

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## DESIGN PODVODNÍHO SKÚTRU

DESIGN OF UNDERWATER SCOOTER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL KŘIVAN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. akad. soch. LADISLAV KŘENEK,  
Ph.D.

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Michal Křivan

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Průmyslový design ve strojírenství (2301T008)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Design podvodního skútru**

v anglickém jazyce:

### **Design of underwater scooter**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je vytvořit design podvodního skútru. Návrh musí splňovat obecné předpoklady průmyslového designu - respektovat funkční, konstrukční, technologické, estetické a ergonomické zákonitosti. Navíc musí vykazovat jistou míru nadčasovosti, invence, to vše s přihlédnutím ke specifickým požadavkům kladeným na tento typ produktu.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Vývojová, technická a designérská analýza tématu
2. Variantní studie designu
3. Ergonomické řešení
4. Tvarové (kompoziční) řešení
5. Barevné a grafické řešení
6. Konstrukčně-technologické řešení
7. Rozbor dalších funkcí designérského návrhu (psychologická, ekonomická a sociální funkce).

Forma diplomové práce: průvodní zpráva (text), sumarizační poster, designérský poster, ergonomický poster, technický poster, model (design-manuál).

výstup RIV: funkční vzorek

Seznam odborné literatury:

DREYFUSS, H. - POWELL, E.: Designing for People. New York : Allworth, 2003.

JOHNSON, M.: Problem solved. London : Phaidon, 2002.

NORMAN, D. A.: Emotional Design. New York : Basic Books, 2004.

TICHÁ, J., KAPLICKÝ, J.: Future systems. Praha : Zlatý řez, 2002.

WONG, W.: Principles of Form and Design. New York : Wiley, 1993.

Časopisy: Design Trend, Designum, Form, ID, Idea magazine ap.

Vedoucí diplomové práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 9.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

---

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá návrhem podvodního skútru pro pohyb ve více potápěčích. Tomu by měl pomoci systém elektromagnetických úchytů, pomocí nichž by se daly k většímu stroji připojit menší skútry a jiné vybavení.

Práce je pojata spíše jako designérské a ergonomické řešení, zatímco konstrukce se pohybuje na úrovni konceptu.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the design of an underwater scooter, which is meant to be used by group of divers. That should be helped by a system of electromagnetic devices, through which could be smaller scooters and other equipment connected with a greater machine.

The work is approached more as a design and ergonomics solution, while the construction is associated with conceptual level.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

podvodní, skútr, potápění, design

## **KEY WORDS**

underwater, scooter, diver, propulsion, vehicle, diving, design

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KŘIVAN, M. Design podvodního skútru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 62 s. Vedoucí diplomové práce doc. akad. soch. Ladislav Křenek, Ph.D.



---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Design podvodního skútru vypracoval sám a že jsem všechny použité zdroje uvedl do seznamu použité literatury.

Michal Křivan



---

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. akad. soch. Ladislavu Křenkovi ArtD. za jeho cenné rady v průběhu diplomové práce. Velké díky patří firmě Evektor s.r.o. za ochotu a pomoc při práci na modelu.

Děkuji hlavně své rodině a přátelům za podporu během celého studia.



---

**OBSAH**

<b>OBSAH</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD</b>	<b>11</b>
<b>1 HISTORICKÁ ANALÝZA</b>	<b>13</b>
<b>2 TECHNICKÁ ANALÝZA</b>	<b>15</b>
2.1 Pohon	15
2.1.1 Pohonná jednotka	15
2.1.2 Motor	17
2.1.3 Zdroj energie	17
2.2 Konstrukce	20
2.3 Materiály	21
<b>3 DESIGNÉRSKÁ ANALÝZA</b>	<b>22</b>
3.1 Obecné rozdělení podvodních skútrů	22
3.2 Současné trendy	23
<b>4 VARIANTNÍ STUDIE</b>	<b>25</b>
4.1 Varianta první	25
4.2 Varianta druhá	27
<b>5 ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>30</b>
5.1 Kontakt s potápěčem	30
5.2 Displej a ovládací prvky	32
5.3 Bezpečnostní prvky a údržba	33
<b>6 TVAROVÉ A KOMPOZIČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>35</b>
6.1 Přední kapota	35
6.2 Zadní kapota	36
6.3 Celková kompozice	38
<b>7 KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>39</b>
7.1 Rozměrové řešení	39
7.2 Motor a pohon	39
7.3 Akumulátory	40
7.4 Elektronika	41
7.5 Konstrukce a materiály	41
7.6 Připojení přídavných zařízení	42
<b>8 GRAFICKÉ ŘEŠENÍ</b>	<b>44</b>
8.1 Barevné řešení	44
8.2 Grafické řešení	45
<b>9 ROZBOR DALŠÍCH FUNKCÍ DESIGNÉRSKÉHO NÁVRHU</b>	<b>46</b>
9.1 Psychologická funkce	46
9.2 Ekonomická funkce	47
9.3 Sociální funkce	47
<b>ZÁVĚR</b>	<b>48</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>55</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>57</b>



## ÚVOD

Podvodní skútr je vodní dopravní prostředek sloužící primárně k rekreačnímu nebo výzkumnému účelu. Jeho krása spočívá v možnosti prozkoumávat prostředí podmořského světa, které pro mnoho lidí stále zůstává neprobádaným a tajuplným místem.

Bohužel u většiny zařízení stále přetrvává design tvořený válcovým tvarem, který vychází z tvaru torpéda, jehož konstrukcí byly první podvodní skútry inspirovány. Dalším problémem je samoučelnost stroje, který sice potápěče dokáže dopravit do dané lokality, ale už mu nezbyvá místo pro přesun vybavení.

Cílem mé diplomové práce tedy je navrhnout a technicky podložit nový a inovativní design podvodního skútru. Plavidlo by mělo být schopné pohybovat se bez problémů v hloubce kolem 50 m a s maximální rychlostí do 12 km/h. Tomu by se měla podřídit technická část návrhu, hlavně volba materiálu a pohonného systému. Nový návrh by měl obsahovat místa pro uchycení nebo uložení výstroje, jako je záložní nádoba se zásobou vzduchu a vodotěsná kamera, pro snímání podmořského života. Především bych cílil na schopnost uchycení menších podvodních strojů, které nemají takovou maximální rychlost ani výdrž baterií. Pro lepší orientaci pod vodou a organizaci potápění by bylo vhodné zabudovat k displeji s údaji o provozu plavidla i potápěčský počítač, který většinou není součástí dnešních podvodních skútrů.



## 1 HISTORICKÁ ANALÝZA

1

Za historicky první podvodní skútry se považují „lidská torpéda“. První záznam o jejich použití se datuje do roku 1918, kdy se dva italské námořníci Raffaele Paolucci a Raffaele Rossetti rozhodli zničit několik nepřátelských plavidel v rakousko-uherském přístavu Istria, za použití torpéda upraveného pro převoz osob. Neměli však žádné dýchací přístroje, a tak museli plout s hlavami nad hladinou. Z tohoto důvodu byli zajati.

Pokus těchto mužů zaujal Italské námořnictvo. To během Druhé světové války zřídilo několik vojenských jednotek využívajících torpéda při potápění. V roce 1938 postavili pro jednu z nich podvodní dopravní prostředek „Siluro a Lenta Corsa“ neboli „Prase“. Přezdívku „Prase“ získalo plavidlo, protože ho nebylo jednoduché ovládat. Pohon zajišťovala v ocasu umístěná hnací hřídel, která přenášela moment z elektromotoru do lodního šroubu. Akumulátor, elektromotor a ovládací jednotka udržovaly nízké těžiště. To způsobilo, že se plavidlo nepřevrátilo, ani když se v něm nacházeli potápěči. Vztlak byl kontrolován pomocí vyvažovacích nádrží, nacházejících se na přídi a na zádi plavidla a ovládan byl dvěma ventily, připevněnými k řídicí páce. Na hladině byly nádrže doplněny za použití elektricky poháněné pumpy. Potápěč posazený vzadu ovlivňoval objem stlačeného vzduchu uvnitř balastní nádrže a tím vládal ponorné funkce vozidla. Hlavní balastní nádrž byla zabudována do izolované jednotky mezi předním a zadním řidičem. K manipulaci s náklonem a k zatáčení upravoval přední potápěč pozici směrovek upevněných k trupu. Mezi jeho kolony byla umístěna plynová páka sloužící k upravení rychlosti. Přední pozice páky byla neutrální. Když se s ní pohnulo doleva, rychlost se zvýšila. Pohyb v opačném směru způsobil, že se lodní šroub začal hýbat na druhou stranu. Na místa za potápěči byly přidány skladovací schránky, kam se vešlo dodatečné vybavení jako např. řezné náčiní proti sítím v přístavech. Na trup byly přidělané, kvůli ochraně před proudem, čelní skla z průhledného plastu. „Lidské torpédo“ dokázalo operovat ve hloubce 30 metrů a uniknout tak většině systémů zaměřených proti ponorkám. Námořníci používali princip uzavřeného okruhu a pod vodou vydrželi kolem 6 hodin.



Obr. 1 Lidské torpédo, [23]

Úspěch italských jednotek využívajících „lidská torpéda“ donutil ostatní národy k jejich vlastnímu vývoji těchto zařízení. Jeden z výsledných prototypů MK1 navrhli Angličané „Tiny“ Fell a Geoffrey Sladen. Oba dva byli velitelé v námořnictvu a Sladen se už předtím zabýval vývojem technologií pro potápění, když vytvořil jeden z potápěčských obleků. K trupu byla připevněna 9 litrová nádrž zakončená na obou koncích potrubím, spojujícím nádobu s odstředivou pumpou. Tento systém ovlivňoval vztlak vozidla. Potřeba nízkého těžiště bylo vyřešeno připojením šroubovacích závaží. Lidská torpéda se používají i v dnešní době, ale už jsou spíše zastoupeny podvodními skútry.[14]

Během studené války se vývojem zabývali jak Američané, tak Rusové. Většinou se jednalo spíše o prototypy vyrobené v malých seriích. Patří sem Pegasus z roku 1963, Areojet nebo ruský dopravní prostředek RO-1. O větší rozšíření se zasloužila až firma Farallon založená v roce 1970 Ralphem Osterhoutem. Ten ke konci 60. let se strojem MK1 představil svoji vizi podvodní dopravy. Na to reagovalo americké námořnictvo, tím že si u něj objednalo další stroj. Tak vznikl MK2, první stroj společnosti Farallon. Obě verze byly poháněné elektromotorem schovaným v hliníkové konstrukci. Firma Farallon navrhuje plavidla určená spíše pro odborníky a tak Osterhout založil v roce 1976 firmu Tekna. Ta se zabývá výrobou vybavení pro potápěče, jako jsou nože, svítilny atd. Do jejího portfolia ale patří i podvodní dopravní prostředek Tekna.

