	VETUS P3B12X9R	VETUS	1,2 kg

13. ábra: Átépitett hajtáslánc elemei

csökkenni fog (zéruspont: hátsó függélyen). Azt is meg lehet állapítani, hogy a kialakításból adódóan a kihajtás vonala nem lesz párhuzamos a vízvonallal, ami rontja a hajtásrendszer hatásfokát. Emellett meg kell említeni, hogy a tömszelence jelenléte külön felhasználói figyelmet követel, annak rendszeres karbantartása elengedhetetlen az elárasztódás elleni védekezés során. A motor és a hajócsavar a korszerűbb hajtásrendszerekhez képest távolabb van egymástól, ezért a tengely hosszából adódóan jelentős mértékűek a rezgések (ezek kompenzálására szolgál az alátétekbe helyezett gumibetét). Emellett a csapágyazás beépítésére is külön gondot kell fordítani, a csapágyak állapotát pedig a tulajdonosnak rendszeresen ellenőriznie kell.

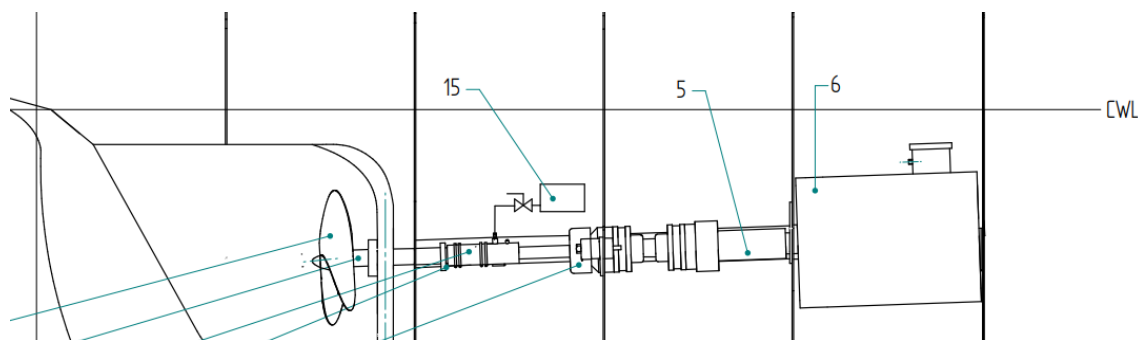
4.3. Alternatív javaslat

A fenti megoldás a TEMA motorral hordozza magában a különböző gyártóktól származó rendszer elemekből összeépített rendszerek hátrányait. A vállalat az átkötő elemen és a vezérlésen kívül nem biztosít egyéb kompatibilis elemeket, láthattuk hogy a homokinetikus tengelykapcsolót, a tengelyt és a többi elemet más gyártótól, különféle helyekről rendeljük meg. Ez a módszer elméletben valóban jól működik, gyakorlati tapasztalat azonban, hogy minél több elemből áll össze a hajtáslánc, annál nagyobb a hibalehetőség, kezdve a postázási problémáktól a pontatlan megmunkáláson át a vevői kiválasztási hibáig. Az alkatrészek egymástól gyakran több száz kilométerre készülnek (pl. a Magyarországon gyártott tengely és a horvát motor), a munkát lassítja, hogy egyesével ki kell várni a postázást, utóbbinak azért is van jelentősége, mert a kész hajóátépítés teljes dokumentációjának leadásának és a kész alkatrészek mellékelésének határideje decemberben lejár, innen a hitelesítési eljárás indul, ami ha elhúzódik, a tavaszi szezonig nem lesz készen a jármű a vízrebocsátásra. Ezt a meglehetősen szűk határidőt

lerövidítendő alternatív javaslat, hogy a tengelyrendszer elemeinek összeválogatása helyett rendelhető komplett rendszer is. Ámbár ez várakozások szerint költségesebb, megfontolandó, hogy a darabok megérkeztéig való dokkban várakozás költségeivel szemben nem-e gazdaságosabb ez a megoldás. Ilyen tengelyrendszert például a Bellmarine nevű cég [10] ajánl. Víz-és léghűtéses kivitelben is elérhetőek a motorok, melyek tömege 15 és 185 kg közötti skálán mozog. Elérhető kiegészítői motorainak a rögzítő konzol, a tolócsapágy (és választott tengely hosszától függően egyéb csapágyak), vezérléshez szükséges eszközök (pl. inverter), kapcsolók, kábelek a kijelzőkhöz, vezérlő kar, hűtőkészlet, tengelykapcsoló, tengely és propeller is. Utóbbiról természetesen (mint ahogy a rendszer bármely eleméről) dönthetünk úgy, hogy nem kérjük, másikat szeretnénk, így igazodva a hajó méreteihez, alakjához, stb. Teljesítmény szempontjából érdekes adat, hogy, míg a TEMA motor 73 kg tömegű modellje 12kW teljesítményt ad le, addig a Bellmarine 55 kg-os motorja 15kW-ot, tehát utóbbi kisebb tömeg mellett nagyobb teljesítmény leadására képes. Ennek a motornak a fordulatszáma is alacsonyabb, mint a VETUS motoré, így az ebből következő fenti előnyök itt is megvalósulnak. Ennek ismeretében lehetséges kedvező opció, hogy egy Bellmarine márkájú komplett rendszer kerüljön a hajóba. A megrendelő választása paraméterek ismeretében (határidő, ár, biztonság, egyszerűség, stb.) a TEMA motorra esett, így a számítás ezen a vonalon folytatódik tovább, illetve ehhez a motorhoz kerülnek megrendelésre az új alkatrészek. Összefoglalásként a 13.ábra mutatja az alkatrészek listáját, a 14. ábrán pedig a 5.mellékletben szereplő összeállítási rajz vonatkozó részlete látható.

4.4. Motoralap, kivezetés

A TEMA motorjainak kivitelezése alapvetően nem arra az esetre van tervezve, hogy egy meglévő vízszintes alapra rögzítsék, általában a rövidebbik oldala mentén, a négyzet



14. ábra: Átépített hajtáslánc tervrajza

alapú előlap szolgál csatlakozási célra. Ennek ellenére a speciális kivitelezési módokra felkészülve az oldalsó, hosszabb fedőlemezeken furatok vannak, és a belső kialakítás is olyan, hogy a szabványos csavarhosszok (a szilárdságilag ésszerű korlátok között) behajthatók legyenek, nem károsítva a motor szerkezetét. A motoralaphoz való rögzítés a vevő általi panaszok miatt (a hajó farrészében enyhe rázó érzet) egyébként is átalakításra szorul, erre jó alkalom az elektromos motor beillesztése. A beszerelés a peremes felfogatáshoz hasonló, azzal a különbséggel, hogy a motoron önmagában nincs perem, ezt átkötő elemekkel és csavarozással kell helyettesíteni. Perem hiányában egy, az alaphoz csavarozott és a motoron lévő alátétekhez hegesztett „L” idommal oldjuk meg az átkötést. A rendszer végeselemes vizsgálata elvégezhető, várhatóan a szilárdságilag legjobban terhelt területek azok a csavarok lesznek, melyek a „L” idomokhoz és azon keresztül a motoralapot adó „L” profilú fektetett és bordákhoz hegesztett motorlaplemezen mennek át. Ennek a feltételezésnek a magyarázata, hogy az alap 2 fokot dől a far felé, így a motor nehézségi erejének van a csavart nyíró erőkomponense is. A vizsgálat azonban ezért nem feltétlenül szükséges, mert hasonló megoldással egy, a TEMA modellnél nehezebb motort is sikerült deformáció nélkül megtartania az alapnak, azonos méretű csavarokkal. A tönkcső beépítése, bár nem szorult átdolgozásra, külön rajzot igényel (4. melléklet), mert a hajtáslánc átépítésekor a tönkcső kifutásának pozíciója nagyon fontos információ, hiszen beépítéskor ehhez pozícionáljuk a motort. A felmérés és a képi elemzés során kiderült, hogy az ablak csak akkor lehetséges ilyen méretben, ha a tengelykilépés már a kilencedik borda után megtörténik. Ezt úgy valósították meg egy régebbi, házi átalakításnál, hogyakormánylap mellett a hajótestbe, majd a nyolcas számú bordába metszettek. Az így keletkezett hézagon ahelyett, hogy a hajó oldallemezeit összekalapálták és összehegesztették volna, a két oldallemez közé, azokra közelmerőlegesen egy újabb lemezt hegesztettek, a csőgerincet pedig felhajtották. Ez azért volt szükséges, mert így nem egy hegesztési varraton keresztül lép ki a hajóból a tönkcső, ami szilárdsági vizsgálatok szempontjából pozitív fejlemény. Emellett a tönkcsövet kívülről támasztó lemez így nem íves, hanem sík felületre fekszik fel, ami pedig kivitelezés szempontjából jó kiindulás. A későbbi gyakorlati kivitelezéshez és az esetleges majdani javításokhoz három rajzi dokumentum kell, egy oldalnézeti elrendezési rajz (tételjegyzékkel, befoglaló méretekkel)(5.melléklet), egy nagyított ábra a tönkcső beépítésről (4.melléklet) (hegesztések helye és a bordákhoz való pozícionálás könnyebb

feltárásához), illetve egy felfüggesztési nagyítás (közvetlenül a beszereléshez, itt a tételeket nem ismételjük, ezek a rajzszámozás folytatólagosságából következnek)(2. és 3. melléklet).

5. Hatótáv becslés

5.1. A segédhajtással megvalósítandó szállítási feladat

A hajó hajtásának áttervezése amiatt vált szükségessé, mert a tulajdonos a nyári használat folyamán rendszeresen közlekedne a Balatonon keresztül a Balatonföldvár-Balatonfüred távolságon. Ez a vitrolázható utat mérve körülbelül 10km hosszú távot jelent. A hagyományos belsőégésű motorokkal jelenleg a tavon általános esetben tilos a közlekedés [7], kivételt képez ezalól a sürgősségi eset (pl. orvosi ellátás), a kikötőből való ki-és behajózás (a kikötő 300m-es környezetében használható), vagy a viharjelzésben uralkodó teljes szélcsend. A kedvtelési célú vitorlással való ingajarat üdülési céllal nem tartozik egyik kivételes eset tárgykörébe sem. Az tisztán elektromos hajtás a benzines és diesel motorokra vonatkozó tilalmakat nem vonja magára, emiatt jó választás a megrendelő részére. Mivel a hajtásban nem használunk egyéb, belsőégésű berendezést (és a hajón sehol máshol sem), így a vizsgán várhatóan megfelel a hajó, és a vevő elektromos segédhajtású járműként bárhol, bármikor beindíthatja a Balatonon a motort.

5.2. Az elektromos segédhajtás paraméterei

A meghajtásra egy 12kW teljesítményű TEMA gyártmányú motor szolgál. A meghajtáshoz szükséges akkumulátorok kiválasztása is feladatom volt. A berendezések típusát tekintve a választás a LiFeYPO4 lítium-vas-foszfát akkumulátortípusra [6] esett. A választást legerősebben az indokolta, hogy az akkumulátorok között adott kapacitás mellett az egyik legalacsonyabb tömeggel rendelkeznek. Ez a szempont a fent tárgyalt súlyponthelyezetre való fokozott odafigyelésből adódik. A másik oka a kiválasztásnak a vevői igény, miszerint gyorsan szeretnék feltölteni az újraindulás előtt az akkumulátorokat, ezt a típusú akkumulátort pedig nagyobb árammal és magasabb hatásfokkal tudjuk tölteni, mint például az ólommal vagy nikkellel üzemelő berendezéseket. Az akkumulátor kapacitását ezen belül geometriai és súlyszámítási okok korlátozzák. Mivel ezek a berendezések viszonylag nehezek a többi teher-elemhez

képest, a stabilitás miatt fontos az elhelyezésük koordinátája. Tervszeint a pakkokat - amennyit csak lehetséges a szükséges mennyiségből- a padló alatti bordatalp lemezek közé, a tőkesúly fölé tennénk. Ennek a térnek az íves alakja miatt nem fér be adott kapacitáshoz bármilyen oldalarányú akkumulátor. A modellezés folyamán végigpróbálva a Winston akkumulátor modelleket a 400 Ah változat volt a legnagyobb kapacitású, amely még befért a bordatalpak közé (elforgatva), de ha a meghajtáshoz szükséges kapacitást szolgáltató akkumulátorokat teljes egészében a padló alá szeretnénk betenni, azt csak a 160 Ah egységekkel megoldható. A kettő közötti választás nem közvetlenül hatótáv becslés kérdésköre, hanem súlysámításbeli probléma (hiszen ugyanakkora kapacitást helyezünk el, csak kétféle elrendezésben), így a választás menete a *Súlysámítás* fejezetben kerül kifejtésre.

Bár a hajón több elektromos fogyasztó is beépítésre került, ezek összfogyasztása a hajtás energiaigényéhez viszonyítva kicsinek mondható. El kell dönteni, hogy azokat az eszközöket, melyek nem a hajtás feladatában vesznek részt (pl. navigációs fények, televízió, stb.), a motort kiszolgáló akkumulátorokról táplálja, vagy külön rendszerben kerüljenek beépítésre, saját, szeparált akkumulátorcsomaggal. A javaslatom az utóbbi volt. Egyrészt biztonsági okokból, így véletlenül sem áll elő az a helyzet, hogy éjszakai menetben lemerül a hajón lévő akkumulátor-csomag, a haladás pedig vészüzemi haladásként folytatódik, hiszen a vitrlázáshoz is az akkumulátorokról táplált vészvilágítás lenne szabályos. Vészüzemben a Balatonon ezért a legközelebbi kikötőig szabadna csak hajózni. Másrészt, mivel a hajtásrendszer energiaigénye a hajó élettartama során nem fog változni, további fogyasztók még bekerülhetnek, adott esetben túlnőve azon az energiaigényen, amihez a mostani tervezéskor az akkumulátorokat beépítettük. Amennyiben a motor akkumulátoraitól külön, jól hozzáférhető helyre tesszük ezeket, később újabb kapacitáss beépítésére is lehetősége lesz a tulajdonosnak. Ez a hozzáférhető hely a lépcső mögötti padlóalj (12-13-as bordák köze), tervek szerint a fogyasztók akkumulátorai ide kerülnének. Ez a terület távol esik a hajtás akumulatoraitól, melyek a 15-21 bordák között helyezkednek el. Ha ezeket a fogyasztói akkumulátorokat rá is tudnánk kötni a hajtást kiszolgáló energiaforrásokra (megtartva ezzel a könnyű hozzáférhetőséget), a vezetékek feleslegesen hosszúak lennének, ennek főleg hőágulási és veszteségbeli hátrányai lennének. Ráadásul ezeket a vezetékeket egy tervezett ivóvíz (13-14 bordaköz), és egy szennyvíz (14-15 bordaköz) tankon kellene átvezetni, ami több

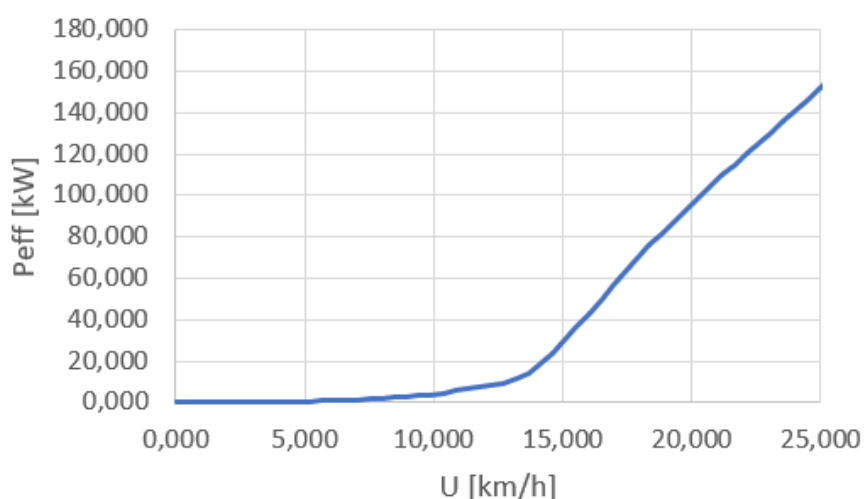
munkaóra és biztonságtechnikai szempontból kockázatos is. Utóbbi érvek figyelembevételével a megrendelő a külön elektromos rendszer mellett döntött.

5.3. A szállítási feladathoz tartozó szolgálati sebesség meghatározása

A Michlet program sebesség-ellenállás erő párhajzai ismertek. Az ellenálláserő és a haladási sebesség szorzataként előáll egy effektív teljesítmény érték.

$$(2) \quad P_{eff} = u * R_t$$

Az effektív teljesítmény-sebesség párokat ábrázolva adódik a 15. ábrán látható diagram.