Přestože je Farallon z historického hlediska významnou společností, existovalo za dobu vývoje podvodních dopravních prostředků mnoho dalších společností. Dnes je jich stejný počet jako v jakémkoliv jiném výrobním odvětví.



Obr. 2 Farallon MK1 , [7]

## 2 TECHNICKÁ ANALÝZA

**2**

### 2.1 Pohon

2.1

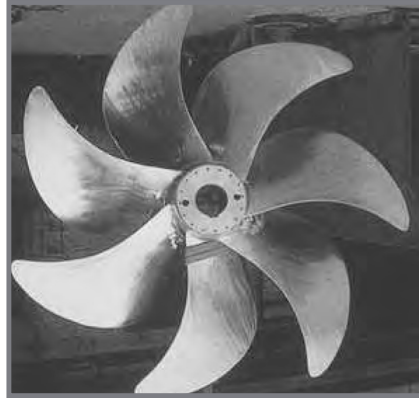
#### 2.1.1 Pohonná jednotka

2.1.1

Existují dvě hlavní pohonné jednotky používané u podvodních skútrů, vodní šroub neboli propeler a tryskový pohon pomocí vodní trysky.

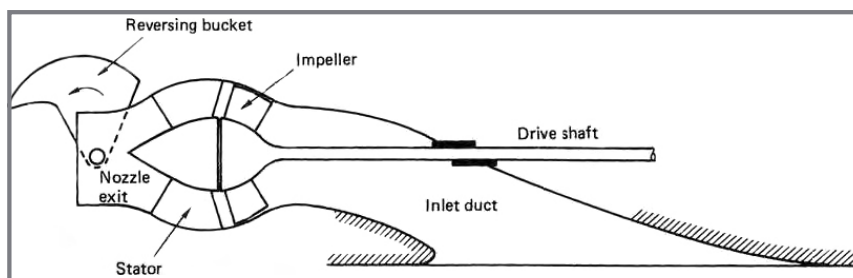
Propeler je zařízení, které přenáší rotační pohyb na tah nebo obráceně. Mezi zadní a přední plochou aerodynamicky formovaného ostří vzniká tlak a za čepelí se tak urychluje proudící tekutina. Každá část listu má stejnou úhlovou rychlost, ale liší se v obvodové rychlosti. To se vykompenzuje zkroucením listu tak, aby součin obvodové rychlosti a součinitel vztlaku po jeho délce byl stálý.

Existují různé propelery pro různé použití v námořním odvětví, jako tandemové propelery, sada čepelí pohybujících se proti sobě nebo stavitelné vrtule. Nejběžnějším typem, používaným také u skútrů, jsou ale pevné propelery. Vyrábějí se ve dvou provedeních, jako monobloky a jako vestavěné formy. Zatímco je monoblok vyroben z jednoho kusu a je dnes používanějším typem, vestavěná forma se skládá z těla a listů, které jsou dodatečně přidělány. Dříve byla, kvůli problémům s výrobou jednoho celku, využívána druhá varianta. Na rozdíl od první však musí mít větší rádius těla a to občas způsobuje problémy s kavitací u spodní části listu. Monobloky mají široké spektrum tvarů a velikostí, od těch vážících jen pár kilogramů používaných u malých strojů až po propelery navržené pro nákladní lodě, jejichž váha se pohybuje kolem 130 tun. [4]



Obr. 3 Propeler, [4]

Důležitou podmínkou návrhu vrtule je počet listů na lodním šroubu, které jsou dalším možným způsobem jak omezit kavitaci. Většinou se množství pohybuje mezi dvěma až sedmi listy, ale u případů, kde je nutné brát v potaz hluk, se jich objevuje více. U malých strojů, kam patří podvodní skútry, je pak propeler navržen pouze se dvěma nebo třemi čepelími. Původní návrhy byly zaměřeny na optimalizaci účinnosti propeleru. Dnes není tento aspekt méně důležitý, ale s ohledem na energetické úspory se objevily další omezení návrhu. Ty reagují na problémy s vibracemi a hlučností stroje. Druhý problém je spíše součástí konstrukce vojenských lodí a podvodních dopravních prostředků, ale v dnešní době se s ním začíná počítat u civilních plavidel.



Obr. 4 Schéma vodní trysky, [4]

S vývojem lepších elektrických pump a poptávkou po rychlých strojích se na trhu začaly více objevovat tryskové typy. Vodní trysky jsou složeny ze tří hlavních komponent, vstupní potrubí, pumpy a trysky. Voda se dostane do pohonu skrze vstupní potrubí, projde přes impeler o čtyřech až osmi listech, který jí žene ke statoru. Stator má dvě funkce. Zaprvé usměrňuje tok kapaliny a zadruhé působí jako opora trupu. Sestává ze 7 až 13 čepelí. Proud vody vychází ven tryskou, která může být z důvodu manévrovatelnosti buď natáčecí, nebo jsou k ní přidělané vychylovací pláty. Posledním prvkem je zpětná lžice. Jedná se o mechanicky nebo hydrodynamicky aktivované zařízení, které může být sklopeno přes trysku a vytváří tak prostřednictvím změny hybnosti brzdicí sílu.

Při návrhu zařízení s vodní tryskou si musíme zvolit pumpu. Můžeme si vybrat z axiální, odstředivé, smíšené nebo oběžného kola. Důležitým předpokladem použití pumpy je specifická rychlost, na které závisí maximální účinnost. Ta se pohybuje u každého typu pumpy v jiných specifických rychlostech. Smíšená pumpa se rychle uchytila na trhu jelikož nabízí menší průměr než odstředivá a lehčí přeměnu čerpadla na kinetickou energii.

Aby se do stroje nedostaly žádné větší předměty, které by ho mohly poškodit, je vstupní tunel tryskového pohonu chráněn mříží. Je zřejmé, že čím je mříž hustší, tím menší předměty vniknou dovnitř. Kryt musí být navrhnout tak, aby chránil proti největšímu nebezpečí a zároveň neomezoval průtok. Pro užší tunely není taková ochrana nutná. Vnitřní profil tryskového pohonu musí být navržen tak, aby hladce čerpal vodu mezi stěny plavidla a tak nedocházelo ke kavitaci nebo rozdělení toku. Občas je vnitřní průměr natolik veliký, že jsou potřebné podpěry. Důležitou podmínkou konstrukce je integrita stěny tunelu jak v situacích, kdy je vše v pořádku tak i v případě, kdy je provoz ovlivněn nějakou poruchou. V momentě, kdy není stěna dost silná a prolomí se, způsobí zaplavení prostoru plavidla, ve kterém je uložen tryskový pohon a následnou nefunkčnost zařízení. Zvýšení celkové odolnosti se dosáhne, když se vodní tryska zabuduje do trupu plavidla. Musí tak ale být učiněno s ohledem na povahu a reakce různých materiálů, použitých při stavbě zařízení.

Oproti propeleru se při použití vodní trysky zlepší výkon a ovladatelnost plavidla. To potápěč pocítí hlavně při regulaci rychlosti a zastavování. Navíc jsou pohyblivé části zabudovány do konstrukce plavidla a nehrozí tak jejich zanesení nebo poškození věcmi nacházejícími se pod hladinou moře. Plavidlo tedy může být použito i v mělkých vodách. [25]

### 2.1.2 Motor

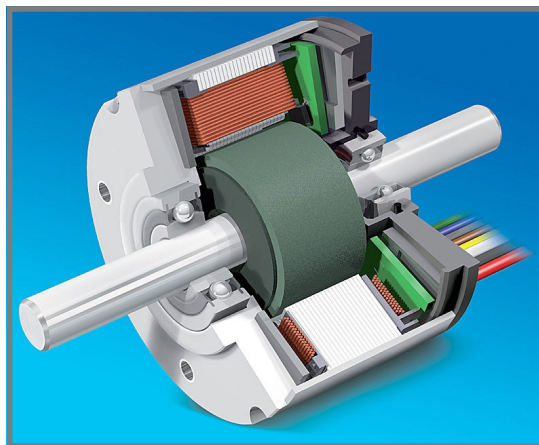
2.1.2

K rozpočívání pohonné jednotky podvodního dopravního prostředku lze uvažovat o třech variantách, kterými jsou stejnosměrný elektromotor, asynchronní elektromotor a Stirlingův spalovací motor. Pro použití u běžných skútrů se hodí spíše první typ, jelikož u dalších dvou převažují negativní vlastnosti před těmi pozitivními.

Stirlingův motor není příliš šetrný vůči životnímu prostředí a potřebuje přídatná zařízení pro bezproblémový chod stroje. Přesto se používá v oblastech, kde je použití skútrů s elektromotory obtížné kvůli elektromagnetickému poli, které je obklopuje. Jako příklad slouží vojenské operace v prostředí s aktivními minami.

U asynchronního motoru se zase hůře regulují otáčky, je těžší a potřebuje krytí komponent. Má však jednoduchou konstrukci a je tak méně pravděpodobné, že se porouchá. Často je používán u autonomních podvodních zařízení.

Stejnoseměrný motor je točivý elektromotor napájený stejnosměrným proudem. Skládá se, stejně jako asynchronní motor, z rotoru a statoru. Na statoru je budící obvod s hlavními póly, buzenými stejnosměrným proudem nebo permanentním magnetem. Polarita hlavních pólů se po obvodu statoru střídá. Kromě hlavních pólů, může být stejnosměrný stroj vybaven i pomocnými póly. Ty jsou umístěny mezi těmi hlavními a jejich polarita se střídá. Rotorové vinutí tvoří cívky, jež jsou napojeny na komutátor. Ten má tvar válce složeného z klínovitých měděných lamel, které jsou navzájem odizolovány. Po povrchu komutátoru se obvykle pohybuje tolik kartáčů, kolik má stejnosměrný stroj hlavních pólů. Všechny kartáče je možné natáčet po povrchu komutátoru, což umožňuje jejich nastavení do neutrální polohy. U bezkartáčových motorů se na rozdíl od starších verzí, které mají mechanická zařízení nebo kartáče, používají permanentní magnety. [25]



Obr. 5 Stejnoseměrný motor, [16]

### 2.1.3 Zdroj energie

2.1.3

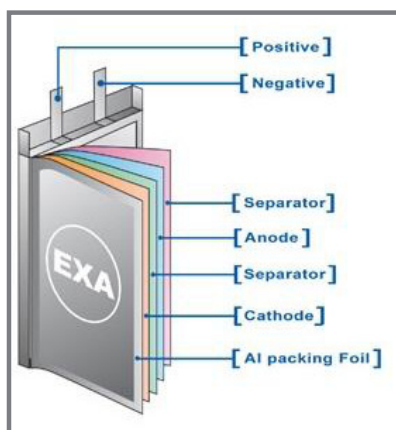
U zdrojů energie musíme počítat s jejich velikostí, vahou a výkonem. Můžeme je rozdělit do tří hlavních kategorií, kterými jsou akumulátory a palivové články pro elektricky poháněná plavidla a palivo pro spalovací motory. Existují i další varianty, jako je např. stlačený plyn. Všechny se porovnávají v rámci výkonu a energie. Nejčastější způsob porovnání je založen na specifické energii, určované ve watthodinách

na kilogram Wh/kg, a hustotě energie, určené ve watthodinách na litr Wh/l. Pro použití pod vodou je nutné zaměřit se na ekologickou energii, proto se převážně používají akumulátory a palivové články.

První podvodní skútry využívaly olovené a následně NiMH akumulátory. Přestože se s nimi u některých firem můžeme setkat ještě dnes, větší část trhu zabírají lithium-iontové a lithium-ion polymerové akumulátory. Lithium je jeden z nejlehčích kovů a tudíž poskytuje vysokou hodnotu specifické energie a energie hustoty. Samotný kov však není moc stabilní a nehodí se pro dobíjecí akumulátory, proto se používá lithium-iontová varianta. Lithiová sůl v organickém rozpouštědle slouží jako elektrolyt, zatímco anoda je tvořena organickým uhlíkem obsahujícím prvky lithiových iontů. Jako katoda se nejčastěji používá lithium-oxid kobaltu  $\text{LiCoO}_2$ , lithium-fosfát-železnatý  $\text{LiFePO}_4$  nebo spinely.

Li-Ion akumulátory jsou nenáročné na údržbu, což se nedá říct o ostatních chemicky založených typech zdrojů energie. Nemají žádný paměťový efekt a nemusejí se před prvním použitím formovat. To znamená, že není nutné je nejdříve několikrát nabít a vybit, aby mohly správně fungovat. Standardně bývá jejich specifická energie dvakrát vyšší než u NiMH akumulátorů. Operační teplota se u většiny lithium-iontových typů nachází mezi  $-10^\circ$  a  $60^\circ\text{C}$ , což je méně než u NiMH, které se pohybují mezi  $-35^\circ$  a  $70^\circ\text{C}$ , ale v tomto rozmezí mají větší účinnost. Jedním z problémů je, že se sami vybíjejí. Tato hodnota je sice velmi nízká, asi okolo 5 % za měsíc, ale baterie musejí být skladovány při optimální teplotě. Ta se pohybuje kolem  $15^\circ\text{C}$ . Při  $60^\circ\text{C}$  je hodnota samovybití asi 30 %. Aby měla baterie delší životnost je dobré, když se nenechává dlouhodobě stoprocentně nabitá, nebo když se úplně nevybíje. Vedle optimální teploty se proto uvádí, že by měla být skladována při 40% nabití. Koncentrace uhličitanu ethylnatého. K tomu dojde, když se přidají uhličitany s nízkou viskozitou a estery s nízkým bodem tání. Šetrným zacházením zvýší akumulátory svůj dlouhodobý výkon.

Další nevýhodou Li-Ion akumulátorů je jejich křehkost. Pro zachování bezpečného provozu je nutné, aby měly ochranný okruh. Je vestavěn do každého balení a omezuje maximální napětí při nabíjení a omezuje vybíjení, aby kapacita neklesla moc nízkou. Problémy u nich nastávají také při transportu většího množství, kdy musí být pravidelně kontrolovány. Výrobci stále vylepšují lithium-iontové akumulátory. Pořád se objevují nové a vylepšené chemické kombinace, a proto je těžké posoudit, jaká bude jejich další životnost. [3]



Obr. 6 Schéma LiPo akumulátoru, [6]

Evolucí Li-Ion akumulátorů jsou lithium-polymerové akumulátory, neboli LiPo. Od běžných typů akumulátorů se liší tím, že se elektrolyt nachází v pevném stavu. Ze začátku byl používán „suchý“ polymer ve formě tenkého filmu. Ten nevede elektrickou energii, ale umožňuje výměnu iontů. Polymer nabízí zjednodušení pokud jde o výrobu, robustnost a bezpečnost. Díky tomu, že jeho tloušťka je přibližně 1 mm, nabízí velikou variabilitu v rámci rozměru a tvaru. V tom se liší od lithium-iontových akumulátorů, které mají válcové články uzavřené v pevném pouzdře. LiPo se, díky své flexibilitě, nacházejí ve formě „sáčku“ a jsou obaleny tenkou folií. Absence kovového pouzdra snižuje váhu akumulátoru o 20 %. Bohužel vodivost pevného polymeru nedosahuje takových hodnot jako u ostatních elektrolytů. Vnitřní odpor je moc vysoký a nemůže nést takový proud, aby mohl napájet moderní přístroje, jako jsou komunikační zařízení. Aby se předešlo problémům s vodivostí, je do akumulátoru přidán gelový elektrolyt. Běžně prodávané články obsahují elektrolytickou membránu vyrobenou z porézního polypropylenového a polyethylenového separátoru naplněného tekutým elektrolytem v gelovém stavu. [28]

Pevný elektrolyt zajišťuje odolnost proti vyhoření a přepětí a menší šanci na únik tekutých částí. Laminární struktura pomáhá vůči nárazům a vibracím. Nevýhodou oproti lithium-iontovým akumulátorům je vyšší cena výroby a snížená hustota energie.

Typ	Specifická energie (Wh/kg)	Hustota energie (Wh/l)	Životnost (Cykly)
Olověné akumulátory	35-60	90-150	800
NiMH	60-120	140-230	500-1000
Li-Ion	100-250	250-620	400-2000
LiPo	130-200	300	>1000
PEM	225-450	200-400	-
Diesel (Stirling)	200	250	>1000

Tab. 1 Zdroje energie - specifikace

Další možností k pohánění elektrického motoru je palivový článek. Je to elektrochemické zařízení vytvářející elektrickou energii skrze chemickou reakci paliva s kyslíkem nebo jiným oxidačním činidlem. Na rozdíl od lithium-iontových akumulátorů trvá déle než se musí znovu nabít. Samotné nabití trvá kratší dobu. Mezi hlavní důvody, proč nejsou více využívány, patří vyšší cena a uložení. Cena je závislá na výrobě vodíku za pomoci elektrolýzy nebo parní reformace, tedy procesů, které jsou ekonomicky náročné. Jako metoda k uložení palivových článků slouží stlačený vzduch. Hustota energie závisí na výkonu plynového obalu a musí se počítat jak s vnějším, tak vnitřním tlakem. [5]

Podobným problémem uložení trpí i některé akumulátory. Typy bez krytu nebo sestavy spojené z více článků, musí být uzavřeny v tlakové komoře obsahující stlačený vzduch. Tyto „vzduchové obaly“ buď mohou vzlaku plavidla pomoci, nebo uškodit. Při negativní reakci musí být plavidlo zatíženo. Výjimku tvoří lithium-iontové polymery, které jsou tolerantní vůči tlaku a jejich obal je vodotěsný. Jelikož mají optimální hustotu, mohou být uloženy nízko stroje a nechávají tak pěnu, pokud je použita, a tlakové komory nad sebou. To udržuje střed vzlaku nad těžištěm a pomáhá ke zlepšení celkové dynamické stability.

## 2.2

## 2.2 Konstrukce

Konstrukce podvodních plavidel by měla být navržena v závislosti na hydrodynamických vlastnostech obtékaného tělesa, aby se projevíly co nejméně nepříznivé vlastnosti obtékání tekutin, jako je odtrhávání proudění. Proti pohybu potopeného tělesa působí homogenní proud kapaliny souborem třecích a tlakových sil, způsobujících odpor jednotlivých složek. Celkový odpor tělesa je dán součtem třecího a tvarového (tlakového) odporu. Jelikož částice kapaliny nemají stálou rychlost, stanovuje se převážně odpor tělesa experimentálně ve vodních nebo aerodynamických tunelech, kde se uměle vytváří homogenní proud. Tímto procesem zjistíme Reynoldsovo číslo  $Re$ . To nám dává do souvislosti setrvačnou sílu a viskozitu kapaliny. Pomocí něj se určuje, zda se jedná o laminární nebo turbulentní proudění a vliv třecích sil částic tekutiny na celkový odpor. Jako nejvhodnější tvar ponořeného tělesa s nejmenším odporem je tvar „slzy“. Tedy profil, jenž má přední část širší a zaoblenou a směrem dozadu se zužuje do špičky. Pro pohon lodního šroubu, který je nainstalován v ose plavidla, je vhodný symetrický tvar, kdy je proud vody po obvodu tělesa stejný. U vodní trysky je vhodné asymetrické tvarování dopravního prostředku. Spodní část by měla být více prohnutá směrem dopředu než horní část. Proud se tak usměrní směrem dolů, kde se dostane do vstupního tunelu tryskového pohonu.

Další podmínkou, která by měla být brána do úvahy pro správnou konstrukci podvodního plavidla, je jeho vztlak. Ten je určen Archimédovým zákonem. Podle něj je těleso ponořené do kapaliny nadlehčováno silou, rovnající se tíze kapaliny stejného objemu jako je ponořená část tělesa. To znamená, že objem a váha plavidla by měly dohromady tvořit hustotu rovnající se hustotě okolní kapaliny. Menší odchylky od neutrální hodnoty jsou kompenzovány dynamickým vztlakem, když se stroj hýbe, nebo za pomoci trysek, když není v pohybu, což je ale energeticky náročné. Dynamický vztlak je síla, která nadnáší těleso a závisí na jeho ploše a tvaru. Podvodní plavidla jsou navrhována pro čím dál větší hloubky, kde se díky působícímu tlaku zvyšuje daná hustota ponořeného tělesa, a snižuje se schopnost nést další vybavení, jako jsou baterie nebo potřebné nástroje tak, aby zůstal vztlak neutrální. Konstrukce by měla ještě splňovat podmínku správného uložení těžiště. To by se mělo nacházet ve středu plavidla na vertikále pod středem vzlaku.

Ne všechny podvodní skútry na trhu jsou konstruovány v závislosti na neutrálním tlaku. Existuje spousta příkladů, kdy je využito pozitivního či negativního vzlaku, jenž se posléze kompenzuje použitím závaží a balastních nádrží. Ty jsou do plavidla zabudovány ve formě komor, rozmístěných po celém trupu. V momentě, kdy se naplní vodou, sníží celkový vztlak a zařízení se potopí. Jakmile je voda vypuštěna zpět do okolního prostoru, tak se vztlak vrátí na původní úroveň. V případě, kdy je voda vpuštěna jen do určitých segmentů balastní nádrže, jde kontrolovat i náklon plavidla.

## 2.3 Materiály

K výrobě trupu podvodního skútru se jako materiál používají slitiny hliníku, akrylové plasty, polykarbonát Lexan a sklolaminát. U speciálních verzí a jiných hloubkových plavidel jsou zapotřebí o trochu pevnější materiály, jako jsou slitiny titanu a kompozitní materiály.