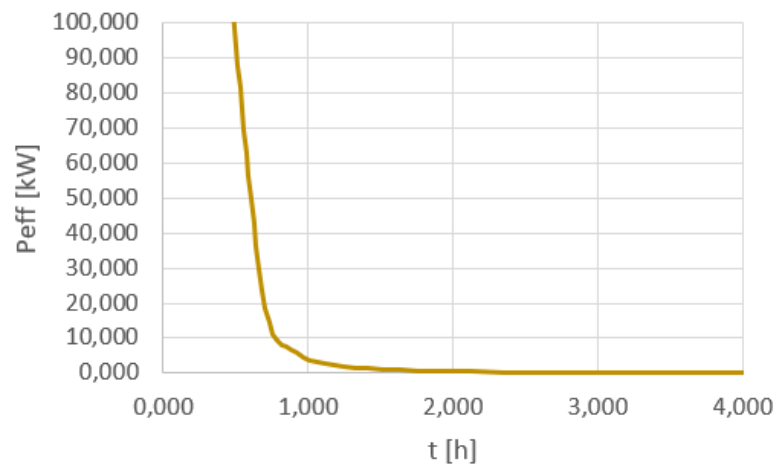


15. ábra: Effektív teljesítmény-sebesség diagram

Az idő értékei ebben az esetben – mivel kiindító elvárás egy 10 km hosszú út megtétele – a sebesség értékeiből származtathatóak.

$$(3) \quad t = \frac{10 \frac{km}{h}}{u}$$

Az effektív teljesítmény függvényét időben ábrázolva azt lehet vizsgálni, hogy ha egy adott időtartam alatt meg akarnánk tenni a 10 km-es utat (felfelé kerekítve a kikötői manőverezés miatt), akkor mekkora teljesítményt kell leadnia a motornak.

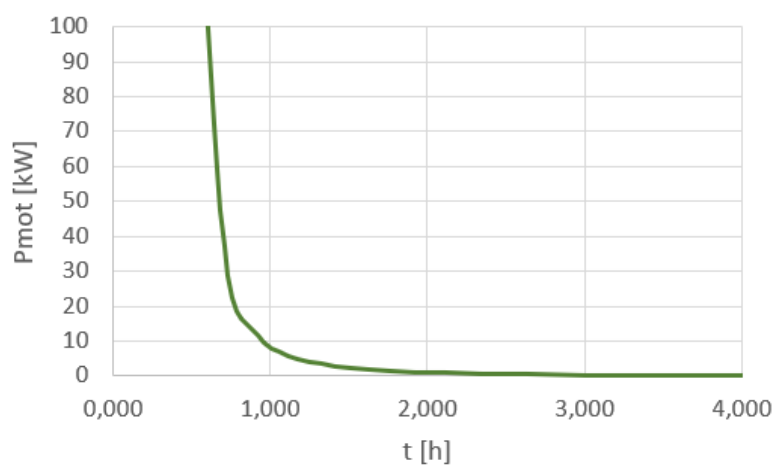


16. ábra: Effektív teljesítmény-idő diagram

Általános, tapasztalati értéként feltételezhető, hogy a propulziós hatásfok 50%. Ekkor a motorteljesítmény és az effektív teljesítmény összefüggése:

$$(4) \quad P_{MOT} = \frac{P_{eff}}{0,5}$$

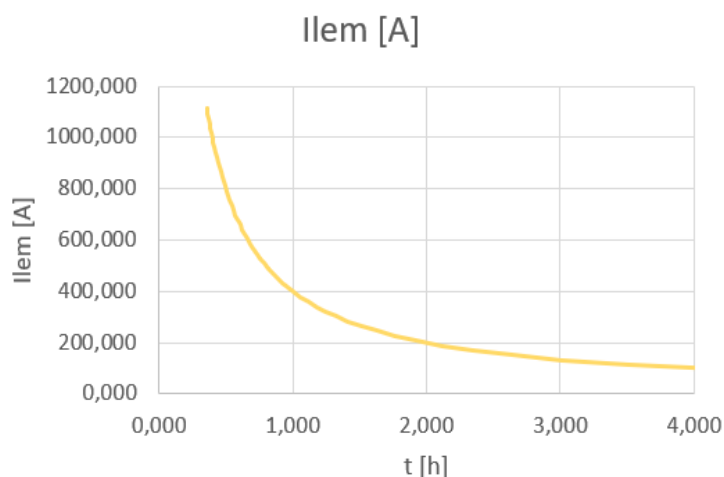
Ezzel az összefüggéssel a leadandó motorteljesítmény az utazási idő függvényében ábrázolható.



17. ábra: Motorteljesítmény-idő diagram

$$(5) \quad I_{lem} = \frac{C}{t}$$

Ismerve a beszerelt akkumulátorok kapacitását az (5) összefüggésből ábrázolható, hogy az utazásra szánt idő függvényében mekkora a tápegység lemerítéséhez tartozó áramerősség.



18. ábra: Lemerítő áram - idő diagram

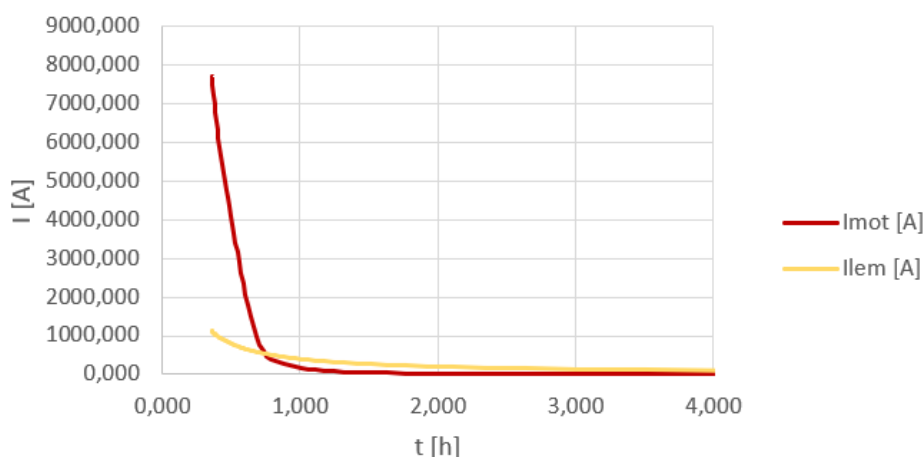
A 48 V feszültségű hálózat ismeretében, újra felszhasználva a motorteljesítmény már ismert értékeit a (6) összefüggés adódik.

$$(6) \quad I_{MOT} = \frac{P_{MOT}}{48V}$$

Végeredményben tehát kétféle áramerősség-értékre jutunk. Az egyik azt mutatja meg, hogy adott utazási idő alatt mekkora áram meríti le az akkumulátorokat, a másik pedig azt, hogy ugyanezek az időtartamok mennyi áramot használ fel a motor. Ezeknek a diagrammíveknek a metszéspontja adja meg azt az áramerősség-határt, amihez tartozó idő alatt meg lehet tenni az elvárt távot újratöltés nélkül.

Ennekmentén arra jutunk, hogy ezt az utat ilyen feltételek mellett 0,75 óra, azaz 45 perc alatt lehet motorhajtotta hajóval megtenni.

A választott 400 Ah kapacitású akkumulátornak (választás indoklása a súlysámítás fejezetben) a kapocsfeszültsége 3,2 V. 48 V feszültségű rendszer lévén az akkumulátorok



19. ábra: Áramerősség-görbék metszéspontja

pakkonkénti száma (párhuzamos kötés) a (7.) összefüggés szerint határozható meg.

$$(7) \quad \frac{48V}{3,2V} = 15$$

Ennek alapján 15 akkumulátor párhuzamos kötésével képezhető egy összefüggő akkupakk. Ekkor az összakapacitás a (8) összefüggés alapján 19,2 kWh.

$$(8) \quad \frac{48V * 400Ah}{1000} = 19,2kWh$$

A gyártóval való egyeztetés után (TEMA) javaslatukra a névlegesnek feltüntetett 12kW teljesítményt a számításhoz való használatkor biztonsági okokból megszoroztam 1,1-el a vezérlés miatti veszteségek miatt. Illetve a tapasztalati osztó (0,8) bevezetését is

javasolták, tekintve, hogy az akkumulátorok 20% alá való lemerítése nem ajánlott (újratöltési nehézségek és az akkumulátorok hosszú élettartama miatt).

Így a számításokban alkalmazott teljesítményérték:

$$(9) \quad \frac{12kW}{0,8} * 1,1 = 16,5kW$$

A teljesítmény és az összcapacitás ismeretében az utazási idő, amit ez az akkumulátor-elrendezés lehetővé tesz:

$$(10) \quad \frac{19,2kWh}{16,5kW} = 1,164h$$

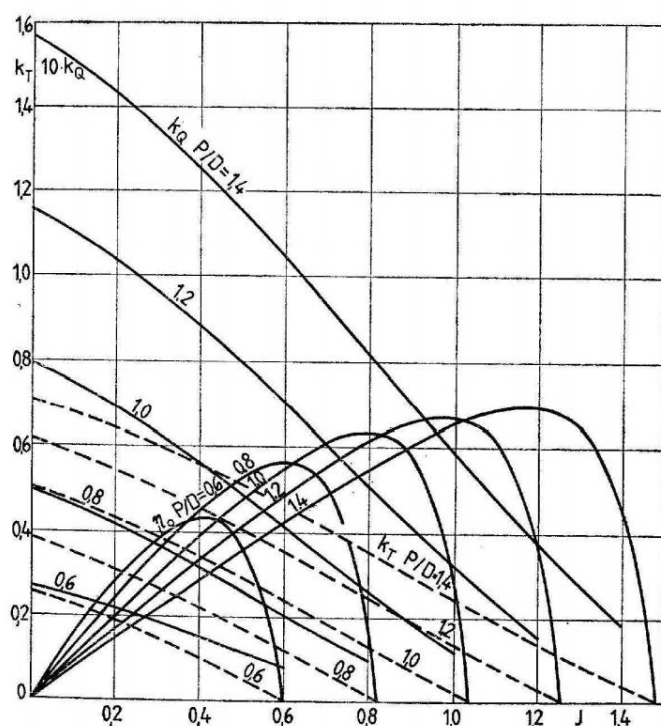
Ezen két idő adat birtokában összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az akkumulátorok 1,264 órán át lennének használhatók, de a hajó ellenállását figyelembe véve a 10km hosszú utat 45 perc alatt kell megtegyük ahhoz, hogy ne kelljen útközben tölteni. A hajótulajdonosnak kiemelten figyelnie kell arra, hogy ez egy elméleti határ, a számítások során az volt a feltételezés, hogy ez a betárolt energiamennyiség teljes egészében rendelkezésre áll. Figyelembe kell venni például, hogy valós esetben minél inkább terhelt egy akkumulátor, annál kisebb kapacitás áll rendelkezésre, tehát kevesebb áramot lehet kinyerni a forrásból, ha egy óra alatt merítik le az akkumulátorokat, mintha ugyanez négy óra alatt történik meg. Mindemellett hozzá kell tenni, hogy LiFePo₄ akkumulátoroknál ez a differencia jóval kisebb, mint például az autókban alkalmazott ólom-akkumulátoroknál. Ennek ellenére az eltérés nem okoz veszélyt a valós üzemben, tekintve például, hogy névleges teljesítményt nem fog az út teljes hosszán leadni a motor. A hajó szolgálati sebessége a (11) összefüggés alapján 13,33km/h-ra adódott.

$$(11) \quad \frac{10km}{0,75 h} = 13,33km/h$$

Felhasználói szinten ez a sebességérték annyit tesz, hogy ennél a sebességnél lehet adott esetben gyorsabban menni, de a hajócsavar méretezése ehhez a sebességhez történt, tehát a hajtás hatásfoka ilyen haladással optimális.

5.4. Propulziós számítások, a hajócsavar kiválasztása

A hajtásláncba beépítendő hajócsavarra vonatkozó javaslatétel a Wageningen B típusú hajócsavarok nyíltvízi jelleggörbéi alapján történik. Az előszámítások és tervezés alapján



20. ábra: Wageningeni B 5-105-ös hajócsavarok nyíltvízi jelleggörbéi
(forrás: [2])

több olyan paraméter ismert, amin nem célszerű, vagy nem is lehet változtatni. Ilyen a hajó szolgálati sebessége (mely az előző alfejezetből ismert), valamint a sodortényező, a szívási tényező és a forgási tényező értékei, amiket az áramvonalas formájú, kerek bordametszetű, kis propeller terhelésű, a hajócsavar mögött közvetlenül elhelyezkedő kormánylapátú hajóknál szokásos értékek alapján lehet becsülni (sodortényező: $w=0,3$, szívási tényező: $t=0,35$, forgási tényező: $\eta_f=1,05$). Ide tartozik a hajócsavar

szárnyszáma is ($z=3$). A c_p (propeller terhelési tényező) akkor minimális, ha a legkevesebb szárnynon jelentkezik ütközési veszteség. A minimális szárnyszám 2 lenne, de mivel a hajócsavar előtt van egy kormánylap, így fordulatonként lenne egy olyan állapot, amikor ennek a kormánylapnak a takarásában van mindkét szárny, ez tolóerő-és nyomatékigény lengésekhez vezet, ami a hajtásrendszer élettartamást csökkentheti, és káros rezgéseket visz a hajótestbe. Emiatt a legkedvezőbb a 3 szárnyú hajócsavar. A számítások során a várhatóan kis propeller terhelés (c_p) miatt a lehető legkisebb nyújtott felületarány kerül beszámításra (A_D/A_0), ami a Wageningen B sorozatnál a 0.35, de ezt a kavitációs ellenőrzés még felülírhatja. Fix paraméter még a hajócsavarablak. Jelen

állapban ez 450 mm magas, ennek megfelelően a benne lévő hajócsavar 300 mm átmérővel kell rendelkezzen, mert a hajócsavarablak magasságának másfélszer akkorának kell lennie, mint a hajócsavar. Ellenkező esetben a hajócsavar szárnyvégi örvényei rezgéseket hoznak létre a hajótestben, illetve a túl közeli hajótest csökkenti a hajócsavar hatásfokát. Mivel a hajócsavar ablak átépítése komoly szerkezeti átépítést igényelne, s erre nincs megrendelői szándék, a beépíthető legnagyobb átmérőjű hajócsavar 300mm, amit a legnagyobb hajócsavar hatásfok érdekében célszerű is kihasználni. A kedvtelési célú hajókra sorozatban gyártott hajócsavarokra jellemző, hogy átmérőjük nemmm 'mm', hanem 'inch' egységben van megadva, s ez többnyire egész számú. A 300 mm-hez legközelebb álló, ténylegesen kapható csavar 12", azaz 305 mm, ami a hajócsavarablakba még a szárnyvégi örvények káros hatásai nélkül beépíthető. A kedvtelési célú kishajók sorozatban gyártott hajócsavarjaira további jellemző, hogy a P/D viszony helyett a hajócsavar emelkedésének inch-ben megadott értékével szokták őket jellemezni. Hasonlóan az átmérőhöz, az emelkedésénél is az egész számú értékek a szokásosak. A hajócsavartervezésnél általánosan elmondható, hogy egy adott hajtási feladathoz mindig tartozik egy optimális emelkedési arány, ha ettől eltérünk valami miatt, akkor hatásfokcsökkenésre kell számítani [2]. A motor névleges teljesítménye, névleges fordulatszáma, és ezzel együtt a névleges nyomaték ismeretében kézi számítás esetén megrajzolható a sebességtényező függvényében a nyomatéki tényező (14) jelleggörbéje (hiszen minkettő az ismeretlen fordulatszám függvénye) a választott hajócsavartípus jelleggörbéjébe. A P/D állandó görbék közül amelyiket metszi a berajzolt görbe, annak metszéspontjait a tolóerő-tényező görbékre tudjuk vetíteni. Az így adódott metszéspontokból egy kapott (közel) egyenes függvény rajzolódik ki. A (13) összefüggés értelmében a tolóerő ott maximális, ahol a tolóerőtényező és a fordulatszám négyzetének szorzata maximális, tehát az itt vett derivált értékéből következik az optimális fordulatszám. Ezt a fordulatszámot visszahelyettesítve a sebességtényező és a tolóerőtényező összefüggésébe, a két érték együttesen meghatároz egy P/D értéket, ami az adott fordulatszámon az ideális emelkedési arány. A szükséges értékeket kézi számítás helyett „Hajócsavar kiválasztást segítő program” [24] segítségével számítottam.

$$(12) \quad J = \frac{v_A}{D * n}$$

$$(13) \quad K_T = \frac{T}{\rho * n^2 * D^4}$$

$$(14) \quad K_Q = \frac{P * \eta_F * \eta_M}{\rho * n^2 * D^4 * 2\pi}$$

A rendelkezésre álló adatok alapján ellenőrizni kell még a kavitáció elkerüléséhez szükséges nyújtott felület arányt. Ezt az értéket erre a hajócsavarra a Keller formulával (15) szokás számítani [2]. A Wageningeni B típusú hajócsavarok kavitációs

Nyújtott felületarány (Keller formula szerint):	0,5392
Nyújtott felületarány (B-csavarok kavitációs határgörbéje szerint):	0,581
Tolóerő [kN]:	1,658
Emelkedésarány:	0,741
Tolóerő-tényező:	0,2129
Nyomatéki tényező:	0,0267

21. ábra: Kavitációs ellenőrzés eredményei

határgörbéjén bejelölt kavitációs számból (16) felvehető a kavitációt még éppen elkerülő τ -val jelölt határérték. Ezen adatokkal már számítható a szárnyakra egy maximális (17) és egy tényleges átlag nyomás érték (18), kavitáció pedig akkor jelentkezik, ha a tényleges nyomás nagyobb a maximálisnak számítottnál, azaz

végeredményben, ha túl kicsi a nyújtott felület arány. Kézi számítás helyett erre az ellenőrzésre is a fent említett programot alkalmaztam. A megfelelő átmérővel és emelkedéssel rendelkező, potenciálisan alkalmas VETUS hajócsavar nyújtott felületaránya 0,52. A program tervezőjének leírása alapján [24] a szoftver elsősorban ellenőrzésre szolgál, és amennyiben a választott értékhez közelít produkál a program is, úgy a kiszemelt hajócsavar nyújtott felület aránya alkalmas. Az ellenőrzés eredménye kb 15 fokos víz telítési gőznyomásával számolva a 22. ábrán látható. Ehhez igen közel áll a valós hajócsavar nyújtott felület aránya, így ezzel az értékkel folytatódik a számítás.