Hliník Al je velmi lehký kov s dobrou elektrickou vodivostí, a proto se nejvíce používá v elektrotechnice. Jeho hustota činí 2,698 g/cm<sup>3</sup>, tedy skoro dvakrát méně než u titanu. Pro strojírenství se nejvíce hodí jeho slitiny. Při legování hliníku se kromě zvýšení pevnosti a korozivzdornosti dosáhne i snížení hmotnosti. Přidáním prvků, jako je Fe, Si, Cu, Mn, Zn nebo Ti, zajistíme zvýšení pevnosti na úkor snížení plasticity. Pro podvodní použití je důležité, že je, díky tenké vrstvě oxidů na svém povrchu, korozivzdorný. Čím je hliník čistší, tím více je odolný vůči korozi. Jeho slitiny pak ůžeme rozdělit do čtyř skupin. Těmi jsou slitiny pro práškovou metalurgii, pěnový hliník, slévárenský hliník a pro strojírenství nejdůležitější tvářené slitiny hliníku. V praxi se u podvodních skútrů používá slitina hliníku s manganem a křemíkem jako hlavními složkami. Mimo jiné u něj můžeme narazit na stopové množství železa, titanu a dalších prvků. Prodává se pod kódovým označením 6061 a je nejlevnější z tepelně zpracovávaných typů s největším možným využitím. Nabízí dobré mechanické a korozivzdorné vlastnosti, které jdou ještě vylepšit tepelným ošetřením a umělým stárnutím materiálu. [1]

Z akrylových plastů se u podvodního skútru nejčastěji používá akrylonitril-butadienstyren, čili ABS plast, což je jeden z nejběžnějších termoplastů. Je složena z akrylonitrilu, butadienu a styrénu a uhlíku. Hlavními rysem ABS materiálu je jeho pevnost a houževnatost. Dalšími úpravami lze docílit zlepšení odolnosti proti nárazu a tepelné odolnosti. Kvalitu materiálu je do určité míry možné ovlivnit při zpracování do finálního výrobku. Pro dobrou pevnost a odolnost proti nárazu je vhodné zvolit lití při nízké teplotě. Přidáním pigmentů lze změnit barevné vlastnosti, aniž by se narušily mechanické vlastnosti. Toho se využívá u průhledných hledí či čelních krytů. Maximální hloubka potopení skútru vyrobeného z ABS plastu se udává do 35 m. [9]

Dalším používaným materiálem je polykarbonát Lexan. Jedná se o amorfni termoplast s dobrými mechanickými vlastnostmi. Vyznačuje se vysokou pevností, je pružný a lehký. Jeho hustota činí 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Má velmi podobné vlastnosti jako ABS plasty. Je ale více odolný proti nárazu a více náchylný ke vzniku povrchových vrypů.

Jak u hliníkových slitin, tak u Lexanu se používají skleněná vlákna k jejich zpevnění a zlepšení vlastností. [19]

Slitiny titanu a kvalitnější kompozitní materiály se používají převážně u podvodních plavidel, které se pohybují ve větších hloubkách. Použití při konstrukci trupu podvodního skútru není vhodné zejména kvůli vyšší ceně materiálu. To ale nezabrání v jejich použití pro části, které jsou méně odolné vůči tlaku pod vodou než celistvý trup.

## 3 DESIGNÉRSKÁ ANALÝZA

Podvodní skútry se během svého vývoje po vzhledové stránce moc nezměnily. Existovalo sice několik pokusů o změnu jejich designu, ale většina firem zůstává u jednoduché válcové konstrukce, která se nejvíce používá u typu podvodního skútru při kterém je potápeč tažen za strojem. Přestože je to nejběžnější typ podvodního skútru existuje i několik dalších variant.

### 3.1 Obecné rozdělení podvodních skútrů

První vozidla, která se dala považovat za podvodní skútry, byla lidská torpéda. Dnes už se jejich tvar neomezuje pouze na válec, jako tomu bylo dřív, ale začínají kopírovat tvar ryb a jiných vodních živočichů. Většinou jsou určena pro více než jednoho operátora. Potápeč může buď sedět na povrchu trupu, nebo v sedadlech zabudovaných přímo do vozidla. Mechanismus ovládní je podobný tomu, co se používá u ponorek. Uvnitř konstrukce se nacházejí jak vztlakové komory pro kontrolu náklonu, tak balastní nádrže pro ovlivnění hloubky, ve které se plavidlo nachází.

Nejrozšířenějším a nejoblíbenějším typem podvodního skútru je ten, kterého se potápeč chytí rukama a je za ním tažen. Jelikož se při takovémto uspořádání pohybuje v proudu za plavidlem nevytváří takový odpor jako kdyby seděl na skútru, a šetří tím zdroj energie. Ještě efektivnější je, když se potápeč připojí k plavidlu pomocí nějakého postroje. V tomto případě je tažen nad proudem, při čemž se stále udržuje v horizontální poloze. Tomuto principu se říká „Bollard pull“. Existují i jiné varianty tažného typu. Jedna z nich se připojí k nádobě se stlačeným vzduchem. Další bývá používána spíše jako variace běžného skútru, při níž je potápeč zaháknut nohama a skútr ho tlačí před sebou. Obě varianty mají tu výhodu, že má operátor volné ruce k manipulaci a kontrole svého vybavení, jako je např. zásoba vzduchu. Za tím se le skrývá i jejich hlavní nevýhoda, kdy nemůže být regulována rychlost či vládána jiná zařízení, která jsou implementována do plavidla. Potápeč si tedy musí sám rozhodnout, co je pro něho výhodnější. Velmi podobným typem jsou některé skútry ve tvaru torpéda, které mají madla připevněná na předním konci vozidla. Vzadu je dopravní prostředek mírně vyvýšený a slouží k podpoře potápeče v oblasti rozkroku.



Obr. 7 Subskimmer, [13]

I když se to nezdá, patří mezi podvodní skútry i Manta-board. Je to nejjednodušší typ, jenž vypadá jako obyčejné prkno, většinou čtvercového tvaru. Jelikož nemá žádný motor, který by ho poháněl, má k sobě připoutána dvě dlouhá lana, pomocí nichž ho táhne jiné plavidlo. Aby zůstala deska potopená, musí ji potápeč udržovat pod správným úhlem.

Zvláštním typem podvodního skútru je subskimmer. Jedná se o typ nafukovacího plavidla s funkcí napouštění a vypouštění vzduchu v určitých částech vozidla. Uprostřed je umístěna pumpa, která tento proces zajišťuje. Jeho tvar připomíná klasické nafukovací čluny. Subskimmer je poháněn spalovacím motorem, jenž se po potopení uzavře. Některé verze motoru mají prodloužený šnorchl a tak mohou být do určité hloubky použity místo bateriemi napájených vodních trysek určených pro delší pohyb pod vodou. Ty jsou připojeny k nafukovacímu otočnému ramenu, na kterém jsou také umístěny ovládací a navigační prvky. Výhodou subskimmeru je, že může být použit buď jako rychlý a lehký člun nebo jako podvodní dopravní prostředek. Je určený spíše pro více potápečů a většinou se používá při vojenských operacích, kdy je potřeba nepozorovaně převést větší jednotku.

Při návrhu podvodního skútru určeného pro větší množství lidí nastává problém, kdy se skútr začíná podobat spíše ponorce. Jako mezistupeň, který často vypadá jako jiná verze skútru, slouží tzv. „mokrá ponorka“, neboli wet-sub. Rozdíl mezi běžnou a mokrou ponorkou je ten, že prostor určený pro potápeče není utěsněný, ale je zatopený. Operátor tak musí stejně jako u skútru nést vybavení určené k potápění.

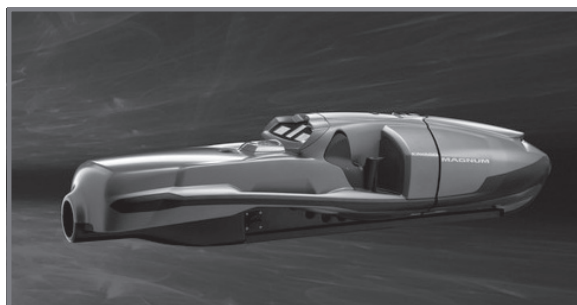
### 3.2 Současné trendy

U podvodních skútrů se nejčastěji setkáváme s jednoduchou konstrukcí sestávající z válcového trupu a propeleru. Velké procento takto tvarovaných strojů je však určeno spíše pro náročnější uživatele, kteří se potřebují pohybovat ve větších hloubkách a při tom se mohli plně spolehnout na jejich plavidlo. Větší důraz na design se objevuje až u strojů zaměřených na rekreační činnost. Tato často malá plavidla nejsou tolik omezena nutnou technologií a mohou být více tvarovaná. Na rozdíl od profesionálních skútrů jejich tvar často vychází z tvaru kapky, který je nejhodnějším hydrodynamickým profilem pro pohyb pod vodou. Zjednodušování podvodních skútrů dohnala do extrému firma Bladefish, jejíž stroj sestává pouze z propeleru a jeho rámu, ve kterém jsou uskladněny všechny technické součásti a němuž jsou připojena madla.

3.2



Obr. 8 SeaDoo RS3, [21]



Obr. 9 Cayago Magnum, [20]

Zásadní změna tvaru nastává až s použitím vodní trysky. Při návrhu se nemusí počítat s lodním šroubem a jeho krytem. Ty jsou totiž nosnými prvky většiny dnešních strojů. Zůstává tak volný prostor pro samotné tvarování trupu. Aby skútr fungoval správně, musí se klást důraz na to, aby navržený tvar vycházel z vhodného hydrodynamického tvaru. Takovéto stroje vyrábí firma Seabob Cayago. Bohužel je to jediná společnost, co vyrábí skútry s vodní tryskou.

## 4 VARIANTNÍ STUDIE

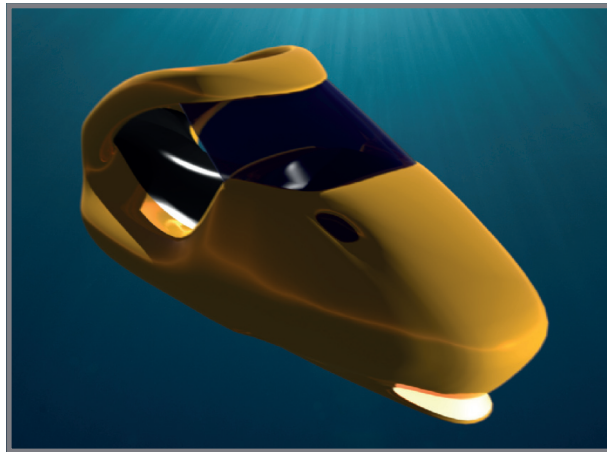
4

Při navrhování podvodního skútru jsem uvažoval o skútru, jenž by mohl nést dodatečné vybavení. Po několika počátečních skicách jsem se rozhodl pro dvě rozdílné varianty. První se od ostatních skútrů lišila tvarově, ale základní princip zůstal stejný. Jednalo se především o vytvoření pohodlnějšího stroje pro pohyb pod vodou. Druhá varianta je naopak zamýšlena jako účelné a praktické zařízení. Přestože základní konstrukce vychází z běžných typů, odlišuje se tím, že umožňuje přepravu více lidí.

### 4.1 Varianta první

4.1

První varianta Bróga byla navržena za účelem zvětšení pohodlí potápěče a zároveň zachování dobrého hydrodynamického profilu. Toho by mělo být docíleno změnou pozice uživatele tak, aby seděl a měl před sebou průhledný kryt chránící proti proudu vody.



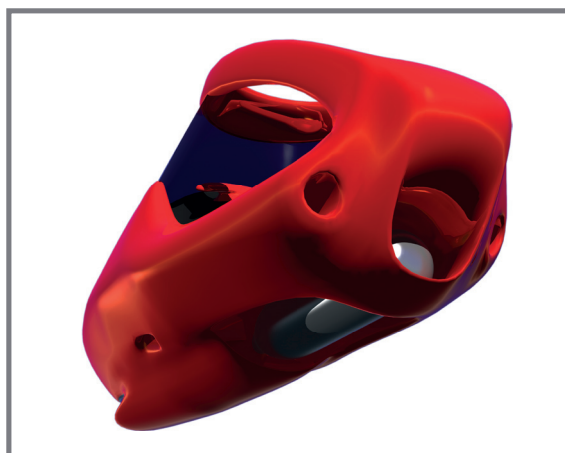
Obr. 10 Varianta Bróga

Design Brógy se snaží o jednoduchý, celistvý vzhled inspirovaný organickými prvky. Veškeré tvary jsou navrženy tak, aby plynule navazovaly na celkový tvar skútru. Nejvíce je to čitelné u propojení rámu, který vychází ze zadní části, jenž se rozšiřuje do bočnic, ve kterých jsou umístěny vodní trysky. Bróga má vcelku složitý tvar, který je daný tím, že je k němu připojen rám, na kterém je upevněno čelní sklo a který chrání potápěče před možným vnějším nebezpečím. Celkově působí tvar stroje jemným organickým dojmem. Kompozice skútru je rozdělena na část, kde je uloženo technické vybavení, a část s potápěčem. První je masivnější a plní funkci základní konstrukce. Druhá je tvořena volným prostorem, jenž je zaštitěn rámem chránícím potápěče. Důležitým segmentem je předek, kde jsou uloženy baterie, motor a balastní nádrže a jenž se směrem dozadu rozděluje do pomyslných vidlí, kde jsou uloženy vodní trysky pohánějící plavidlo. Jelikož kopíruje skútr proud vody, má spíše konvexní tvarování.

Na rozdíl od ostatních strojů je potápěč usazen uvnitř stroje a musí se proto brát v potaz celá postava. Operátor sedí obkročmo na sedadle v pozici podobné té, ve které sedí řidiči motocyklu. Výška sedáku je zvolena 300mm a šířka v rozkroku je 200mm. To by mělo poskytnout uživateli dostatečnou míru pohodlí. Při uskupení, kdy sedí potápěč na skútru, bývá obvykle problém, že potápěč zhoršuje hydrodynamický profil

a zároveň mu všechen proud naráží do těla. Tomu by mělo zabránit velké čelní sklo, které ho celého chrání.

Důležitá je ergonomie madel, kdy je nutné, aby mohl být stroj ovládán pomocí obou rukou či pouze jedné. Proto je mezi dvě boční rukojeti umístěna třetí. Ovladače a sdělovače jsou umístěny v prostoru madel. Potápěčský počítač jako sdělovač je umístěn za rukojetmi, tak aby na něj měl potápěč dobrý výhled a nic mu v něm nebránilo.



Obr. 11 Uchycení tlakové nádoby

Velikostí patří Bóga spíše mezi malé ponorky, než běžné skútry. To ale vynahrazuje zvýšeným pohodlím pro uživatele. Hmotnost skútru je převážně směřována do přední části, kde jsou umístěny technické komponenty. Skútr vychází z organického tvarování, což je názorně vidět na plynulém tvarování celého skútru.

Pro podvodní skútry jsou vhodné tmavší, matné barvy, které by nerušily život podvodních živočichů v jejich přirozeném prostředí. Jako barva je nejvhodnější buď modrá nebo černá, jejich výhodou je, že s okolím splývají. Tyto dvě barvy jsou u výsledné verze použity pro různé díly a tvoří tak harmonický celek. U Brógy nejsou použita žádná písma ani další grafické prvky.

Design skútru Bróga se nesnaží svým tvarem a grafikou nikterak podbízet. Je tvarován jednoduše, účelně, ale je odlišný od ostatních skútrů na trhu. Podvodní skútr je stroj, který je pro většinu lidí neznámý a působí tak zajímavým a exotickým dojmem. Někteří lidé by mohli říct, že vypadá jako něco ze sci-fi filmu. Jeho kouzlo tkví v možnosti podívat se do míst, která jsou pro nás stále zahalena tajemstvím, ale na rozdíl třeba od vesmíru, je pro běžného člověka snadnější se tam dostat.

Zvolený systém pohonu by při použití neměl zatěžovat podvodní ekosystém. Může za to minimální množství emisí produkovaných elektromotorem a lithium-polymerovými bateriemi.

Skútr je určen především pro aktivně žijící lidi, co mají rádi adrenalinovější způsob zábavy, ale zároveň chtějí mít kolem sebe určitou část pohodlí, kterou využije například starší generace potápěčů, nebo potápěči s určitým zdravotním omezením.

Uživatel ocení větší rychlost stroje než je obvyklé, větší pocit bezpečí a pohodlí. Dále má možnost uložit do spodní části svou tlakovou nádobu nebo využít tento prostor pro náhradní láhev. Bróga je stroj, který ve výsledku nabízí potápěči velký prostor

blížící se velikostí malé ponorce, jenž je obklopen rámem chránícím uživatele. Takto provedený podvodní dopravní prostředek by mohl k potápění pomocí skútrů dostat lidi, kterým se nezdá příjemné být tažen za strojem nebo na něm sedět bez žádného čelního krytu.

Od tohoto návrhu jsem nakonec odstoupil, jelikož prvky, které by mohly být jeho výhodou, mu spíše překážejí. Největším problémem je pravděpodobně jeho velikost, která by omezovala pohyb stroje pod vodou. Nemohl by se pohybovat v mělkých vodách a ani v hlubších by se nesměl moc přiblížit ke dnu, protože by hrozilo, že poškodí jeho povrch a floru. To by mohlo mít za následek narušení ekosystému v dané lokalitě.

## 4.2 Varianta druhá

Varianta nazvaná Helldiver je, stejně jako první varianta Bróga, inspirována mořskými živočichy. Pravděpodobně nejvíce je to vidět v přední části, která má ostřejší rysy a tvarově se blíží hlavě žraloka, což ještě více umocňuje umístění světel v místě, kde by přibližně byly oči, a platformy pro připojení přídavného zařízení ve tvaru zahnutých ploutví.

4.2



Obr. 12 Varianta Helldiver

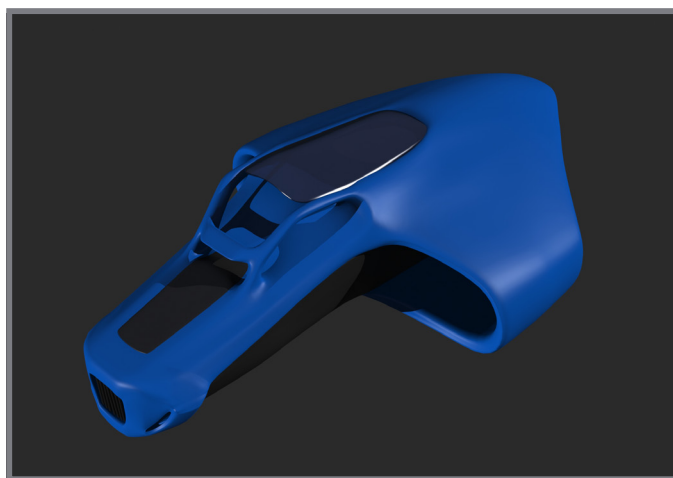
Hlavním účelem této verze je možnost využít stroj více lidmi, kdy jeden stroj ovládá a jeden nebo dva další se přidržují menších připojených strojů. Helldiver je tak určen pro poloprofesionální sféru, přičemž jeden potápěč plní funkci průvodce a dohlíží na bezpečí ostatních. Uživatelé ocení možnost rychlejšího pohybu na místo určení, čímž se zvýší doba, po kterou pak mohou zůstat pod vodou v dané lokalitě a prozkoumávat ji. Dále se budou cítit bezpečněji, že je hlídá a stará se o jejich bezpečí další člověk.

Hlavním problémem při návrhu podvodního skútru bylo pochopení principu potápění a toho, co od této činnosti lidé očekávají. Následovala volba nejvhodnějšího způsobu, jak potápěčům dopravu ulehčit. Bylo vzato v potaz, že menší stroje jsou pomalejší a mají nižší kapacitu baterií pro delší cesty a že je občas důležité brát se sebou další vybavení pro práci pod vodou. Helldiver tak má nabídnout nový a neotřelý koncept podvodního skútru spojený se zajímavým vzhledem, jenž by lidi podnítil věnovat se tomuto vsutku zajímavému způsobu trávení volného času.

Design Helldiveru se snaží o čistý vzhled, hlavně v přední části, a přestože je inspirovaný organickými prvky, vychází z konstrukčních předpokladů a potřeb

pro umístění technického vybavení. Veškeré tvary jsou navrženy tak, aby plynule navazovaly na celkový tvar skútru. Nejvíce je to čitelné u propojení madel pro uchycení, které vycházejí z velké přední plochy a mezi nimiž je umístěn čelní kryt. Jelikož je čumák ostřejší než je tomu u podvodních skútrů obvyklé, je výraz Helldiveru docela agresivní, a umocňuje tak dojem, že skútr vypadá jako mořský predátor, například žralok. Celkově působí, díky použitým křivkám a plynulou návazností ploch, dynamickým dojmem. V zadní části se tvarování trochu zesložituje, takže připomíná proud vody.