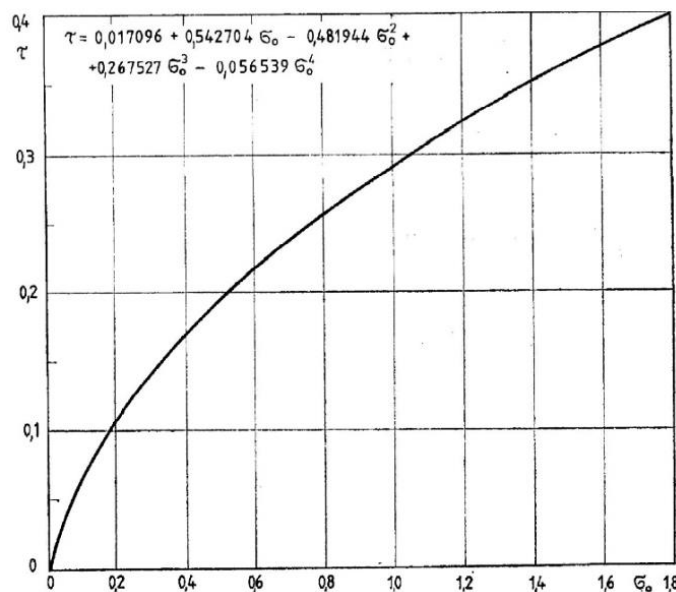
$$(15) \quad \frac{A_D}{A_0} = \frac{(1.3 + 0.3 * Z) * T}{D^2 * (p_{lég} + \rho * g * H - p_v)} + K$$

$$(16) \quad \sigma_0 = \frac{p_{lég} + \rho * g * H - p_v}{0,5\rho * (v_A^2 + (0,7 * D * \pi * n)^2)}$$

$$(17) \quad p_{A_{max}} = \left(\frac{T}{A_{p_{max}}} \right)_{max} = \tau(\sigma_0) * 0,5 * \rho * [v_A^2 + (0,7 * D * \pi * n)^2]$$

$$(18) \quad p_A = \frac{4 * T}{D^2 * \frac{A_D}{A_0} * \pi * (1,067 - 0,229 * \frac{P}{D})}$$

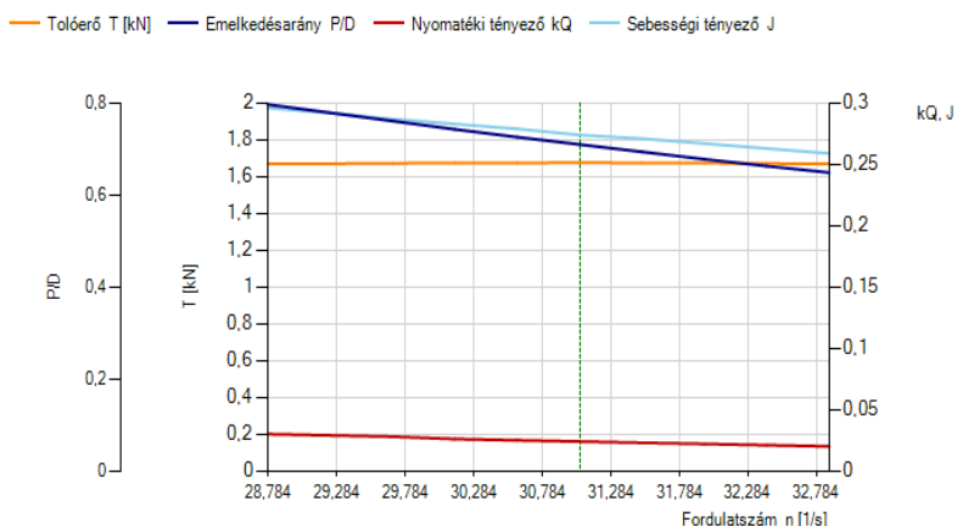
A táblázatban zölddel azok az értékek vannak megjelölve, melyekhez a legnagyobb tolóerő-érték tartozik. A számítás alapján az optimális eset az, amikor a 12"-os hajócsavar 31,057 1/s fordulatszámmal forog, emellett 0,71-es P/D-aránnyal rendelkezik. Ezt az optimális hajócsavart azonban csak a motor és a hajócsavartengely közé beépített hajtóművel lehetne megvalósítani, mert a motor fordulatszáma 30 1/s. További probléma az optimális hajócsavarral, hogy a P/D=0.71 P=8.52" emelkedésű hajócsavart jelentene, ami nem kapható sorozatban gyártott hajócsavarként, így egyedi hajócsavar gyártást tenne szükségessé. 9"-os emelkedésű, 0,75 P/D arányú darab 12" átmérővel ellenben



22. ábra: B típusú hajócsavarok kavitációs határgörbéje
(forrás:[2])

létezik beszerezhető alkatrész. Ehhez az emelkedési arányhoz 30,148 1/s és 29,693 1/s fordulatszám tartozik, amit várhatóan a motor képes lesz szolgáltatni, és a kifejtett tolóerő nagyobb, mint a hajó tolóerő igénye, azaz ez a hajócsavar is alkalmas a hajtás megvalósítására, igaz nem az elérhető legnagyobb hatásfokkal. A hajócsavar, hajótest és motor együttműködésének vizsgálata céljából vontatási jelleggörbe számítható a „Hajócsavarválasztást segítő program” segítségével, annak megállapítására, hogy az esetleges hajótest ellenállás változás (pl. algásodás), vagy a hullámos vízi megnövekedett közegellenállás milyen hatással lesz a hajó szolgálati sebességére. A vontatási

Pontosítás	8	köztés értékkel a(z)	28,78	és	32,88	fordulatszámok között:	Pontosítás	Visszavonás	Mégis
Fordulatszám n [1/s]	Tolóerő T [kN]	Emelkedésarány P/D	Nyomatéki tényező kQ	Sebességi tényező J					
32,876	1,669	0,649	0,020	0,259					
32,421	1,672	0,663	0,021	0,263					
31,967	1,674	0,678	0,022	0,267					
31,512	1,675	0,694	0,023	0,271					
31,057	1,676	0,710	0,024	0,274					
30,602	1,675	0,726	0,025	0,279					
30,148	1,675	0,743	0,026	0,283					
29,693	1,673	0,761	0,028	0,287					
29,238	1,671	0,779	0,029	0,292					
28,784	1,669	0,797	0,030	0,296					

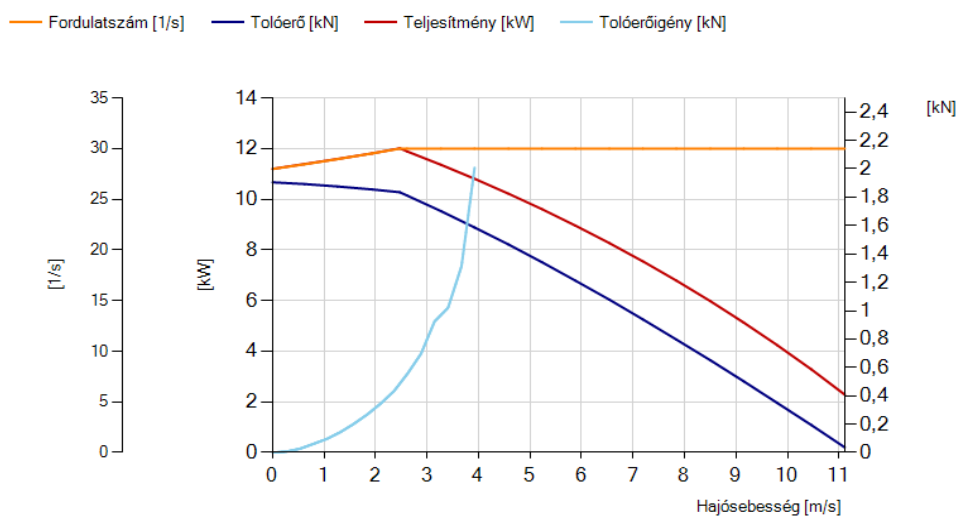


23. ábra: Optimális fordulatszám és a hozzá tartozó emelkedési arány

jelleggörbének elkészítéséhez ismerni kell a motor karakterisztikáját (fordulatszám-teljesítmény görbe), és a hajó ellenállásgörbáját. A vontatási jelleggörbe a motor és a

hajócsavar közös munkáját jellemzi. A program hajósebesség függvényében (vagy a sodorotényezővel átszámítva a hajócsavar nyíltvízi sebességének függvényében) ábrázolja a motor által leadott teljesítményt, fordulatszámot, és a tolóerőt, mindegyiket úgy, hogy az adott sebességnél a motor maximális kihasználtság mellett üzemel. E tényezők mindegyike következik a motor karakterisztikájából. Emellé a hajó ellenállásgörbéjének bevitele azért volt szükséges, mert így a motor által szolgáltatott tolóerő mellett megjelenik a hajó tolóerőigénye is, szintén a hajósebesség (vagy nyíltvízi sebesség) függvényében. A motor által szolgáltatott tolóerő és a hajó által megkívánt tolóerő egy pontban találkozik, ez a pont az a sebesség, amivel maximálisan haladni képes a hajó (24. ábrán a sötétkék és világoskék görbék metszéspontja). Ez a sebesség jelen esetben valamivel több, mint 3,7 m/s. Ez a sebesség ugyanakkora, mint a hajó szolgálati sebessége (13,33 km/h). Ekkor elmondható, hogy a hajócsavar képes ellátni a feladatát ezen a hajón, sőt, a kerekítési hibák tudatában (col-mm átváltásnál lefelé kerekítés, leolvasásnál kerekítés, stb.) arra is számíthatunk, hogy egy minimális „tartalék teljesítmény” még marad is. A legfontosabb megállapítás azonban, hogy a későbbi hatótáv-becslésnél kapott hatótáv nem csökken amiatt, mert nem az elvileg optimális méretű hajócsavar került beszerelésre, azaz a megrendelő kívánsága (áttétel és egyéb beavatkozások nélkül) teljesül.

Alternatív lehetőség kidolgozásánál figyelembe kellett venni, hogy az elektromos motor nem az elsődleges hajtási rendszer, a hajó fő üzeme a vitorlameghajtás melletti haladás. Ekkor semmi szükség a propellerre, így az elsődleges meghajtás hatásfokát javítja, ha összecsuksukható hajócsavart kerül a hajtásláncba, mely vitorlabontáskor összecsuksukható,



24. ábra: Vontatási jelleggörbe

minimalizálva a felesleges ellenállását a csavarnak. Ilyen típusú hajócsavart ezen konkrét hajó számára megfelelő méretben kevés gyártó forgalmaz, a megszokott szállítók, mint a Volvo Penta [14], a KingPropulsion [13], vagy a Flexofold [12] 16” minimális átmérővel kínál összecusukható hajócsavarokat. A kiválasztott mérethez közel, 12” átmérővel (304,8 mm) a T.Norris vállalat [11] gyárt még ilyen alkatrészt, így a másik opció a vevő számára, hogy egy ilyet rendel.

6. Súlyszámítás

6.1. A bútorzatban történt változtatások és azok hatása a súlyponthelyzetre

A hajó bútorzata minőségi, precízen kivitelezett, mind asztalos munka, mind pedig anyag szempontjából, emiatt legjobb lenne minél nagyobb hányadát megtartani. A fa bútorzat nagy része mahagóni anyagú, a merevséget adó elemek anyaga kőris. Újkori kinézetére az általános elrendezési rajzokról és az azokon lévő tételjegyzékből lehet kövekeztetni. Elhelyezkedésük a rajzon és anyaguk a tételjegyzékben rendkívül fontos, hiszen a súlyszámítás során így tudjuk figyelembe venni a tervezési súlyponthelyzetre gyakorolt hatásukat. Általánosan elmontható, hogy ami az általános elrendezésen és a többi rajzon fel van tüntetve, az az azonos rajzi azonosítóval ellátott vonalrajzon bejelölt és lemért súlypont helyzetébe bele volt kalkulálva. Ez könnyebbé teszi, mert nem kell minden bútor pontos súlyponthelyzetét meghatározni, csupán azokat, amik kikerültek, illetve bekerültek a hajóba a rajzok véglegesítése és az építés után. A helyszíni felmérésen több fotót kell készíteni minden bútorrészletről, közelebbről és távolabbról is. Közeleli képeket azért kell elkészíteni, mert egyazon bútort másik anyagúra cserélve változhat a tervezésnél kalkulált tömeg (pl régi fa alakelemek műanyagra cserélése). Mivel a mahagóni fa fajlagosan viszonylag nehéz, nagyobb bútoroknál ennek lehet jelentősége. Kisebb elemeknél (pl.: szegélyléc) ezek az eltérések bekerültek a jegyzőkönyvbe, de súlyszámítás során elhanyagolhatóak. A távoli fotó (jellemzően hajófartól a kokpit belseje felé) a bútorok helyének megváltoztatása miatt kell, innen látszik, ha valamit áthelyeztek vagy teljesen eltávolítottak. A feljegyzett bútorok helyét összehasonlítva a tervekkel a 6. mellékletben pirossal jelölve láthatóak az eltávolított bútorok, zölddel a beillesztett elemek, sárgával pedig a hasonló tömegűre kicserélt darabok. A beszámítás

határát 4,6 kg-nál húztam meg, az ennél könnyebb elemeket (pl. fiókok, szerelőnyílás kerete, stb.) nem vettem figyelembe a súlysámításnál.