Většinu času se potápěč vznáší za strojem a dotýká se ho pouze rukama. Proto není nutné brát v potaz celkovou postavu a stroj je v podstatě univerzální pro všechny typy postavy. V určitých případech, např. když se dostane do silnějšího proudu, se potápěč potřebuje přitisknout hrudí ke stroji. V tom momentě je nutné brát v potaz délku pokrčených rukou a vzdálenost obličeje od krytu a potápěčského počítače. Dále je u verze Helldiver potřeba počítat s možností, kdy na stroji jede více potápěčů. Vzdálenost připojeného menšího stroje od hlavního stroje musí být zvolena tak, aby si potápěči vzájemně nevadili. To může být občas problém, jelikož jsou lidé ve vodě nadnášeni a pohybují se volně v prostoru. Toto napomáhá řešit lehké snížení pozice po stranách oproti hlavní pozice uprostřed. Zorné podmínky jsou omezené pouze šířením světla pod vodou a prostorem, který kryje samotný stroj. Důležitá je ergonomie madel, kdy je nutné, aby mohl být stroj ovládán pomocí obou rukou či pouze jedné. Proto je mezi dvě boční rukojeti umístěna třetí. Ovladače a sdělovače jsou umístěny v prostoru madel. Potápěčský počítač jako sdělovač je umístěn za rukojetmi tak, aby na něj měl potápěč výhled a nic mu v něm nebránilo.



Obr. 13 Varianta Helldiver - horní pohled

Velikostí se Helldiver řadí mezi největší skútry, co jsou na trhu. To ale vynahrazuje možností připojení dalšího zařízení. Hmota skútru je převážně směřována do střední linie, aby mohl na bocích zůstat prostor pro další vybavení. Skútr vychází z organického tvarování, což je názorně vidět na plynulém přechodu dominantní přední plochy do čelního krytu a madel s ovládacími prvky. Vzniklé linie přecházejí až do zadního segmentu, kde však plní spíše funkci dekorativní. Díky organickému tvarování má skútr spíše měkké rysy, které jsou narušeny ostrou linií oddělující vrchní a spodní

díl. Tím získává Helldiver agresivní vzhled, které je ve výsledku dominantnější než měkkost ostatních segmentů.

Kompozice skútru se dělí na přední a zadní segment, přičemž přední je jednodušší velká plocha, která je dominantou celého tvaru, a směrem dozadu se tvarování zesložituje a vzniká více ploch tvořících vzhled Helldiveru. Důležitou částí je spodní díl tvořící meziprostor mezi vrchní a spodní částí přípojného systému. Tento segment je tvořen z jedné velké jednolitě plochy, která kopíruje tvar střední linie skútru. Bohužel tato část není, kvůli svému jednoduchému tvarování tolik výrazná jako zbytek. Jelikož kopíruje skútr proud vody, má spíše konvexní tvarování. Konkávnost je využita u opor pro ruce.

Stejně jako u první varianty je u Helldiveru využito tmavých a matných odstínů. Jako nejvhodnější barevná kombinace byla zvolena modrá s tmavě šedou. Tyto dvě barvy jsou u výsledné verze použity pro různé díly a tvoří tak harmonický celek.

Hlavním cílem Helldiveru je urychlit pohyb dalších menších podvodních strojů tak, aby následně mohly déle setrvat na cílovém místě. Dále se dá využít k přepravě dalšího nákladu, který by se na běžné skútry nevešel. Toto uspořádání také umožňuje převážet náklad vyzvednutý ze dna, který chtějí potápěči vylovit, nebo dopravit na nějaké konkrétní místo méně zkušené potápěče. V případě, kdy jede více lidí najednou, je pro zúčastněné příjemné, že se pohybují ve větším počtu a cítí se tak bezpečněji v případě, kdy se něco pokazí.

Varianta Helldiver byla narozdíl od Brógy dále rozpracována, čímž vzniklo finální řešení, jenž bylo pojmenováno Aegir.

## 5 ERGONOMICKÉ ŘEŠENÍ

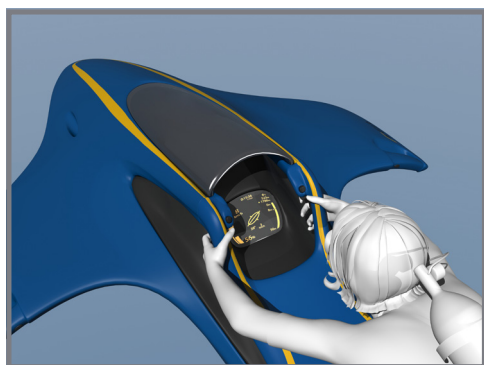
Ergonomie je nedílnou součástí každého designérského návrhu a měla by klást důraz hlavně na to, aby použití navrhovaného produktu bylo pro člověka jednodušší, pohodlnější a bezpečnější. V dnešní době se čím dál více designérů zaměřuje i na vztah výrobku s okolním prostředím a na jeho ekologickou šetrnost.

U ergonomické části návrhu je ze začátku důležité zvolit správnou ergonomickou kategorii. Pro každou z nich existuje několik aspektů, podle kterých jsou k nim přiřazovány cílové produkty. Podvodní skútr jako takový patří do ergonomické kategorie K. Do ní je zařazen, jelikož je určen spíše pro rekreaci. Má tedy uživatelský kontakt a nikoliv pracovní, ke kterému se řadí spíše nakladače, soustruhy a jiné věci určené do pracovního procesu. Dalším kritériem pro zařazení výrobku je to, že je ovládán pomocí ovladačů a sdělovačů, čímž se dostáváme ke třetí a poslední podmínce, kterou je důraz na ovládání pomocí rukou. Volbou správné kategorie a jejich aspektů, jsme zjistili, čím se máme při návrhu ergonomické části zabývat důkladněji.

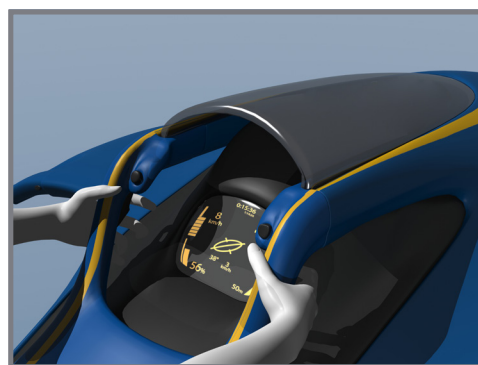
### 5.1

#### 5.1 Kontakt s potápěčem

Přestože se potápěč většinu času dotýká skútru pouze za pomoci rukou, musí se řešit kontakt horní poloviny potápěčova těla s trupem vozidla pro chvíle, kdy se musí z určitých důvodů přitáhnout. Jediný díl, o kterém se v tomto případě dá uvažovat je ten, k němuž jsou připojeny rukojeti. Jeho vrchní strana je proto hladká bez dodatečných tvarů, které by mohly uživateli vadit. Tím, jak je potápěč tažen za strojem a stále na něj působí proud vody, může dojít k únavě jeho rukou. Proto se trup plavidla rozšiřuje od úrovně madel až po zadní úchyty. Vzniklé plochy leží trochu níž než horní díl, a vytváří tak místo pro oporu rukou. Rozšíření je sice široké pouhých 50mm, ale odsazením dolu a mírným zaoblením se rozměr plochy zvýší.



Obr. 14 Úchop potápěče

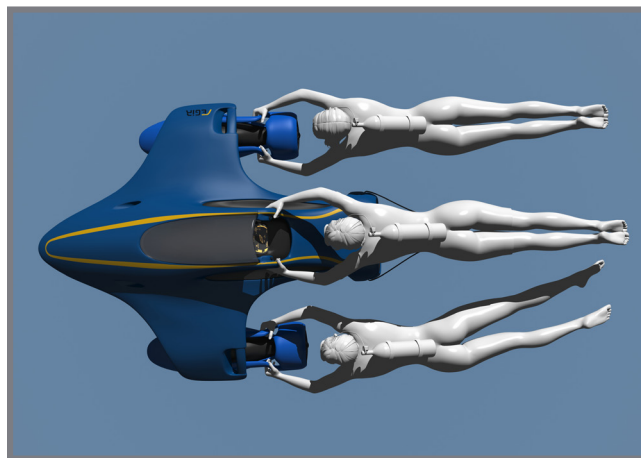


Obr. 15 Úchop potápěče - detail

Neexistují přesná pravidla, jak rukojeti navrhovat, ale běžně se používá 13 základních pravidel. Mezi ně patří hlavně jejich velikost, tvar, povrch, tuhost, umístění, funkce atd. Velikost se určuje podle průměrných rozměrů lidské ruky. Délka madla se pro průměrného dospělého muže pohybuje mezi 100 až 150 mm. Občas je ale potřeba počítat i s širší variabilitou úchopu pro větší velikosti dlaně, a tak je délka rukojeti zvolena 160mm. Pro držení při pohybu pomocí podvodního skútru se používá silový úchop, což je případ, kdy jsou prsty otočeny kolem madla, a stisk je

uzavřen palcem. Průměr rukojeti se pro držení u dospělého muže volí mezi 20 až 30 mm. Jako nejlepší tvar úchopu se považuje válec, který je u některých variant lehce zploštěn, což zajistí lepší a bezpečnější uchopení rukojeti. Toto je u podvodních skútrů velmi důležité, a proto je zvolena tato varianta s rozměry 35mm na délku a 20mm na šířku. Povrch je hladký bez přítomnosti rýh a výstupků, které by mohly mít ve spojení s mořskou vodou za následek nepříjemné podráždění kůže. Je tak zajištěn volný pohyb ruky po rukojeti. Stejně jako u většiny ostatních podvodních skútrů jsou pro uchycení určena dvě oddělená madla, která se nacházejí po stranách stroje. Člověk si je při takovém způsobu držení více jist a cítí se bezpečněji, ale použití obou rukou mu do určité míry zabraňuje kontrolovat další vybavení. Postraní rukojeti jsou ve spodní části spojeny s trupem. V prostoru mezi nimi je ta část, jejíž jsou součástí, mírně zvýšena, čímž vytváří variantu příčných madel, která se občas nacházejí u některých skútrů. Na rozdíl od nich nemá připojeny žádné ovládací prvky a je tak určena spíše pro uvolnění rukou nebo pro zachování rovnováhy při manipulaci s potápěčskou výbavou.