6.2. Az eredeti hajtásrendszer figyelembevételével készült súlysámítás

A VETUS motor kivétele után meg kellett vizsgálni, hogy a motoralap állapota megfelelő-e. A motoralapot két „L” profilú szár behegesztett párosa képezi, a vízvoalhoz képest 2 fokban megdöntve. A lépcső felőli bordákon a bordák síkjába fektetett, behegesztett „L” profilú támaszlapokkal biztosították a hosszirányú merevítő kapcsolatát a keresztirányú merevítéssel (mely maga a bordázat). A felmérés során a motor leendő felfekvő felülete megfelelőnek bizonyult, hiszen egy nehezebb motort azonos ellenállás mellett is deformáció nélkül megtartott, így a tengelyrendszer modellezésénél a rajz a meglévő motoralap megtartásával készült. A két fokos dőlésszöget is figyelembe kellett venni az alakelemek (motor, csapágyak) elhelyezésénél, hiszen ennek kompenzálása (bármilyen irányba) gyártástechnológiai szempontból ugyanakkora költség és közel azonos mennyiségű munkaóra lett volna, mint az „L” profilok kimetszése és újrahegesztése egy másik dőlésszögben. A tönkcső hossza és pozíciója adott, ezt az alkatrészt hasonló méretűvel fogjuk pótolni, így költséghatékonysági okokból (az általános gyakorlattól eltérően) a meglévő tönkcső és tengely végéhez pozicionáltam a motort és a tengelykapcsolót. Az előző, diesel motoros rendszer egyik hibája, hogy a tengelyvég utáni első borda lemezéhez volt közvetlenül csatlakoztatva az a felfekvő

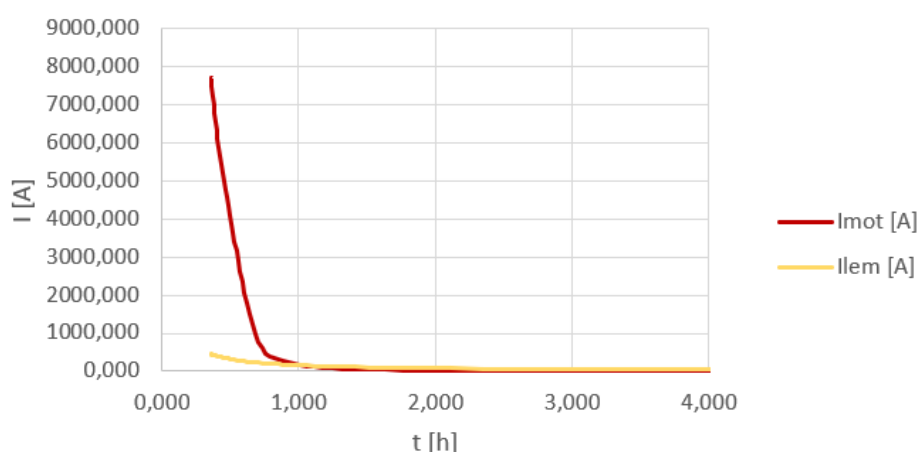
Súlyponthelyzet változás (hajtáslánc terhe nélkül)					
	m [kg]	x [m]	mx[kgm]	z[m]	mz[kgm]
Lightship	6592	6,598	43494,02	1,1	7251,2
Navigációs akkumulátorok	11,4	4,875	55,575	1,221	13,9194
WC	9,6	5,51	52,896	1,382	13,2672
Polcok (alsó)	-7,191	6,66	-47,8921	1,35	-9,70785
Mosdó	13,2	4,75	62,7	1,74	22,968
Lépcső	11	6,08	66,88	1,68	18,48
Hűtő	4,6	6,08	27,968	1,68	7,728
TV	6	5,75	34,5	2,12	12,72
Szumma	6640,609		43746,64		7330,575
$X_G = mx/m$		X_G	=	6,587746	m
$Z_G = mz/m$		Z_G	=	1,103901	m

25. ábra: Súlyponthelyzet hatjtáslánc terhe nélkül

felület, melyen keresztül a tolóerő átadódik (tolócsapágó). A 4. ábrán látható görbékkel kiolvashatjuk, hogy 0,265-ös Froude számnál ((1) összefüggés szerint átszámítva 3,014 m/s haladási sebességnél) a hajó ellenállása 0,573 kN. A tolóerőt ennek a teljes ellenállásnak ellenében fejti ki a hajócsavar, ekkora erőteher alatt, főleg tartós használat után ilyen vastagsággal a lemez kihajlik, majd váratlanul el is törhet. Ezeket a bordalemezeket merevítésre, és nem vertikális erő felvételére tervezték, így ezt a megoldást nem ültethetjük át az új rendszerbe. A megoldás 2 erős, 8mm vastag lemez kétoldali behegesztése lett (11. ábra mintájára), melyek váhatóan nem deformálódnak a teher alatt. A motort az oldalán lévő furatoknál fogva egy „L” profilú testre hegesztett alátét négyesen átvezetett csavarok tartják. Ez azért is jó, mert a motoralap nem a motor aljára illeszkedik, hanem annak közepén tart, így a motor súlypontja lejjebb kerül, azaz összességben a hajóé is. A fogyasztók energiamérlege mentén számítva az energiaigényt 15 db 400Ah kapacitású Winston akkumulátorral fedezzük, ez az információ a dolgozat szempontjából a súlysámítás miatt jelentős.

6.3. A hajó tömegének és súlypontjának meghatározása az átépítés után

A meghajtáshoz az elektromos rendszerben akkumulátorok kellenek. Mennyiségüknek



26. ábra: Útszakaszra szánt idő 160 Ah akkukapacitás esetén

sámítása a dolgozat 5. fejezetében szerepel. A szükséges kapacitást, feszültséget és tárolható töltést többféle akkumulátor-kombinációval érhetjük el. A vevő kérése az volt, hogy lehetőleg minden akkumulátort a gerinc és a padló közé helyezzünk. A töltéstárolók korlátozott méretben kaphatók, az előtervezésnél a választható akkumulátorok körét a

Súlyponthelyzet változás (hajtáslánc terhével, 160Ah kap. akkumulátorral)					
	m [kg]	x [m]	mx[kgm]	z[m]	mz[kgm]
Lightship	6592	6,598	43494,02	1,1	7251,2
Navigációs akkumulátorok	11,4	4,875	55,575	1,221	13,9194
Hajócsavar	1,2	2,85	3,42	1,38	1,656
Tengely	1,774728	3,17	5,625888	0,91	1,615002
Tönkcső	1,2	3,08	3,696	0,87	1,044
Tengelykapcsoló	0,45	3,67	1,6515	0,93	0,4185
Motor	75	3,99	299,25	0,94	70,5
Akkumulátorok hajtáshoz	182,4	6,84	1247,616	1,061	193,5264
WC	9,6	5,51	52,896	1,382	13,2672
Polcok (alsó)	-7,191	6,66	-47,8921	1,35	-9,70785
Mosdó	13,2	4,75	62,7	1,74	22,968
Lépcső	11	6,08	66,88	1,68	18,48
Hűtő	4,6	6,08	27,968	1,68	7,728
TV	6	5,75	34,5	2,12	12,72
Szumma	6902,634		45307,9		7599,335
$X_G' = mx/m$		X_G	=	6,563857	m
$Z_G' = mz/m$		Z_G	=	1,100933	m

27. ábra: Súlyponthelyzet beépített hajtáslánccal (160Ah akkumulátorokkal)

160 Ah és a 400 Ah kapacitásúra szűkítettem (főként a hossz-szélesség azányuk igazodása miatt a bordaközökhöz). Ezek közül 3 opció mentén kell kiválasztani a megfelelő variációt. Első verzióként 32 darab 160 Ah kapacitású akkumulátor kerülne a hajóba. Ennek előnye, hogy majdnem midegyik belefér a bordaközökbe, így az ágy alatti tárolók részben szabadok maradnak, és a súlypont is lejjebb kerül, tekintve, hogy a bordaközök jóval lejjebb helyezkednek el függőleges iránybn, mint az ágy alatti táruk. Ezek mellett a praktikus okok mellett hátránya, hogy az 5. fejezetben elvégzett számításokat elvégezve a 32 darab 160 Ah kapacitású akkumulátorra látható, hogy sokkal kisebb szolgálai sebességet tudunk vele produkálni, mindössze a 400 Ah változat 75%-át. A második lehetőség, hogy a küszöb szintjéig megemeljük a padlószintet, és a bordatalpak közé ékeljük a 15 darab 400 Ah kapacitású töltéstárolókat. Ekkor azonban megszűnik az állómagasság a hajó kabinjában, így ez a javaslat az előtervezésnél elvetésre került a megrendelő által. A harmadk lehetőség, egy kompromisszum, miszerint a nagyobb szolgálai sebesség érdekében a 400 Ah kapacitású akkumulátok kettesével, a keresztirányú súlypont középvonalra illeszkedését megtartandó két oldalt

Súlyponthelyzet változás (hajtáslánc terhével, 400Ah kap. akkumulátorral)					
	m [kg]	x [m]	mx[kgm]	z[m]	mz[kgm]
Lightship	6592	6,598	43494,02	1,1	7251,2
Navigációs akkumulátorok	11,4	4,875	55,575	1,221	13,9194
Hajócsavar	1,2	2,85	3,42	1,38	1,656
Tengely	1,774728	3,17	5,625888	0,91	1,615002
Tönkcső	1,2	3,08	3,696	0,87	1,044
Tengelykapcsoló	0,45	3,67	1,6515	0,93	0,4185
Motor	75	3,99	299,25	0,94	70,5
Akkumulátorok hajtáshoz	202,5	7	1417,5	1,44	291,6
WC	9,6	5,51	52,896	1,382	13,2672
Polcok (alsó)	-7,191	6,66	-47,8921	1,35	-9,70785
Mosdó	13,2	4,75	62,7	1,74	22,968
Lépcső	11	6,08	66,88	1,68	18,48
Hűtő	4,6	6,08	27,968	1,68	7,728
TV	6	5,75	34,5	2,12	12,72
Szumma	6922,734		45477,79		7697,408
$X_G' = mx/m$		X_G	=	6,569339	m
$Z_G' = mz/m$		Z_G	=	1,111903	m

28. ábra: Súlyponthelyzet beépített hajtáslánccal (400Ah akkumulátorokkal)

szimmetrikusan az ágytárolókba kerülnek. Ezzel a mentőfelszerelés még mindig elfér az ágy alatti tárolóban, ezzel együtt azonban a súlypont is feljebb kerül. A választás tehát amentén indul el, vajon megéri-e a súlypont feljebb kerülését a nagyobb üzemi sebesség? A döntést megkönnyítendő a 28. és 29. ábrákon látható mindkét esetre a súlypontelvándorlás mértéke. Ezeken az ábrákon látható, hogy alig több, mint 1 cm-es függőleges súlyponthelyzet- különbség áll fenn szemben 25%-nyi szolgáltatási sebességtöblettel, ezen megfontolásból kerültek beszámításra a fentiekben a 400 Ah kapacitású akkumulátorok. A végleges súlypont két koordinátája tehát a 28. ábrán látható (y irányban, azaz felülnézetből a középvonalon marad a súlypont, tehát $y=0$).

7. Stabilitás vizsgálata az EN ISO 12217 szabvány szerint

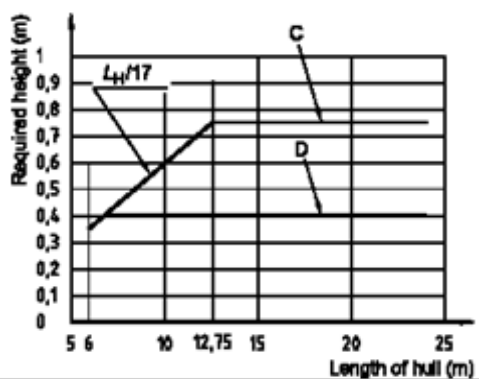
7.1. A szabvány általános áttekintése

Az EN ISO 12217 szabvány [4] egy nemzetközileg elismert hatósági szempontrendszer, mely kategóriától függően használható tengeri és tavi hajókra is. Stabilitási vizsgálatok

mellett a megfeleléshez számos más szempontot figyelembe vesz (nyílászárók, vitorlafelület, stb.), melyek vizsgálati elhagyásával akkor sem kapja meg a hajó a megfelelő minősítést, ha a stabilitási vizsgálatokon megfelelt. Jelen hajó rendeltetési helye a Balaton, tehát tavi, „C” minősítést kell kapnia a forgalomba helyezéshez. A 7. számú melléklet tartalmazza a hivatalos, angol nyelvű hitelesítési táblázatokat, a dolgozatban azok a számítások szerepelnek, melyek kitöltéséhez szükségesek voltak.

7.2. A szabványtáblák kitöltéséhez szükséges számítások

Az első, „ANNEX 1” táblázat általános, informatív ív. Mivel a hajó tervezett legénysége 8 fő, így szabvány szerint 8x75kg tömeggel kerülnek beszámításra. Az ivóvízkészletet nem a személyzetre vetített hozzávetőleges igény, hanem a teljes tankkapacitás alapján szerepel. Személyes tárgyak, edények, ágyneműk, egyéb ingóságok nagysága 90 kg-al közelíthető régebbi hajókhoz arányítva. Felfújható életmentő felszerelések tömege 8kg-ra becsülhető (egy mentőmellény tömege felfelé kerekítve 1 kg), egyéb biztonsági eszközöké (mentőövek, EÜ dobozok, stb.) pedig 45kg-ra. Ballasztvíz nincs, az üzemanyag tartály üresre szivattyúzva. Az elinduláshoz szabályosan kellő minimális tömegbe 2 fő legénységet számítandó, ennyien elméletileg biztonsággal ki tudnak kötni. A hajóhossz, a vitorlafelület, a lightship tömeg tervrajzi adat. A második,



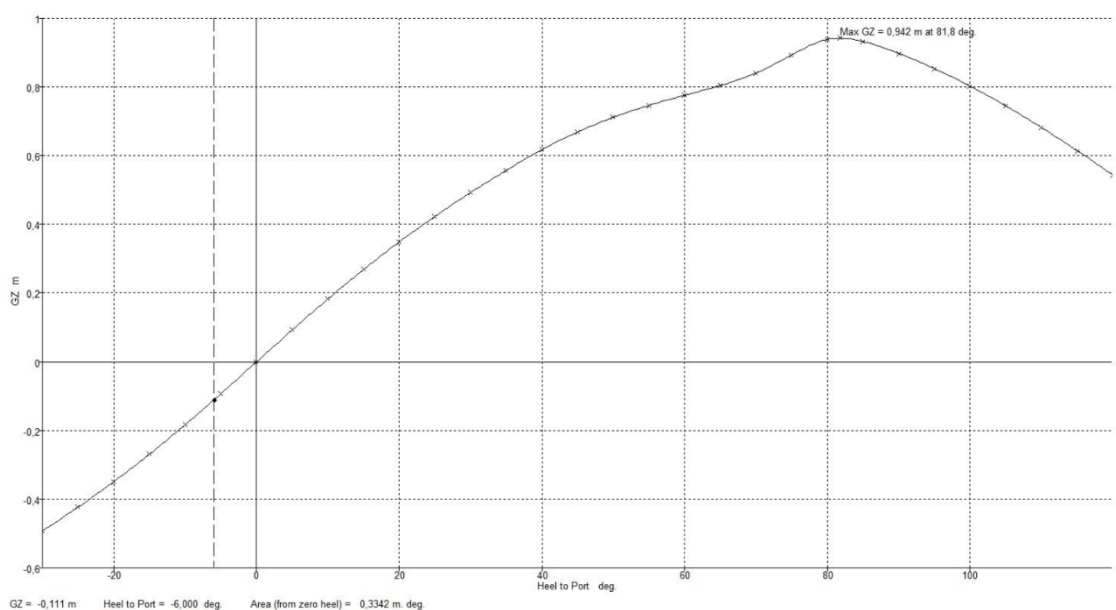
b) Design Categories C and D

29. ábra: Az elárasztási magasság kritikai határa a hajóhossz függvényében
(forrás: EN ISO 12217-2:2002)

„APPLICABLE TEST” táblán, mivel a hajó teljes fedélzetű, és egytestű, csak a módszerválasztó táblázatot kell figyelnünk. „C” kategórii eléréséhez 2-7-ig bármely oszlopot váaszthatjuk. Az oszlopokban lévő számok mindegyike egy elvégzendő számítás vagy teszt sorszáma. Mivel a szakdolgozat szeptember és október között íródik, a vízparti tesztek a hideg Balaton miatt nem, vagy csak nagyon körülényesen végezhetők el. Tehát azt az oszlopot preferáljuk, ahol a 7,9,10. szám

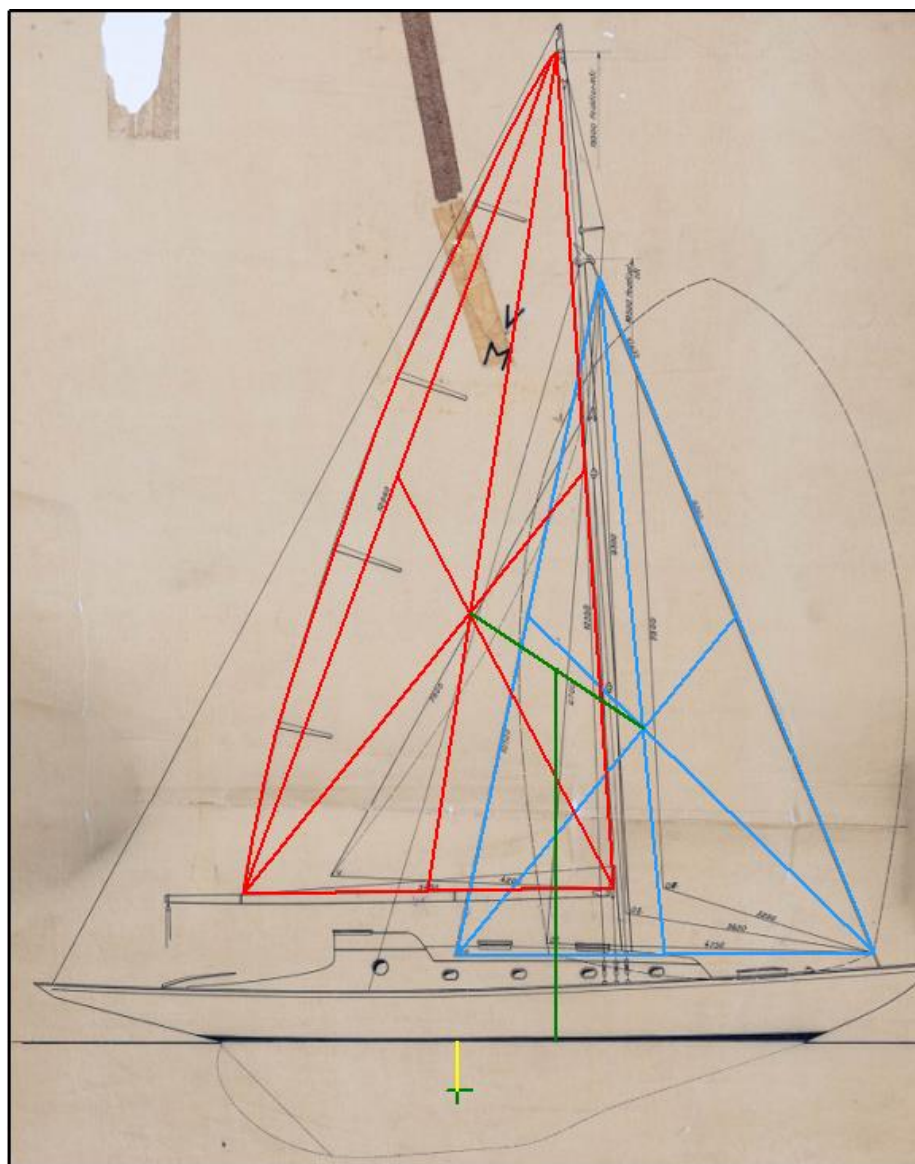
nem szerepel, ezek ugyanis kísérleti módszereket jelölnek. Ilyen oszlop az 5., tehát ez alapján megy tovább a számítás. A 3. számú „DOWNLOADING” táblán a „C” kategóriához tartozó elárasztási magasságokat állapítjuk meg, mely a diagram szerint

maximálisan 0,75m, a szabályzat szerint pedig minimálisan 0,3m. A számítási módszer ezen a ponton a kísérleti vizsgálat hiánya miatt szigorúbb, ezért ezt a megfelelést egy másik módszerrel is meg kell vizsgálnunk. Ez a 4. tábla célja, mely azokat a nyílásokat veszi szemügyre, melyeken keresztül a hajó elárasztódhat. Itt hossz és keresztirányban fel kell venni minden, az ég felé nyitott nyílás koordinátáit mindkét irányba, és a kisebbet kell bejegyezni a táblázatba (hiszen onnan árasztódik egy hamarabb). Ilyen nyílások (táblázat oszlopai balról jobbra) a kormány alatti doboz, a láncszekrény, az ajtónyílás éléből nyíló tetőablak, a hátsó tetőablak, a szerelőnyílás, és az elülső tetőablak. Ezután le kell mérni és be kell jegyezni a nyílásterületeket. Az F_1 érték megmutatja, hogyan aránylik a hosszhoz/szélességhez hajóperemtől való legkisebb távolsága az adott nyílás szélének (hosszhoz vagy szélességhez arányítás attól függ, melyik a kisebb érték). Az F_2 érték azt jelzi, hogy a hajóperemtől mért nagyobb távolsághoz hogyan aránylik a nyílásterület, ezt azonban nagyméretű nyílásoknál a szabvány nem veszi figyelembe, így értéke a képlet szerinti küszöbérték felett 1. A rekesz számításához tartozó blokk („Size of recesses”) azokat a nyílásokat figyeli, melyek nem önürítők. A felsorolt nyílások alatti tér térfogatát ekkor abban az esetben kell jelölni, ha azok un. rekesznek minősülnek, azaz ha elárasztódásukkor nem-vagy nagyon lassan- tud csak a víz távozni belőlük. Az előszámítások során kiderült, hogy semelyik nyílásnál nem biztosított az elvezetés, mindegyik vagy a kokpitba, vagy a hajóénékbe vezeti a vizet, nyitva hagyva ezeket a



30. ábra: Reed diagram (egy fővel, szél felőli oldalon, kormányosi ülőhelyen)

felületeket a vizsgálatok nem fogják megengedni a „C” kategóriát. Emiatt a célszerű tömített nyílászárókat szerelni az adott ablakokra és boxokra (illetve a meglévő, előregedett tömítéseket kicserélni). A VETUS gyártmányai tengeri „A” kategóriáig megfelelőek, tehát az innen való rendelést jó megoldás, főként, mert a tetőablakok méretében kapható ott nyílászáró [17]. Ekkor (feltételezve, hogy az átalakítás megtörtént) a 7. mellékletben feltüntetett nyílások nem minősülnek többé rekesznek, azaz olyan térfogatnak, melyben megáll a víz, ezzel stabilitási problémákat okozva. Ezzel tehát az F_3 paramétert is vehetjük indifferens, 1-es szorozótényezőnek. Ebben a pontban



31. ábra: "hce" és "hlp" értékek számításához szükséges rajz a víz alatti felület és a vitorlafelület súlypontjával jellemző vitorlafelállással

megjegyzendő, hogy ilyen rekesz lehet maga a kokpit is, azonban ezt külön vizsgáljuk. Ahhoz, hogy önürítő nyílásnak vehessük, a szabályzat szerint minimum 2 ürítőcsőnek kell benne lenni, mégpedig a munkatér far felőli sarkaiban, szimmetrikusan a hajó középvonalára. Jelenleg egy darab ürítőcsővön tud távozni a víz, ami a régi szabványnak ugyan megfelel, jelenleg azonban ahhoz, hogy megkapjuk a célkategóriát, további 2 ürítőcsövet el kell helyezni a fent említett helyekre. A kokpit önürítési idejét egy másik, ISO 11812 szabvány [5] szerinti módszerrel számoljuk. Ehhez ismernünk kell a kokpit adatait (mérete, pozíciója, stb.) Első lépésként meggyőződünk róla, hogy a kokpit geometriai adatai a kritériumi követelményeknek megfelelnek. Az ürítési kritériumot a kokpit térfogati tényező segítségével számítjuk (9).

$$(9) \quad k_c = \frac{V_c}{L_H B_{max} F_M} = 0,02$$

A kategóriában az ürítési időt a szabvány által írt összefüggés jelen esetben 30 percen állapítja meg.

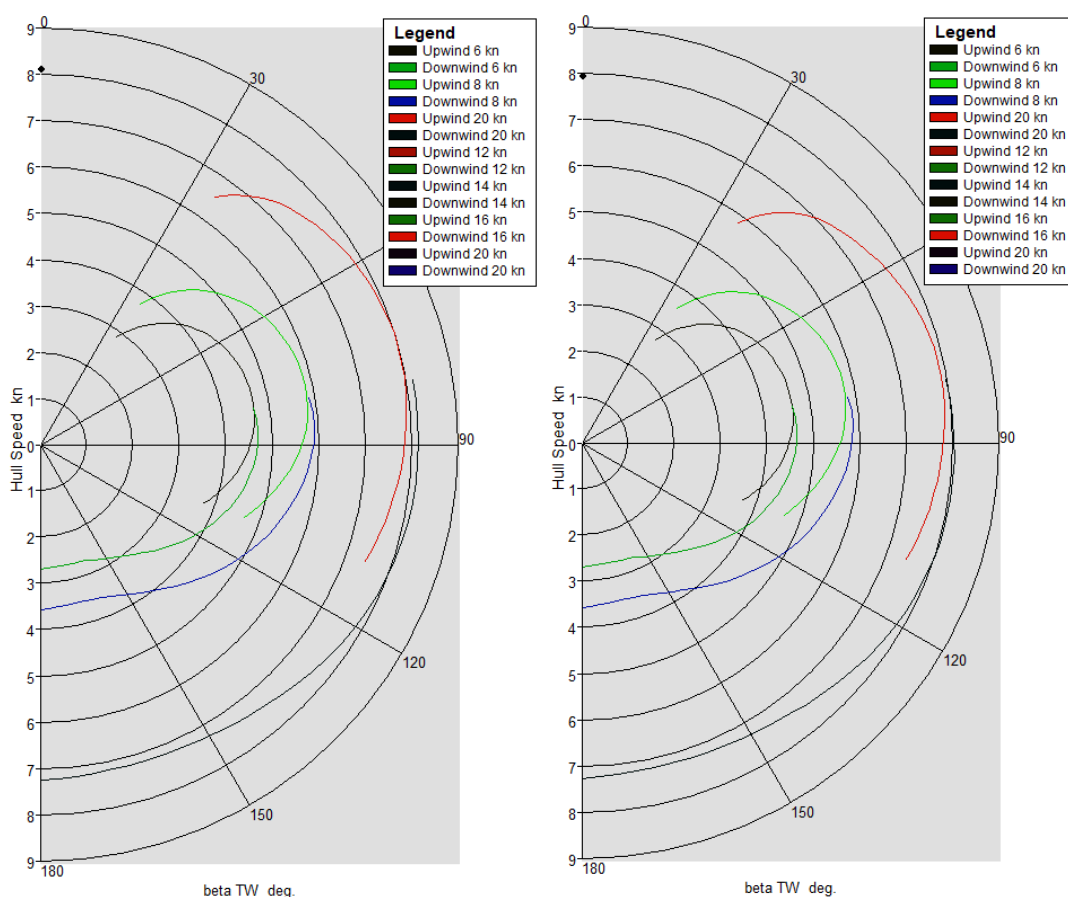
$$(10) \quad \text{Lim} = \frac{0,6 \text{ min}}{k_c} = 30 \text{ min}$$

A maximálisan beszámítható ürítési idő azonban mindössze 5 perc. Az ISO 11812 szabályzat 2. számú táblázata szerint 30-35 mm nagyságú cső szükséges az ürítéshez, ezzel megfelelő ürítési időt kapunk eredményül. A kokpit küszöbmagassága 300 mm-rel a megkövetelt 150 mm felett van, tehát ez is megfelelő. Az ISO 12217 negyedik ívéhez visszatérve a következő, merülési arányszám a hajó főméreteiből számol egy alakra vonatkozó számot, ez az F₄. Egy a flotációs értéket ennél a módszernél irreleváns, 1-es szorzótényezőként kalkuláljuk. A 8. „WIND STIFFNESS TEST” táblának gyakorlati opcióját egy döntéspróba keretében lehetne kitölteni, erre azonban télen nincs lehetőség.

Vizsgált kérdés	Megfelelt	Hivatkozás	Elvégzendő
Hajó vitorlásnak tekinthető?	igen	ANNEX 1	
Legalacsonyabb elárasztási pont min. elárasztási magasság felett?	igen	No.4.	
Nyílásai (nem önürítők) megfelelő elárasztási magasságban vannak?	nem	No.4.	Tömített nyílászárók
Kokpit önürítő?	nem	ISO 11812	Ürítőcsövek beszerelése
Küszömagasság megfelelő?	igen	ISO 11812	
Kategória kritikus szélessége 45 fok-nál kisebb dőlést okoz?	igen	No.8.	

32. ábra: ISO vizsgálatok legfontosabb vizsgált kérdései és a hajó mfelelősége, szükséges javítások

Így az elméleti módszert kell végigszámolni. A matematikai összefüggésekkel a szabvány oly módon helyettesít a klasszikus döntéspróba-tesztet, hogy a vitorla geometriai középpontja és a vízvonal közti szakaszt erőként számítja, majd a képlettel megvizsgálja, a (szabvány szerinti) 13 m/s sebességű szél az adott nagyságú vitorlafelületen mekkora nyomatékot indukál. Maxsurf Stability programból kapott Reed diagram segítségével (ϕ ; angle of heel) azt is megvizsgáljuk, hogy egy fővel a szélfelőli oldalon ez a nyomaték mekkora kibillenési szöget eredményez. Amennyiben ez kisebb mint 45 fok, a hajó megfelelt. (Abszolút értékben, hiszen a mínusz előtag csak azt jelzi, port-vagy starboard irányban billentettük meg a hajót). A teszt eredményeit a 13. számú összefoglaló ív tartalmazza. Bár a hivatalos dokumentációja az ISO vizsgálatoknak a szabványtestület által kiadott táblázat, az átláthatóság kedvéért a főbb pontok összefoglalásképpen a 15. ábrán láthatóak.



33. ábra: Polár diagram az átépítés előtti (bal) és utáni (jobb) állapotra

8. Polár diagram elkészítése, az átépítés előtti és utáni állapot összehasonlítása

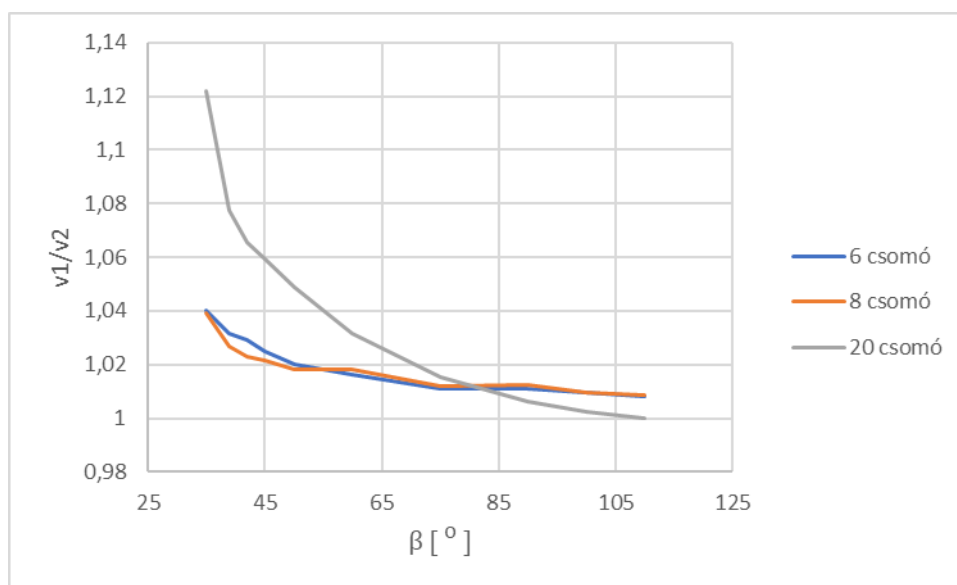
8.1. A polár diagramm célja

A polár diagram célja, hogy a különféle szélirányokra adott hajótest paraméterek (hidrosztatikai és hidrodinamikai erők) és a vitorlázat paraméterei (aerodinamikai erők) segítségével sebességbecslést adjon. Skálája egy 180 fokos félkör, melyen a valós szél irányait lehet beállítani, illetve egy függőleges tengely, melyen a haladási sebességek vannak. Egy berajzolt görbe egy szélsebességhez tartozik. A diagram egy görbéjének egy pontja tehát azt állapítja meg, hogy egy adott hajó meghatározott irányból fújó adott erősségű szél mellett mekkora sebességgel fog várhatóan haladni. Jelen esetben ezekkel a diagramokkal az a cél, hogy az átépítés előtti és utáni állapotot össze lehessen hasonlítani várható haladási sebesség szempontjából. Bár az átépítés a segédhajtásra vonatkozott, a fő rendeltetése a hajónak a vitorlázó üzem, így az lenne a legjobb eset, ha az átépítés után (változatlan vitorlázattal) nem csökkenne a hajó sebessége. A két modell vitorlázati beállításai tehát ugyanazok, de a súlypontja másutt van mindkettőnek (lsd. súlyszámítás).

8.2. A polár diagrammal kapott eredmények

Bár önmagában véve a hajtáslánc átépítésével könnyebb lett volna a hajó (főleg, mert az új motor kisebb tömegű a réginél), a kapcsolódó felújítások mentén mégis nehezebb lett. Ezért arra lehet számítani, hogy a hajó lassulni fog, mindemellett a lassulás mértéke nem valószínű, hogy nagy lesz, tekintve, hogy a tömegváltozás a hajó tömegéhez viszonyítva igen kis mértékű. A dolgozatban szereplő polárdiagram a Maxsurf VPP mouljával készült.

Az eredményül kapott diagrammokat megvizsgálva eredményül a 8. mellékletben szereplő mérési adattábla adódott, melynek összefoglalása 34. ábra. Itt a függőleges tengelyen az átépítés előtti és az átépítés utáni testsebességének hányadosa szerepel, a vízszintes tengelyen pedig a látszólagos szél és a haladás iránya által bezárt szög. a különböző görbék különböző szélsébségek mellett adódtak (spinakkervitorla felhúzása nélkül). A legnagyobb eltérés itt 20 csomós erősségű szélnél adódik, körülbelül 12%. Meg kell jegyezni, hogy a balatoni szélviszonyokra nem ez a 20 csomós szél jellemző, vitorlás közlekedés esetén ennél alacsonyabb sebességre kell számítani, alacsonyabb sebességeknél pedig az eltérés lényegesen kisebb. Összefoglalva a diagram eredményeit elmondható, hogy a várakozásoknak megfelelően valóban minimális mértékben kisebb lett a hajó várható sebessége. Gyakorltban ez a sebességváltozás annak köszönhető, hogy a túravitorlázás kényelmi funkcióit figyelembevéve több olyan tárgy került a hajóba, ami nagyobb tömeggel rendelkezik (pl.: fürdőszoba bútorai), és a hajó nehezebb lett.



34. ábra: Átépítés előtti (v_1) és utáni (v_2) sebességek aránya a szélsébség függvényében (β : relatív szélirány szög)

Összességében azonban a rendeltetés szempontjából az átalakítás sikeresnek könyvelhető el még a sebességcsökkenés dacára is, hiszen például a 6 csomós szélben tapasztalható 4% sebességvesztéssel szemben egy túravitorlásban a kényelmi funkciók megléte előbbrevaló.