Madla nejsou umístěna jenom v místě primárního uživatele, ale nacházejí se i na bočnicích. Ty slouží převážně k tomu, aby se mohli další potápěči Aegira chytit a přitáhnout se k němu. Rukojeti byly vytvořeny perforací na konci bočnic. Potápěč se zachytí tak, že nejdříve provlékne ruku skrze vzniklou mezeru a poté se chytí madla. Jelikož se tloušťka „křídla“ pohybuje kolem 50mm, musely být rukojeti oproti zbytku zúženy. Oproti madlům v centrální části skútru, u kterých se musí ještě počítat s navýšením velikosti z důvodu ovládacích prvků, jsou ty na bočnicích větší. Jsou totiž 40mm široké a stejně tak tlusté. Jsou tvořeny trojúhelníkovým profilem se zaoblenými hranami, jehož přeponu tvoří vrchní strana a nejkratší zadní. Rozměr 40mm je zvolen, protože umožňuje použití největší síly při silovém úchopu u dospělého člověka. Jejich délka je stejně jako u centrálních rukojetí 160mm a na jejich koncích jsou umístěny elektromagnetické úchyty pro připojení přídavných zařízení. Bočnice jsou dlouhé 600mm, a proto by byl potápěč, jenž by se chtěl Aegira chytit v místě, kde je do „křídla“ zabudováno madlo, dostatečně vzdálen od trupu. Navíc by se nacházel pod úroveň hlavního uživatele a pravděpodobnost jejich kolize by tak byla malá. Při navrhování záchytného systému se počítalo s 95 percentilním člověkem a s pohyblivostí pánve do 30°.



Obr. 16 Rozmístění více potápěčů

## 5.2 Displej a ovládací prvky

Displej je umístěn mezi madly, v zákrytu za průhledným štítem a jsou na něm zobrazeny nejdůležitější informace o chodu a pozici Aegira, přičemž jsou rozmístěny s ohledem na důležitost a četnost jejich čtení. V levé horní části, tedy v místě, na které se zaměřuje lidská pozornost nejvíce, jsou zobrazeny údaje o rychlosti. Hned pod nimi se nachází ukazatel stavu zdroje energie. Obě informace jsou znázorněny především za pomoci číselných hodnot, ale doplňují je i grafické ukazatele, které jsou tvořeny dvěma navazujícími liniemi kopírujícími hranu displeje. První, která doplňuje informace o rychlosti, je dále rozdělena na menší segmenty. Každý z nich znázorňuje stupeň výkonu motoru. Linie u stavu energie je též rozdělena, ale na rozdíl od té první, je tak učiněno podélně. První část, která zůstává stále stejná, zobrazuje kapacitu akumulátoru a druhá, pohyblivá část, průběh procesu vybíjení.



Obr. 17 Displej

Na druhé straně displeje se nacházejí informace o hloubce. Podél hrany displeje je, stejně jako u předešlých případů, umístěna linie. Na ní se zobrazuje pozice hladiny a maximální doporučená hloubka, kterou by měl Aegir bez problémů dosáhnout. Tyto informace mají svou pevně danou pozici a mezi nimi se pohybuje třetí údaj udávající současnou hloubku. V pravém horním rohu se zobrazují informace o teplotě okolního prostředí a ujeté vzdálenosti. Ve středu displeje je graficky znázorněn náklon stroje, jenž je doplněn údaji o úhlu náklonu a rychlosti sestupu nebo výstupu. Uživatel se tak může vyvarovat rychlého klesání, nebo stoupání, které by mohlo mít negativní vliv na jeho zdraví.

Stejně jako u jiných větších plavidel je způsob ovládní pomocí těla značně omezen. To je vykompenzováno použitím vodní trysky s polohovacími plochami usměrňujícími proud vody, které však nejsou dostatečně velké na to, aby dokázaly otáčet strojem sami o sobě, a slouží tak zejména jako doplněk k potápěčovým pohybům.

V oblasti, kde se madla začínají stáčet dopředu, se rozšiřují směrem k ose těžiště stroje. Nejenže se tím vytvoří plochy pro umístění ovládacích prvků, ale tento výstupek pokračuje do dalšího dílu, čímž vznikne prostor pro uchycení čelního krytu k trupu skútru. Na výčnelku levého madla je umístěno tlačítko sloužící k zapnutí a vypnutí stroje. Někdo by mohl namítat, že skútr není dostatečně zabezpečen. Zapínání jedním tlačítkem je však běžná praxe. Podvodní skútry jsou totiž docela těžká zařízení a špatně se s nimi na souši manipuluje. Na pravé rukojeti se nachází ovládní ovlivňující polohu otočných ploch. Obě tlačítka jsou kruhová a mají 10mm v průměru. Na rozdíl

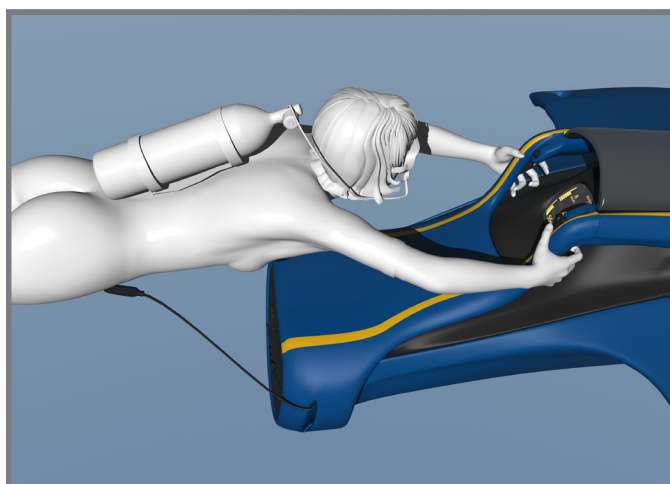
od vypínače není ovladač řízení běžně tvarované tlačítko, ale je lehce prohnutý. Tento tvar umožní přepínání tlačítka zleva doprava a opačně. Stejným směrem, kterým ho zmáčkne, zatočí i kormidlo a ovlivní tak směr pohybu stroje. Další ovladače se nacházejí na přední straně madel. Na levém je ovládání rychlosti motoru a na pravém brzda. Umístění řízení rychlosti je navrženo tak, aby bylo na jiném madle než ovladač natočení. Tak nebudou na jednom místě dva často využívané ovladače. A nebude tak hrozit, že uživatelí povolí úchop na madle, což by mohlo mít za následek ztrátu kontroly nad skútre.

### 5.3 Bezpečnostní prvky a údržba

5.3

V situacích, kdy je člověk tažen za vozidlem a pohybuje se vyšší rychlostí, je potřeba, aby byl jeho obličej chráněn před silnějším proudem vody a tělesy, které se mohou pod vodou nacházet. To je vyřešeno krytem umístěným v čele skútru, jenž je u současných typů buď ve formě zvýšeného trupu v místech, kde jsou umístěny sdělovače, nebo průhledného štítu, který však ve většině případů není součástí stroje, ale musí se dokoupit. V mém návrhu je kryt zabudován napevno do trupu. Oproti ostatním variantám má tu výhodu, že nevyčnívá z celkového tvaru a nevyčnívá tím proudění vody kolem stroje, což by mělo negativní vliv na výkon motoru. Za krytem je umístěn displej s informacemi o stavu skútru. Celková výška krycí části je 280 mm a průhledný segment z toho tvoří 100 mm. To se nemusí zdát moc, ale musíme brát v potaz, že se potápěč kryje jen při vysokých rychlostech a v silnějším proudu.

Další bezpečnostní prvek slouží pro případ, kdy je potápěč oddělen od skútru proti své vůli. Jedná se o lanka, která se spojí s potápěčovou výstrojí a v momentě, kdy se od stroje oddělí, ho udrží v přijatelné vzdálenosti. Lana jsou umístěna u zadních úchopů, kde jsou zabudovány navijáky, k nimž jsou lana připojena. Ze skútru vystupují skrze mezeru, kterou vytéká voda z prostoru zadních madel. Navijáky v sobě mají pojistku, která se spustí ve chvíli, kdy lano dosáhne konce, a zastaví motor, aby nebyl potápěč tažen déle, než je to nutné.



Obr. 18 Potápěč se záchrannými lany

Pro údržbu stroje je zejména důležitá výměna akumulátorů, aby mohly být nabity. Akumulátory jsou umístěny v přední části, jež se dá od zbytku trupu oddělat. Po bocích má díl umístěny zámky, které se nejdříve musejí povolit. Jelikož je skútr docela široký a zámky jsou umístěny 730mm od čela, je vysunutí dílu pouze při uchycení za zámky složité. Proto je blíže k čelu umístěno další madlo, které slouží k vysunutí segmentu s akumulátory ze zbytku stroje.

## 6 TVAROVÉ A KOMPOZIČNÍ ŘEŠENÍ

6

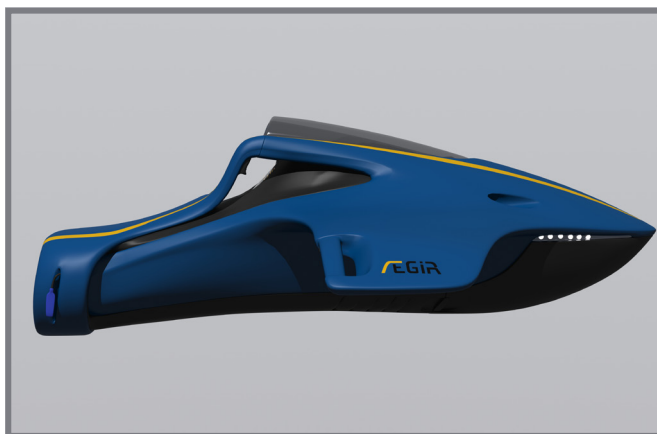
Při návrhu finální verze jsem vycházel z druhé varianty, z níž jsem převzal původní myšlenku, technické aspekty a některé tvarové prvky. Nejvíce změn se projevilo u rozměrů a kompozičního uspořádání jednotlivých částí.

Finální varianta nese název Aegir podle severského boha, jenž vládl oceánům a byl králem všech mořských tvorů. Přestože se skútr Aegir tvarově blíží spíše mořským živočichům, bylo jeho jméno vybráno z důvodu jeho velikosti. Bůh Aegir byl totiž zpodobňován jako obr a navíc byl patronem námořníků, kteří jej prosili o klidné počasí.

### 6.1 Přední kapota

6.1

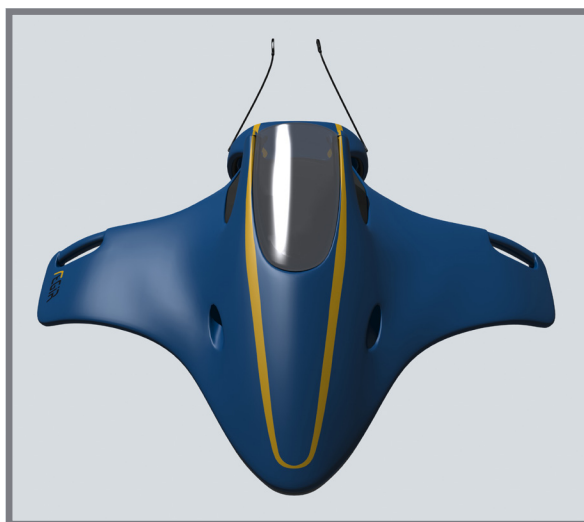
Již při prvním pohledu na předek vodního skútru je zřejmé, že jsem se nechal inspirovat u mořských živočichů, a to především žraloků. S těmi má Aegir společný ostřejší ráz profilu, který je tvořen hranou mezi vrchní a spodní plochou. Tím, že se materiál dělí až pod úroveň tohoto zlomu vznikla rovina, která pokračuje dále dozadu, kde přechází v hranu bočnice. Linie horní části se mírně zvedá a plynule přechází v čelní kryt, na jehož konci je přerušena. Naopak spodní linie klesá prudce dolů, aby se za chvíli mohla zase stočit mírně nahoru a pokračovat až do zadního segmentu. Takovýmto tvarováním profilu jsem se chtěl přiblížit hydrodynamickému tvaru, vhodnému pro použití u skútrů poháněných vodní tryskou. Jediný rozdíl mezi výsledným a optimálním tvarem je jeho ostřejší zakončení. To by sice mohlo působit negativními vlivy na chod vozidla, ale ve spojení s malou rychlostí, již stroj dosahuje, by to nemělo být nijak patrné.