9. Összefoglalás

A feladat célja az volt, hogy a Ninnie 50-es cirkáló vitorláshajóban elektromos segédhajtás elektromos hajtásrendszerét megtervezve a külső paramétereket figyelembevéve (pl.: súlysámítás) a megrendelő átfogó képet kapjon arról, milyen alkatrészek beszerzése szükséges, hogyan lehetséges ezek beépítése, illetve az elkészült új elektromos segédhajtással milyen paraméterek változnak meg a vitorláshajóban (sebesség, úszáshelyzet, karbantartás). Az első és második fejezetben megismert eredeti szerkezetből kiindulva a harmadik fejezetben létrehozott modell alapján a negyedik fejezetben tárgyalt átépítés tervezhető és rajzokkal dokumentálhatóvá vált. Emellett a vevő megismert több alternatívát is (pl.: propeller, akkumulátor elrendezés terén), ezek között a döntést pedig műszakilag megalapozottan tudta meghozni. A hatótáv becslés kapcsán végzett számításokkal pontos képet kapott arról, hogy a hajó hajtását szolgáló akkumulátorok az adott úton való haladást kapacitásuknál fogva mennyi ideig bírják, ebből pedig egyenesen következett a hajó szolgálati sebessége. A súlysámítás segítségével véglegessé vált az átépítés utáni súlypont helyezete, illetve ezeknek az adatoknak a birtokában megalapozottan lehet dönteni az akkumulátorok kapacitásáról és beépítésének helyéről. Az ISO számítás során bebizonyosodott, hogy a hajtáslánc átépítése mellett egyéb, nem a hajtásláncba köthető beavatkozásokra is szükség van, viszont ezek eszközölésével a hajó megfelel a hatósági előírásoknak. A VPP diagramból levonható a következtetés, miszerint az átalakítás miatti minimálisnak mondható sebességcsökkenéssel együtt a túravitorlással való felhasználói célt a hajó maradéktalanul kiszolgálja. Összefoglalásképpen elmondható, hogy a segédhajtással szembeni elvárásokat (mérsékelt korlátozásokkal való motoros közlekedés a Balatonon) az átépítéssel meg lehet valósítani, mégpedig úgy, hogy az átépítés az úszáshelyzetben, a várható hajósebességben minimális változást okoz. Reményeim szerint a mellékelt rajzok segítik a motor beépítésének és az alkatrészbeszerzésnek folyamatát, a táblázatos vizsgálatok pedig meggyorsítják a hitelesítési feladatot, így még a tavaszi vitorlás szezon kezdetén vízrebocsátható lehet a hajó.

Ábrák jegyzéke

1. ábra: Hajó főbb adatai táblázatosan.....	3
2. ábra: Eredeti vitorlarajz (több tervezett verzió vitorlázatával).....	4
3. ábra: Korrigált 2D-s rajzok raszterre illesztése	8
4. ábra: Maxsurf Resistence által használható elleállásszámító módszerek.....	10
5. ábra:Ellenállás számító módszer kiválasztásának összefoglalása	11
6. ábra:Teljes ellenállás a Froud-szám függvényében (Michlet program eredményeivel kiegészítve).....	12
7. ábra: Súlypont és hajótömeg összefoglalás	13
8. ábra: Hajó farrésze, a motor beépítésének helye metszetben	15
9. ábra: Python Drive tengelykapcsoló.....	16
10. ábra: Példák a vékony lemezekhez való csatlakoztatásra.....	17
11. ábra: Speciális alátét.....	18
12. ábra: Sail Drive hajtás.....	19
13. ábra: Átépitett hajtáslánc elemei	20
14. ábra: Átépitett hajtáslánc tervrajza	21
15. ábra: Effektív teljesítmény-sebesség diagram	25
16. ábra: Effektív teljesítmény-idő diagram	26
17. ábra: Motorteljesítmény-idő diagram	26
18. ábra: Lemerítő áram - idő diagramm.....	27
19. ábra: Áramerősség-görbék metszéspontja.....	28
20. ábra: Wageningen B 5-105-ös hajócsavarok nyíltvízi jelleggörbéi	30
21. ábra: Kavitációs ellenőrzés eredményei	32
22. ábra: B típusú hajócsavarok kavitációs jelleggörbéje	35
23. ábra: Optimális fordulatszám, és a hozzá tartozó emelkedési arány	37
24. ábra: Vontatási jelleggörbe.....	35
25. ábra: Súlyponthelyzet hajtáslánc terhe nélkül	37
26. ábra: Útszakaszra szánt idő 160Ah akkukapacitás esetén.....	38
27. ábra: Súlyponthelyzet beépített hajtáslánccal (160Ah akkumulátorokkal)	39
28. ábra: Súlyponthelyzet beépített hajtáslánccal (400Ah akkumulátorokkal)	40
29. ábra: Az elárasztási magasság kritikai határa a hajóhossz függvényében.....	41
30. ábra: Reed diagram (egy fővel, szél felőli oldalon, kormányosi ülőhelyen).....	42
31. ábra: "hce" és "hlp" értékek számításához szükséges rajz a víz alatti felület és a vitorlafelület súlypontjával jellemző vitorlafelállással	43
32. ábra: ISO vizsgálatok legfontosabb vizsgált kérdései és a hajó mfelelősége, szükséges javítások	44
33. ábra: Polár diagram az áépítés előtti (bal) és utáni (jobb) állapotra	45
34. ábra: Átépités előtti (v1) és utáni (v2) sebességek aránya a szélsősebesség függvényében	47

Felhasznált irodalom

Könyv:

- [1] *Simongáti Győző Kishajók*. Budapest, Európa, (2001).34-60. ISBN 978-963-279-643-7.
- [2] *Kovács Attila, Benedek Zoltán A hajók elmélete*. Budapest, Európa, (1988). 311-385. ISBN 963 18 0491 7.
- [3] *Simongáti Győző Kishajók II*. Budapest, Tankönyvkiadó, (1988). 8-9., 110-120 ISBN 978 963 454 303 9.

ISO Szabványok:

- [4] *European International Stanards. EN ISO 12217-2:2002 + Corrigendum No. 1.* (EN ISO 12217-2:2002 E) London, British Standards, (2002) pp. 4-63.
- [5] *European International Stanards. EN ISO 11812:2002.* (EN ISO 11812:2002 E) London, British Standards, (2001) pp. 3-44.

Elektronikus dokumentumok:

- [6] **LIFEPO4 és LIFEYPO4 lítium-vas-foszfát akkumulátorok.**
<https://www.energom.hu/akkumulatorok/lifepo4-lifeypo4-litium-vas-foszfát-akkumulatorok> (letöltve 2020. október 24.)
- [7] **Motorhasználat a Balatonon. Mi számít szabályosnak?**
<https://vitorlazasmagazin.hu/az-ugyved-valaszol/motorhasznalat-a-balatonon-mi-szamt-szabalyosnak-24998/> (letöltve 2020. október 24.)
- [8] **Guide to electric inboard motors.** <https://plugboats.com/electric-inboard-boat-motors-guide-over-150-motors/> , (letöltve 2020. október 4.)
- [9] **Python-Drive features.**
<http://www.pythondrive.com/800/talen/eng/800%20eng.htm>, (letöltve 2020. október 2.)
- [10] **Bellmarine motors.** https://www.bellmarine.tech/wp-content/uploads/2020/06/BELLMARINE_GB_20.05_LQ-1.pdf (letöltve 2020. október 24.)
- [11] **Bruntons Varifold Propellers.**
<https://shop.tnorrismarine.co.uk/collections/bruntons-varifold-propellers> (letöltve: 2020. október 31.)
- [12] **3-Blade Shaft Folding Propellers.** <https://flexofold.com/folding-propellers/5-shaft-propellers/17-3-blade-shaft-folding-propeller/> (letöltve: 2020. október 31.)
- [13] **3-Blade Folding Propellers.** <https://kingpropulsion.com/folding-sailboat-propeller-3-blade/> (letöltve: 2020.október 31.)

- [14] **Folding propellers for saildrive and shaft.**
<https://www.volvopenta.com/parts/propellers/folding-propellers-for-saildrive-and-shaft/> (letöltve: 2020.október 31.)
- [15] **Winston 160 Ah Wide.** <https://www.green-scooter.hu/winston-160ah-b> (letöltve: 2020 október 31.)
- [16] **Rezgéscsillapító.** <http://meta-vulk.hu/termek/PLO/> (letöltve: 2020 október 31.)
- [17] **Vetus termékek katalógusa.**
<http://viewer.zmags.com/publication/4a7db1e9#/4a7db1e9/18> (letöltve: 2020. november. 14.)
- [18] **Users Manual for Maxsurf Resistance.**
https://forum.katera.ru/index.php?app=core&module=attach§ion=attach&attach_id=441719 (letöltve: 2020. november. 19.)
- [19] **VETUS hajócsavarok.** <https://www.vetus.com/en/vetus-3-bladed-propeller-p3b-12-x-9-right-handed.html> (letöltve: 2020. november. 19.)
- [20] **Hajócsavar-kiválasztás számítógépes optimalizációja.**
http://dportal.kozlek.bme.hu/hallgato/dolgozatok_lista.php?kepzes=msc&tid=VRH-T-M-H-2015-7 (letöltve: 2020. november 11.)

1. Melléklet: Kutatói adatlap és engedély a Veszprémi Levéltárból

Kutatói adatlap - Magyar Nemzeti Levéltár

A kutató neve: Lévai Emese
E-mail cím: levai.emese@freemail.hu
Ügyfélkapun autentikált: Nem
Dátum: 2020.10.05.
A kutató születési vezetékneve:
A kutató születési utóneve(i):
Anyja születési vezetékneve: Virághalmy
Anyja születési utóneve(i): Sarolta
A kutató születési helye: Kaposvár
A kutató születési ideje (év-hónap-nap): 1998.08.19.
Állampolgárság: magyar

A kutató állandó lakhelye

Ország: Hungary
Város: Érd
Út/utca/tér, stb.: Kövező
Házszám, emelet, ajtó, stb.: 75
Irányítószám: 2030

A kutató levelezési címe, ha eltér az állandó lakcímétől

Ország (levelezési cím): Hungary
Város (levelezési cím):
Út/utca/tér, stb. (levelezési cím):
Házszám, emelet, ajtó, stb. (levelezési cím):
Irányítószám (levelezési cím):
Telefonszám:
Mobilszám:
A kutatás tárgya: 50 méteres sehartkreuzer vitroláshajó modellezése
A kutatási téma időhatára (pontos évkör vagy század): 1950-2020
A kutatás jellege: Tudományos

Kutatói nyilatkozat elfogadása

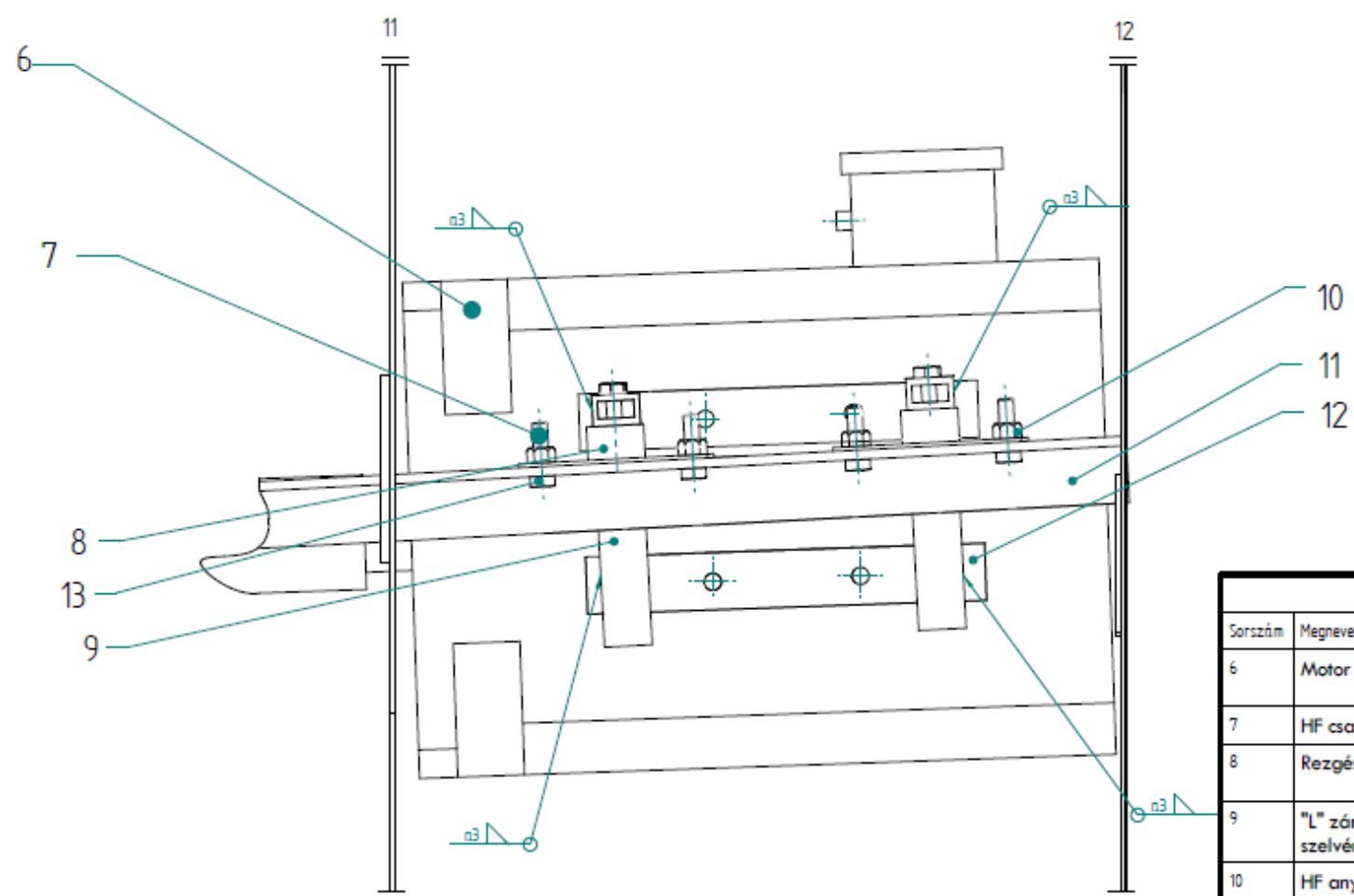
Nyilatkozat

Elfogadom: Igen

Nyilatkozat a levéltári iratok betekintői adatainak megismerhetőségéről

Kiadható a levelezési címem: Igen
Kiadható az e-mail címem: Igen
Kiadható a telefonszámom/mobilszámom : Igen
Adataim kiadásáról értesítést kérek a levelezési címemre: Igen
Adataim kiadásáról értesítést kérek az e-mail címemre: Igen
Adataim kiadásáról nem kérek értesítést.: Igen

2. Melléklet: Motor felfüggesztés rajza

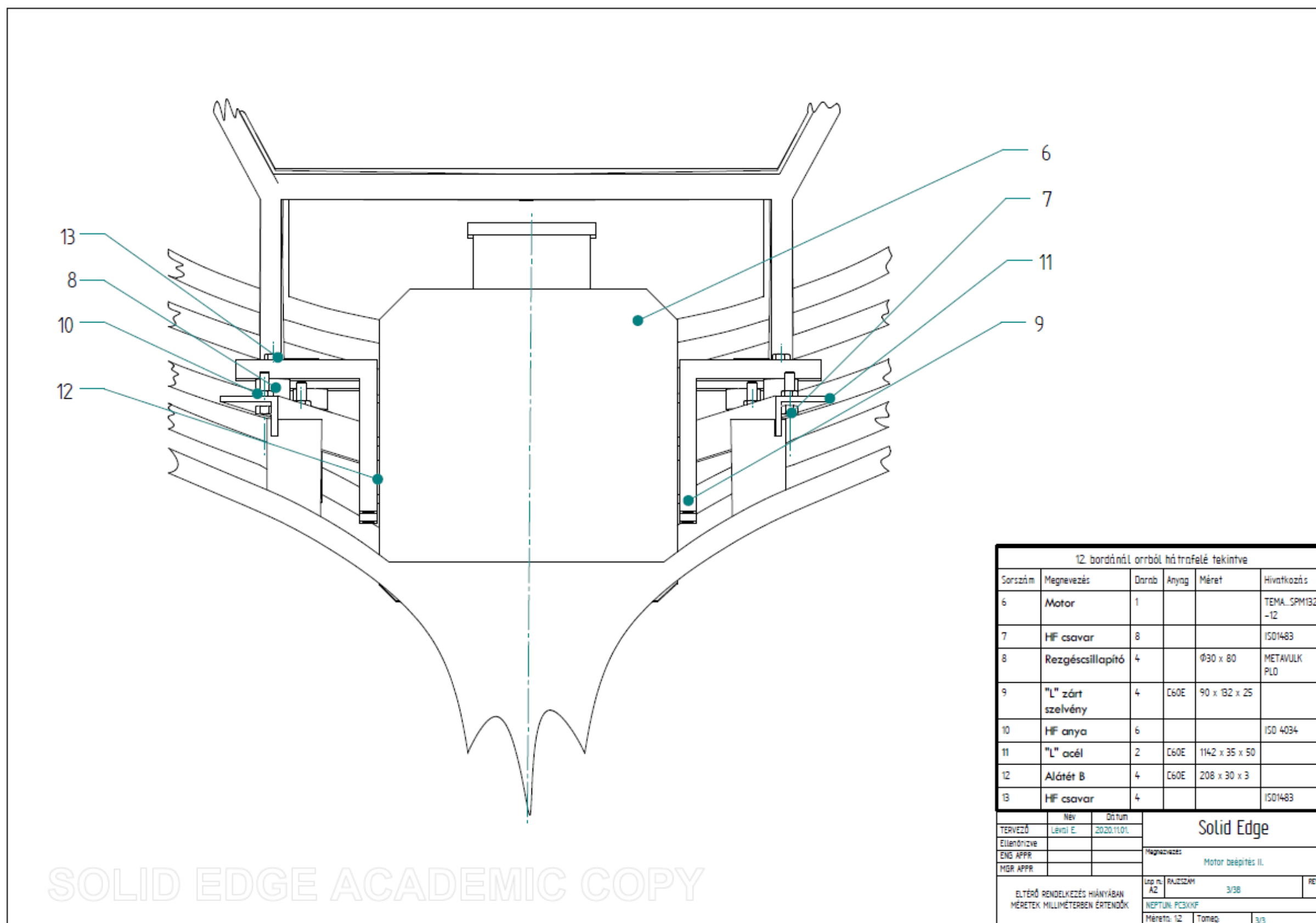


Sorszám	Megnevezés	Darab	Anyag	Méret	Hivatkozás
6	Motor	1			TEMA...SPM132-12
7	HF csavar	8			ISO1483
8	Rezgéscsillapító	4		Ø30 x 80	METAVULK PLO
9	"L" zárt szelvény	4	C60E	90 x 132 x 25	
10	HF anya	6			ISO 4034
11	"L" acél	2	C60E	1142 x 35 x 50	
12	Alátét B	4	C60E	208 x 30 x 3	
13	HF csavar	4			ISO1483

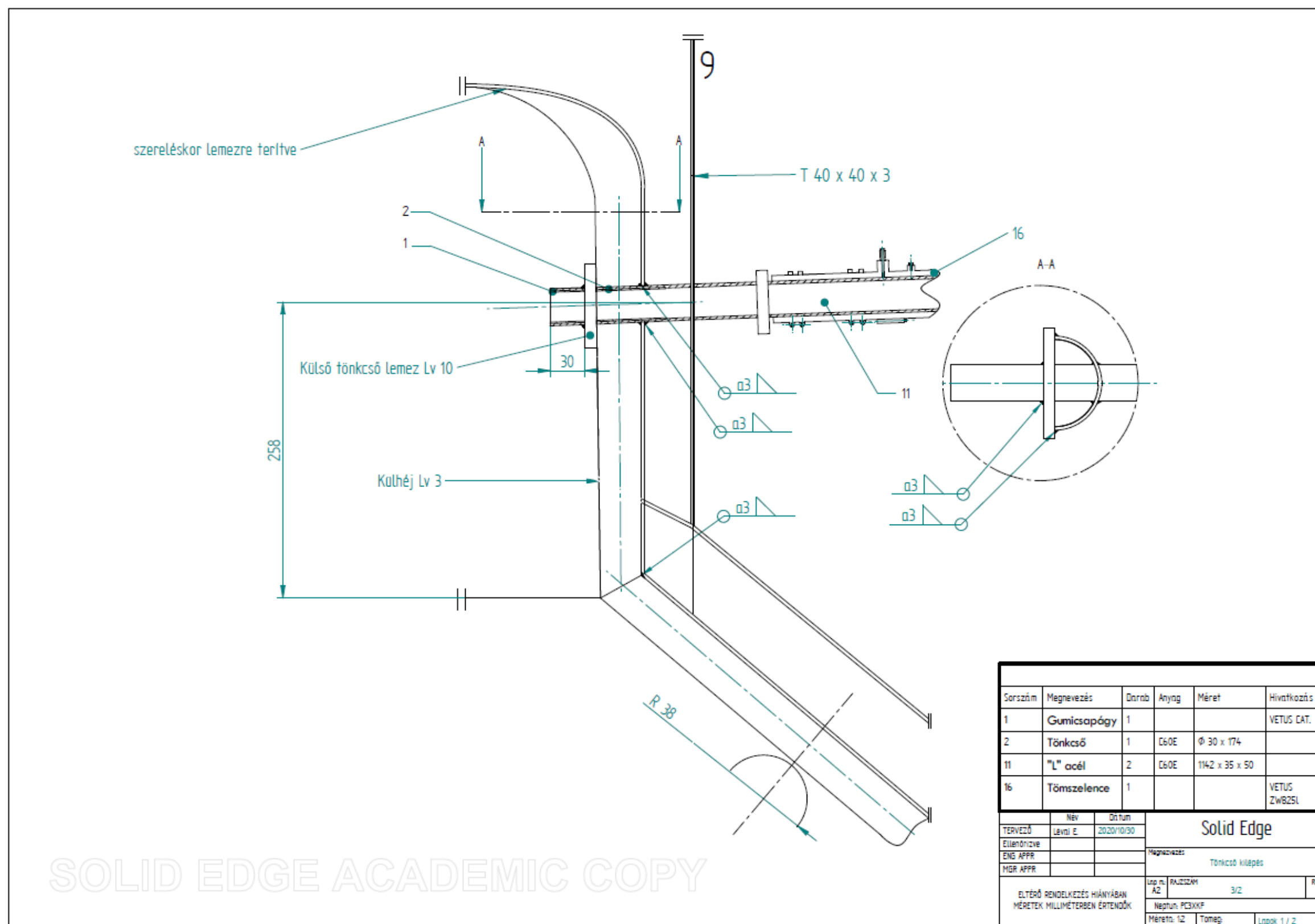
TERVEZŐ	Név	Datum	Solid Edge	
Ellenőrzve	Levit E.	2020/11/07		
ENG. APPR.			Megnevezés	
MGR. APPR.			Motor beépítés L	
ELTÉRŐ RENDELKEZÉS HIÁNYÁBAN MÉRETEK MILLIMÉTERBEN ÉRTENDŐK			Lap n.	REV
			A2	3/3A
			NEPTUNPC3XXF	
			Méret: 12	Tomeg: 3/3

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

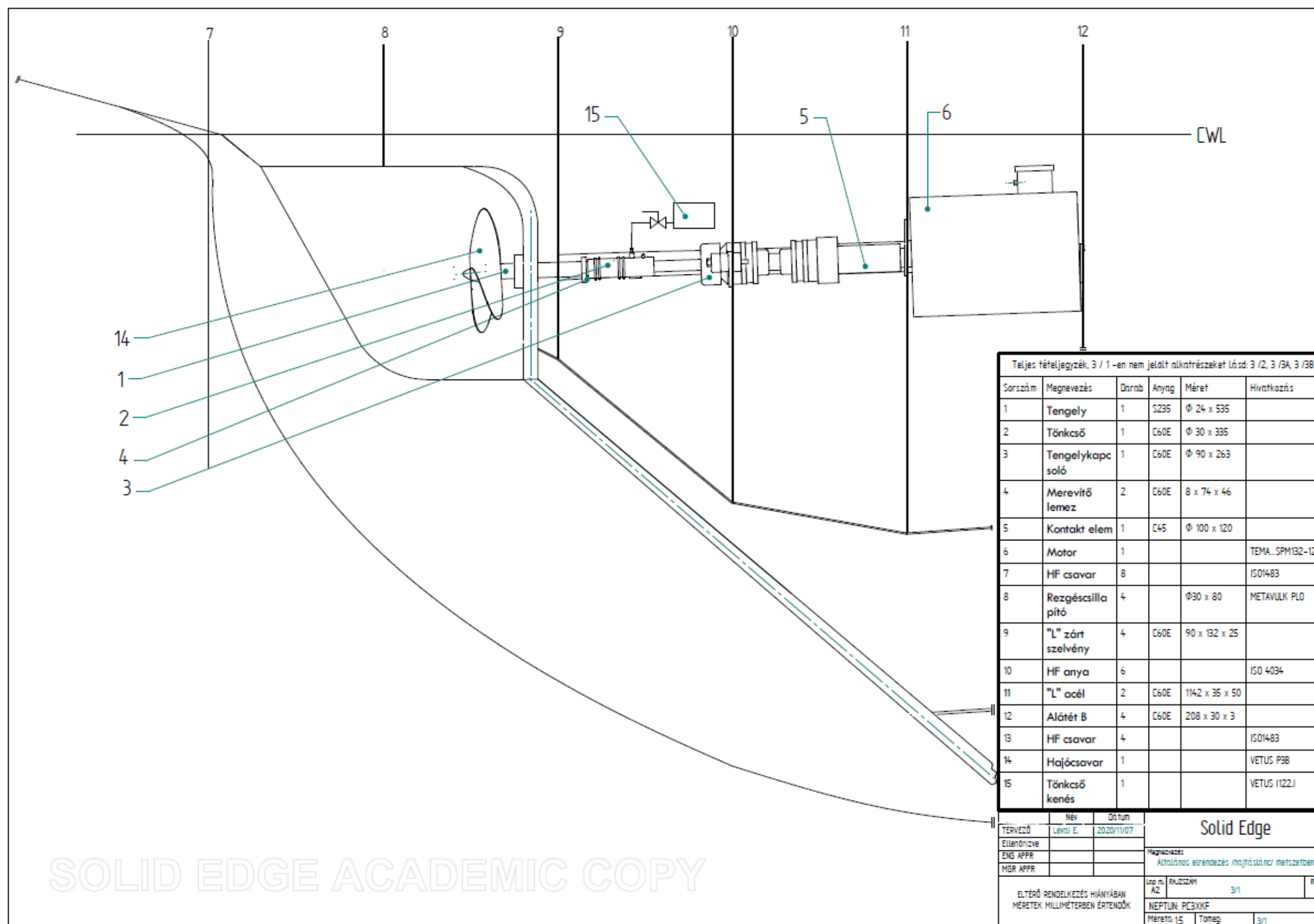
3. Melléklet: Motor felfüggesztés rajza az orrból a far felé tekintve



4. Melléklet: Tönkcső beépítésének rajza



5. Melléklet: Hajtáslánc összeállítási rajza metszeben



6. Melléklet: Tételek tömege, pozíciója és beszámítási megítélése a súlyszámításhoz

Berendezés teljes tömegének számítása (általános elrendezési rajzokról)				
Tétel	Száma	Tömege [kg]	Össztömege [kg]	Új tömeg [kg]
Hűtőszekrény fal	1	4,60788	4,60788	4,60788
Hűtőszekrény ajtó	1	2,81136375	2,81136375	2,81136375
Polcok (alsó)	2	3,5955	7,191	0
Asztallap	1	8,554	8,554	20,748
Peremléc	1	0,1203475	0,1203475	0,1203475
Polc (felső)	1	1,7954282	1,7954282	1,7954282
Tányértartó	1	0,684	0,684	0,684
Szekrény ajtó (kicsi)	1	1,1109	1,1109	1,1109
WC belső térelválasztó	1	1,4283	1,4283	1,4283
WC ajtó	1	46,2259773	46,2259773	46,2259773
Ágy tető	4	13,09275	52,371	52,371
Ágy fal	4	7,6375	30,55	30,55
Szekrényajtó	8	10,575	84,6	84,6
Mennyezet borítása	1	1,587	1,587	1,587
Szekrényajtó felső	8	0,532	4,256	4,256
Szekrény alja (oldalt)	4	0,981824	3,927296	3,927296
Szekrény oldala (oldalt)	4	1,52	6,08	6,08
Szekrényajtó (oldalt)	4	7,6	30,4	30,4
Szekrényajtó (elülső)	2	2,2876	4,5752	4,5752
Szekrénytető (elülső)	1	0,608	0,608	0,608
Szekrényoldal (elülső)	1	27,508	27,508	27,508
Polcok (elülső)	2	0,73696	1,47392	1,47392
Fiókok alja	4	1,0904	4,3616	0
Fiókok oldala	8	0,36472	2,91776	0
Fiókok eleje	4	0,264422	1,057688	0
Fülkeajtó	1	15,47325	15,47325	15,47325
Lejárati ajtó	1	3,57075	3,57075	3,57075
Felépítmény ajtaja	1	2,0829375	2,0829375	2,0829375
Padló betétlemez 1.	1	3,3605	3,3605	3,3605
Padló betétlemez 2.	1	3,3605	3,3605	3,3605
Padló betétlemez 3.	1	5,2734	5,2734	5,2734
Padló betétlemez 4.	1	6,8244	6,8244	6,8244
Padló betétlemez 5.	1	3,48975	3,48975	3,48975
Kivehető padló	1	4,9632	4,9632	4,9632
Fix padló 1.	2	4,9115	9,823	9,823
Fix padló 2.	1	6,0489	6,0489	6,0489
Fix padló 3.	1	7,1346	7,1346	7,1346
Padló tartó	17	0,752	12,784	12,784
Összekötő lécz	2	0,01210352	0,02420704	0,02420704
Felépítmény fala	2	0,0715208	0,1430416	0,1430416
Fedélzet borda	22	0,987	21,714	21,714
Kötőléc	2	0,009522	0,019044	0,019044
Szegélyléc	2	0,003174	0,006348	0,006348
gomba lécz	2	0,01058	0,02116	0,02116
vezető lécz	2	0,256036	0,512072	0,512072
keresztmerevítő	1	8,993	8,993	8,993
Első rész	1	3,8088	3,8088	3,8088
Sarok rész	2	7,406	14,812	14,812
Polc szegélyléc	2	0,0009981	0,0019962	0,0019962
Borítás	1	247	247	247
Mennyezet borítása	1	197,4	197,4	197,4
Válaszfal (11.borda)	1	16,0975	16,0975	16,0975
Válaszfal (15.borda)	2	7,6375	15,275	15,275
Válaszfal (20.borda)	1	15,275	15,275	15,275
Fedélzet borítás	1	124,55	124,55	124,55
WC	1	0	0	9,6
Mosdó	1	0	0	13,2
Lépcső	1	0	0	11
Szerelőnyílás keret	1	0	0	0,86
Indukciós főzőlap	1	0	0	2
Navigációs fények	1	0	0	0,3
Hűtő	1	0	0	4,6
TV	1	0	0	6
Fűtőtest	1	0	0	3
Belső világítás	3	0	0	3,6
Ventillátor	1	0	0	3

37	hajlítót fűzőpánt	3		353/11-0H	3 bafos
36	ajtózárr	1			
35	súly fejtű fűzősáv	100	5r.63		padló
34	linóleum	6m ²			
33	beréső fiókzár	2			
32	hajlítót fűzőpánt	8		353/11-0H	4 bafos
31	padló szegély	1	3r.63	3x 36 x 18 fm.	
30	padló kiemelő	1	rot.5		
29	sarok rész	2	mahag.	40 x 350 x 400	
28	első rész	1	---	30 x 800 x 800	
27	keresztmerevítő	1	---	80 x 250 x 650	
26	vezető lécz	2	mahag.	22 x 40 x 550	
25	gomba lécz	2	fényf.	20 x 40 x 20 fm.	
24	szegély lécz	2	fényf.	20 x 50 x 6 fm.	
23	összekötő lécz	2	mahag.	25 x 120 x 6 fm.	
22	vázson	4m ²			
21	fedélzet borítás	q.120 ²	fényf.	12x60	
20	fedélzet borítás	q.120 ²	fényf.	10x60	
19	fedélzet borda	22	kőris	25 x 30 x 2000	
18	felépítmény fal	2	mahag.	26 x 650 x 8 fm.	
17	összekötő lécz	2	mahag.	22 x 130 x 8 fm.	
16	padló tartó	17	fényf.	40 x 40 x 1000	
15	fix padló	2	fényf.	22 x 300 x 2300	
14	fix padló	1	---	22 x 480 x 1300	
13	fix padló	2	---	22 x 280 x 1900	
12	kivehető padló	1	---	22 x 400 x 1200	
11	---	1	---	22 x 480 x 750	
10	---	1	---	22 x 600 x 1100	
9	---	1	---	22 x 600 x 750	
8	---	1	---	22 x 500 x 650	
7	---	1	---	22 x 500 x 650	
6	felépítmény ajtó	2	mahag.	23 x 225 x 700	
5	ajtó	2	---	25 x 300 x 900	
4	fülke ajtó	1	mahag.	25 x 630 x 1800	
3	válaszfal	1	fényf.		20-as borda
2	válaszfal	2	---		15-ös
1	válaszfal	1	---		11 1/2-es borda

35	hajlítót fűzőpánt	4		351/11-0H	2 bafos
34	hűtőszekrény pánt	4			
33	hűtőszekrény zár	2		90°-os	
32	hajlítót fűzőpánt	44		352/11-0H	3 bafos
31	fiókzár (beréső)	21			
30	hajlítót fűzőpánt	3		353/11-0H	3 bafos
29	borítás alátét	q.120 ²	fényf.	40 x 40 q.120 m ²	
28	borítás	q.120 ²	rag.lam	5 m ² m-es	
27	fiók	4	mahag.	fenék és old.fenyő	
26	polc	2	fényf.		
25	szekrény fal	1	mahag.	20 x 1300 x 2000	fényf.námán
24	---	1	---	20 x 40 x 2000	---
23	ajtó	2	---	20 x 350 x 850	---
22	polcpenem	4	---	20 vastag	
21	polc fenék	4	rag.lam	4 x 500 x 2000	
20	ajtók	4	mahag.	20 x 280 x 320	
19	ajtók	8	---	20 x 280 x 280	
18	mennyezet borítás	1	rag.lam	3 m ² m-es 44m ²	
17	ajtók	8	mahag.	20 x 300 x 500	
16	ágy oldal	4	---	25 x 480 x 2000	fényf.námán
15	ágy fenék	4	fényf.	25 x 100 x 6500	---
14	wc ajtó	1	mahag.	25 x 550 x 1800	
13	wc fal	1	---	25 vast.	
12	ajtó	1	---	20 x 300 x 350	fényf.námán
11	ajtó	1	---	20 x 300 x 450	---
10	tányér tartó	1	mahag.	20 x 150 x 600	
9	polc	1	rag.lam	4 vast.	fényf.námán
8	perem lécz	1	mahag.	10 x 35 x 1300	
7	eternit lap	1		5 x 700 x 1300	piros
6	asztallap	1	fényf.	20 x 700 x 1300	
5	polc	2	q.120	1 x 300 x 850	horganyozott
4	hűtőszekrény borítás	1	q.120	q.120	horganyozott
3	---	q.120	keret	40 x 40	
2	---	2	skabáló		mahag. furnér
1	hűtőszekrény fal	1	skabáló		---

7. ISO hitelesítő táblázatok

ISO 12217-2 Sail, 6 m or longer

Annex 1 (informative) Worksheets

ISO 12217-2 SAILING BOATS OF LENGTH GREATER THAN OR EQUAL TO 6M

CALCULATION WORKSHEET No1 Design

Esthajnal 50m²-es cirkáló

Designed class	Monohull			
Item	Symbol	Unit	Value	Ref.
Length of Hull as in ISO 8666	L _H	m	13,2	3.4.1
Mass				
Maximum Total Load	CL	-	8	3.5.4
Desired crew limit				3.6.3
Mass of:				
Desired crew limit at 75kg each		kg	600	
Provisions + personal effects		kg	90	
fresh water		kg	150	
Fuel		kg	0	
other liquids carried aboard		kg	0	
stores, spare gear and cargo (if any)		kg	0	
optional equipment and fittings			0	
not included in basic outfit		kg	0	
Inflatable liferaft		kg	8	
other small boats carried aboard		kg	0	
margin for future additions		kg	0	
Max. Total load = sum of above masses	m _{MTL}	kg	848	3.5.4
Light craft condition mass	m _{LCC}	kg	6592	3.5.1
Loaded displacement mass = m _{LCC} +m _{MTL}	m _{LDC}	kg	7440	3.5.6
Mass of:				
Minimum number of crew according to 3.5.2		kg	150	3.5.2
Essential safety equipment			45	
not less, than (L _H -2,5) ²		kg	114,49	3.5.2
non-consumable stores and equipment normally aboard		kg	50	3.5.2
water ballast in tanks which are notified in the owners manual. To be filled whenever the boat is afloat		kg	0	3.5.2
Inflatable liferaft		kg	8	3.5.2
Load to be included in the minimum operating condition	m _L	kg	322,49	3.5.2
Light craft condition mass	m _{LCC}	kg	6592	3.5.1
Mass in the minimum operating condition = m _{LCC} + m _L	m _{MOC}	kg	6914,49	3.5.3
Is the boat sail or non sail?			SAIL	3.1.2
Nominal sail area	A _S	m ²	60,9	3.4.8
Sail area/displacement ratio = A _S /(m _{LDC}) ^{2/3}		-	0,159797017	3.1.2
Classified as [non sail if, A _S /(m _{LDC}) ^{2/3} < 0,07] SAIL/Non Sail?			Sail	3.1.2
NB: If SAIL, continue using these worksheets, if non sail, use ISO 12217-1				
Go to Work sheet No. 2				

2. s. Calculation worksheet (APPLICABLE TESTS)

Choose any of the following options and use any worksheets that have been selected for this option.

Question	Answer	Ref.
Is the boat fully decked? (i. def. a ref.-ben) YES/NO	yes	3.1.8
Is the boat a catamaran or trimaran? YES/NO	no	3.1.3, 3.1.4
If NO, choose from the options 1 to 7, if yes, then:		
Length of Hull	L_H m	3.4.1
Beam between centres of buoyancy side hulls	B_{CB} m	3.4.5
Is ratio L_H/B_{CB} greater than 5 yes/no		7.1
If yes treat the boat as a monohull and chose from options 1-7, if no chooses option 8		
Mass in minimum operating condition	m_{MOC} kg	3.5.3
Mass in loaded displacement condition	m_{LDC} kg	3.5.6

NB: If $m_{LDC}/m_{MOC} < 1,15$, then all worksheets marked with a * below must be compiled for both conditions.

Select any of the following options and use all worksheets assigned to that option.

	All boats except catamarans and trimaran with $L_H/B_{CB} \leq 5$								Cat./Tris.
Option	1	2	3	4	5	6	7	8	
Categories possible	A+B	C+D	C+D	C+D	C+D	C+D	C+D	A-D	
Decking or covering?	fully decked	any amt	any amt	any amt	any amt	any amt	any amt	any amt	
Downflooding openings	3	3	3	3	3	3		3	
Downflooding angle	3	3							
Downflooding height	all boats	3	3		3				
test	full method	4	4		4				
Stability index	5	5							
Angle of vanishing stability	6*	6							
Knock down recovery test			7	7					
wind stiffness test					8	8			
Flotation requirement				9		9			
Capsize recovery test							10		
Multihull size factor									11
Stability information									12
Summary	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Options selected 5

Recess limitations (option1 only):

Item	symbol	unit	value	Ref.
Plan area of all recesses	A_R	m^2		6.1.5
Plan of all recesses forward of $L_H/2$	A_{RF}	m^2		6.1.5
Ratio of total recess plan area to length x beam	$A_R/L_H B_H$	-		6.1.5
Design category possible (A, $h_a < 0,2$, B, $h_a < 0,3$)				6.1.5
Ratio of forward recess plan area to length x beam	$A_{RF}/L_H B_H$			6.1.5
Design category possible (A, $h_a < 0,1$, B, $h_a < 0,15$)				6.1.5

ISO 12217-2

CALCULATION WORKSHEET No3 (DOWNFLOODING)

Downflooding openings:

Question	Answer	Ref.
Have all downflooding openings been identified? YES/NO	yes	6.2.1.1
Do all closing appliances satisfy ISO 12216? YES/NO	yes	6.2.1.2
Opening type appliances are not fitted below 0.2m above waterline unless they comply with ISO 9093 or ISO 9094? YES/NO	yes	6.2.1.3
Are all openings fitted with closing appliances? (except openings for ventilation and engine combustion) YES/NO	yes	6.2.1.5
Categories possible: A or B, if all are YES, . C or D, if the first three are yes	C	6.2.1

Downflooding Angle

Item	Symbol	Unit	Value	Ref.
Required value				6.2.3
Cats, A+B = 40°, C = 35°, D = 30°	$\Phi_{D(R)}$	degrees		Table 3
Actual downflooding angle, any opening atm_{MOC}	Φ_{DA}	degrees		3.3.2
if $m_{LDC}/m_{MOC} > 1,15$ then also at m_{LDC}	Φ_{DA}	degrees		3.3.2
Method used to determine Φ_{DA}				Annex B
Category possible on downflooding angle Φ_{DA}				6.2.3
Actual downflooding angle, to non quick draining cockpit	Φ_{DC}	degrees		3.3.2
Actual downflooding angle to main hatchway	Φ_{DH}	degrees		3.3.2

Downflooding Height

Requirement	Basic requirement	Reduced value for small openings
Applicable to	Options 1-6 and 8	Options 1-6 and 8, but only if figures are used
ref.	6.2.2.2.a)	6.2.2.2.b)
Obtained from figure 2 or annex A?	Annex A	= basic x 0,75
Maximum area of small openings ($50L_H^2$) (mm ²) =		8712
Required downflooding Height $H_{D(R)}$ (m)	Figure 2 Annex A Cat A Cat B Cat C Cat D	
Actual downflooding height h_D ref. 6.2.2.1	0,75	0,5625
Design category possible	C	megfelel
Overall Design category possible on downflooding height = lowest of above		C

Calculation Worksheet no 4 (Downflooding height)

Calculation using Annex A assuming use of option...

Calculation using Annex A assuming use of option...

Item	Symbol	Unit	Opening 1	Opening 2	Opening 3	Opening 4	Opening 5	Opening 6
Openings:			cocillibox	chainbox	companion way	coach	frontbox	topwindow
Least longitudinal distance from Bow/stern	x	m	4.02	2.40	4.42	5.89	2.15	4.56
Least transverse distance from gunwale	y	m	0.98	0.89	0.89	1.3	0.47	1.04
$F_1 = \text{greater of } (1-x/L_H) \text{ or } (1-y/B_H) =$	F_1	-	0.695455	0.81818182	0.665151515	0.553787679	0.83712121	0.654545455
Size of openings:								
Combined area of openings to top of any downflooding opening	a	mm ²	266782.5	354110	355710	179776	352130	161680
Longitudinal distance of opening from tip of bow	X_D	m	9.18	10.80	8.78	7.31	11.05	8.64
Limiting value of $a = (30L_H)^2$		mm ²	7.62E+10	7.6176E+10	76176000000	76176000000	7.6176E+10	76176000000
If a greater $(30L_H)^2, f_2 = 1.0$	F_2	-	1	1	1	1	1	1
If $a < (30L_H)^2, f_2 = 1 + X_D^2 / L_H (\sqrt{a/75L_H} - 0.4)$								
Size of recesses								
Volume of recesses which are not self-draining in accordance with ISO 11812	V_R	m ³	-	-	-	-	-	-
Freeboard amidships (see 3.4.6)	F_M	m	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
$K = V_R / (L_H B_H F_M)$	K	-						
If opening is not a recess, $F_3 = 1.0$								
If recess is quick draining, $F_3 = 0.7$ If recess is not quick draining, $F_3 = (0.7 + A^{0.5})$	F_3	-	1	1	1	1	1	1
Displacement								
Loaded displacement volume (see. 3.5.7)	V_D	m ³	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44	7.44
for monohulls $B = B_H$, for multihulls $B = B_{ML}$	B	m	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
$F_4 = [(10V_D)/(L_H B^2)]^{0.5}$	F_4	-	0.931673	0.93167344	0.931673444	0.931673444	0.93167344	0.931673444
Flotation								
For Boats using options from 3 or 4 $F_5 = 0.8$ For all other boats $F_5 = 1.0$	F_5	-	1	1	1	1	1	1
Required calculation height: $F_4 F_5 F_2 F_3 F_M F_1 / 15$	h_{grR}	m	0.570184	0.67080488	0.545339523	0.454035525	0.69	0.54
required downflooding height with limits applied	h_{grR}	m						
Cat A	h_{grR}	m						
Cat B	h_{grR}	m						
Cat C	h_{grR}	m	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Cat D	h_{grR}	m						
Measured downflooding height	h_D	m						
Design category possible			C	C	C	C	C	C
lowest of above =			0.570184	0.67080488	0.545339523	0.454035525	0.68633277	0.536643904

No. 8 Worksheet (wind stiffness test)

only for category C és D

Experimental method:

Item	Symbol	Unit	Unreefed
Boat prepared and weight positioned as in 6.6.2, YES/NO			
Final tension in pull-down line	T	kg	
Perpendicular lever between pull-down and mooring line	h	m	
Final angle of heel observed	Φ_T	fok	
Beam of hull	B_H	m	
Actual profile projected area of sails	A'_S	m ²	
Upright lever from center of sail area to underwater profile	$h_{CE}+h_{LP}$	m	
Calculated wind stiffness $\sqrt{(13hT+390B_H)/[A'_S(h_{CE}+h_{LP})(\cos\Phi_T)^{1,3}]}$	v_W	m/s	
Desing Category given according to Table 6 v_W rec =	13	m/s	

NB: Warning labels must be affixed to boat if category is based on reefed sail plan.

Alternative theoretical method:

Item	Symbol	Unit	Unreefed
Righting moment curve increased by one crew to windward YES/NO			yes
Option (from Worksheet 2) being used			yes
Design Category intended			C
Relevant calculation wind speed taken from Table 6	v_W	m/s	13
Actual profile projected area of sails	A'_S	m ²	60,9
Upright lever from center of sails area to underwater profile	$h_{CE}+h_{LP}$	m	6,28
Calculate: $0,75v_W^2 A'_S(h_{CE}+h_{LP})$	M_{WO}	Nm	48468,07
From righting moment curve and wind heeling curve [= $M_{WO}(\cos\Phi)^{1,3}$] resulting angle of heel	Φ	fok	-30,3078178
Is $\Phi < \Phi_{DA}$, (No.3. Worksheet) and $< 45^\circ$? YES/NO			YES
If YES, Design Category given:			C

NB: Warning labels must be affixed to boat if category is based on reefed sail plan.

13. sz. Számítási munkalap (ÖSSZEFOGLALÓ)

Design description: Esthajnal 50m ² -es cirkáló				
Design category intended:	C	Crew limit:	8	Date: 2020.11.04

Sheet	Item	Symbol	Unit	value		
1	Lenght of hull as in ISO 8666 szerint	L_H	m	13,2		
	Mass:					
	Maximum total load	m_{MTL}	kg	848		
	Light craft condition mass	m_{LCC}	kg	6592		
	Loaded displacement mass= $m_{LCC}+m_{MTL}$	m_{LDC}	kg	7440		
	Minimum operating mass	m_{MOC}	kg	6914,49		
1	Is boat sail or non-sail? SAIL/NON SAIL			Sail		
2	Option selected			5		
3		Unit	Required	Actual	Pass/Fail	
	Downfloading openings: are all requirements met?				C	
	Downfloading angle: to any opening, Φ_{DA}	degree	>			
	to non-quick draining cocpit, Φ_{DC}	degree	//////		//////	
	to main access hatchway, Φ_{DH}	degree	//////		//////	
3 and 4	Downfloading height: Worksheet employed for basic height					
	basic requirement 0,75	m	<=	0,75	C	
	reduced height for small openings (sheet3 o 0,5625	m	<=	0,5625	C	
5 and 6	stability index: (options 1+2 only) $STIX$					
6	Angle of vanishing stability: (options 1+2 only) Φ_v					
7	Knockdown recovery test: option 3+4 only) PASS/FAIL?					
	method used= experimental or theoretical?					
	Design category =				//////	
8	Wind stiffness test: (option 5+6 only) $v_W = 13$		m/s	>	13	0
	Designcategory = 0					//////
	Was reefed sail area used? (i.e.: are warning labels required)					//////
9	Flotation requiremet: ratio $m_{LDC}/V_B =$ option 4, 6 + 8 only		kg/m ³	<		
10	Capsize recovery test (option 7 only)					
	Design category recommended by the builder					//////
11	multihull size factoer: (option 8 only) size factor =			>		
12	Stability information: (option 8 only) Info. Supplied like Table F.1				YES/NO	
NB: Boat pass all requirements apploicable to option t be given intended Design category.						
Design Category Given:		C	Assessed by: Lévai Ernese			

8. VPP diagramhoz használt adatsor

Szélsebesség: 6 csomó			
Béta	v2	v1	v1/v2
35	2,74	2,85	1,040146
39	3,15	3,25	1,031746
42	3,41	3,51	1,029326
45	3,64	3,73	1,024725
50	3,95	4,03	1,020253
60	4,36	4,43	1,016055
75	4,6	4,65	1,01087
90	4,46	4,51	1,011211
100	4,14	4,18	1,009662
110	3,66	3,69	1,008197
Szélsebesség: 8 csomó			
Béta	v2	v1	v1/v2
35	3,71	3,57	1,039216
39	4,2	4,09	1,026895
42	4,49	4,39	1,022779
45	4,73	4,63	1,021598
50	5,06	4,97	1,018109
60	5,55	5,45	1,018349
75	5,83	5,76	1,012153
90	5,62	5,55	1,012613
100	5,17	5,12	1,009766
110	4,65	4,61	1,008677
Szélsebesség: 20 csomó			
Béta	v2	v1	v1/v2
35	6,54	5,83	1,121784
39	6,95	6,45	1,077519
42	7,16	6,72	1,065476
45	7,33	6,92	1,059249
50	7,54	7,19	1,048679
60	7,82	7,58	1,031662
75	7,97	7,85	1,015287
90	7,83	7,78	1,006427
100	7,64	7,62	1,002625
110	7,41	7,41	1