Obr. 19 Boční pohled

I z horního pohledu má Aegir spíše ostřejší charakter, který je dán razantním zúžením trupu mezi místem, kde navazují bočnice, a čelem. Celkové vzezření odlehčuje zaoblení předku stroje. Z čelního pohledu je hmota skútru soustředěna do střední části, která na stranách přechází v „křídla“ pro uchycení dodatečného vybavení. Stejně jako profil se i nárys dělí na vršek a spodek, přičemž jsou obě části tvořeny oblouky, jejichž nejvyšší body jsou umístěny na linii ohraničující boční tvar. Oba oblouky se svažují směrem ke středu, dokud se nedostanou těsně před úroveň

hranice oddělující vrchní a spodní část. Tam se natáčí do stran a plynule přechází do bočnic, kde tvoří jejich horní a spodní plochy. Ke konci se „křídla“ stáčí lehce dolů, aby tak vytvořila prostor pro připojení další výstroje. Z pohledu z boku se zdá, že tyto bočnice začínají více vzadu než tomu skutečně je. To je zaprvé způsobeno hranou, jež zůstává po většinu doby stejně široká, a hlavně postupným zúžením, které se projeví až v oblasti, kde se bočnice svažuje. Podobnou tendenci mají bočnice i při přechodu do zadní části, kde je však zlom u trupu více čitelný než vepředu. Na kraji zadního segmentu je „křídlo“ přerušeno perforací, která vytváří prostor pro umístění madla. Aby se lépe drželo, musely být jeho rozměry oproti zbytku bočnice zmenšeny. Mezi rukojetí a „křídlem“ tak vznikl schod vymezující prostor, kterého se má potápeč držet. Mezera, jež vznikla perforací, umožňuje, aby se dalo za madlo držet. Z jedné strany je ohraničena rukojetí, zatímco tři zbývající tvoří bočnice. Plocha, která leží naproti madlu, není rovná jako boční strany, ale mírně se svažuje.



Obr. 20 Čelní pohled

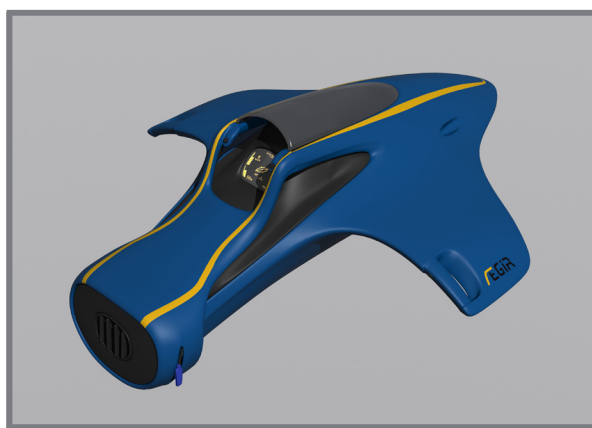
Dalším prvkem, díky němuž může skútr vzdáleně připomínat některého vodního živočicha, jsou vstupní otvory balastních nádrží umístěných po stranách vrchní části, které vzdáleně připomínají oči. Mají oválný tvar vzniklý zapuštěním kruhového profilu do kapoty. Na začátku je přechod mezi otvorem a trupem plynulý, ale směrem dozadu se vytváří hrana. Na horizontální hraně mezi díly se nachází diodový pás, který začíná těsně za špičkou a pokračuje až na úroveň vstupních komor balastních nádrží.

## 6.2

### 6.2 Zadní kapota

Tvar skútru se směrem dozadu stává citelně složitějším, než tomu je vepředu. Vrchní kryt se rozděluje do několika menších segmentů. Na úrovni vstupních komor vodních trysek je trup přerušen průhledným krytem, který slouží k ochraně potápeče a který rozděluje kapotu na dvě části. O trochu dále je na trupu vytvořeno další přerušení dílem, určeným pro odložení rukou k odpočinku. Díky různě umístěným mezerám v kapotě vznikly mezi čelním krytem a odkládací plochou dva izolované díly, které se postupně zužují a v místě, kde končí ochranný kryt, se tvar svažuje směrem dolů, čímž jsou vytvořena madla. Ty pokračují stejným směrem, dokud se nezačnou stáčet

do vodorovné polohy. V této oblasti se napojují na hladkou plochu, jež je nahoru mírně zaoblená. Plocha pokračuje v klesající tendenci, ale vzadu se narovná. Ve stejnou dobu, kdy dochází k narovnání, se díl rozšiřuje do stran a pokračuje dolů. Po čase se díl stáčí zpět do středu těžiště, čímž vzniká rám. Ten má oválný tvar s rovnou horní plochou a je širší než zbytek trupu. Vzadu je uzavřen dalším dílem, uprostřed něhož je otvor pro výstup vodní trysky, jež je vyplněn drobnými plochami sloužícími jako pomocná kormidla. Vepředu jsou mezi trupem a rámem prázdné prostory, jež se využívají jako zadní úchyty určené k přitažení volně plavajícího potápěče ke skútru a k připevnění zařízení pro vyzdvižení stroje z vody. Oblast mezi madly je propojena mírným obloukem a je zaoblená více než zbytek dílu. Je tomu tak učiněno, aby bylo možné chytit se skútru pouze jednou rukou. Rukojeti se na svých vnitřních stranách rozšiřují a vytvářejí tak dostatek místa pro umístění ovládacích prvků. Toto rozšíření



Obr. 21 Pohled zezadu

pokračuje po celém obvodu přední kapoty. V těchto místech je výstupek po stranách zvýšen tak, aby vznikla drážka pro usazení čelního skla.

Průhledný kryt má z horního pohledu tvar paraboly, jež je přerušena v místě, kde začínají rukojeti. Sklo je vypouklé a jeho střední linie navazuje na přední kapotu. Tím vytváří dojem jednolitě plochy. Z bočního pohledu je konec čelního skla mírně nakloněný a jeho hrana pokračuje spárou, jež tvoří hranici mezi přední kapotou a madly.

Poslední části, jež vznikly rozdělením předního krytu, jsou nejdůležitější z vytvořených segmentů a slouží jako bok skútru. Jejich horní hrany se lehce sklánějí dolů a pokračují dozadu, kde mizí v prostoru zadních úchytů. Pro plochy sloužící k odložení rukou by nebyl dostatek místa a to ani, přestože jsou hrany posazeny níž, než je linie madel. Proto jsou boky od zbytku těla odsazeny ještě do stran. Výrazný výtvarný prvek tvoří ostrá linka, jež vznikla přechodem hrany „křídla“ do boku stroje. Tento element dotváří linii jdoucí od zadních madel, přes boky, obvod bočnic až do čela, kde se stáčí zpět, aby mohl být zopakován stejný průběh jako na první straně. Aby prostor pod madly lépe korespondoval s bokem je na jeho horním segmentu znovu využito zosťnění, které prochází od zlomu mezi vrchní a spodní hranou a pokračuje přes madla, na nichž se začíná postupně ztrácet.

Mezi předním krytem a madly je vložen další díl, který začíná již v počátečním oblouku čelního krytu, jehož tvar zpočátku kopíruje. Ještě před rukojetmi se stáčí dolů, aby se mohl později narovnat a dostat se pod zadní díl. Mezi rukojetmi a čelním

sklem je do dílu zapuštěn prolis, do něhož je zasazen displej potápěčského počítače. Ve své střední části je tvořen konvexním obloukem, jenž se směrem do stran stáčí do vertikální polohy a vzadu tak vytváří žlábek, který spojuje část s madly s bokem a plní tak funkci odkládací plochy pro ruce.

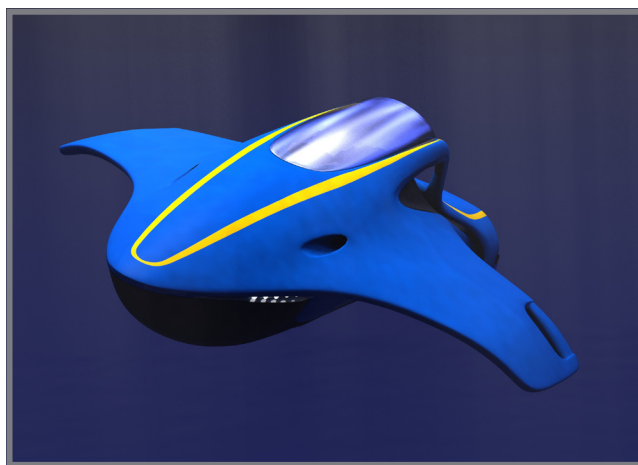
## 6.3

### 6.3 Celková kompozice

Hmota skútru se soustřeďuje hlavně do přední části, kde je uloženo nejvíce technických součástí, jako jsou akumulátory, elektromotor a balastní nádrže. Směrem dozadu se hmota stává subtilnější. Výjimku tvoří stoupající tendence přechodu předního krytu do čelního skla, která je ale částečně tvořena optickým klamem. Kvůli němu se zdá, že je stroj ve střední části nejmasivnější, přestože je jeho vrchní část tvořena pouze madly a deskou čelního krytu. Tvar Aegira je, až na ovládací prvky, symetrický. Asymetrickým tvarováním by se mohlo docílit špatných technických vlastností stroje a nevhodné ergonomie.

Díky hydrodynamickému tvaru a čistým liniím působí z profilu Aegir dynamickým a elegantním dojmem. Přestože se z bočního pohledu zdá, že je skútr na svou délku úzký, v celkové kompozici tomu však už není. Přestože je skútr docela široký, mohutnějším ho činí až bočnice pro připojení přídatných zařízení. Dynamický tvar se ke konci stroje uklidňuje, až je nakonec ukončen rovnou plochou. To by mělo poukázat na to, že stroj obsahuje i nějaké technické vybavení. Náhlé zakončení obsahující výstup vodní trysky je použito v kontrastu s organickým tvarováním zbylých částí skútru.

Inspirace mořskými živočichy je vidět v několika rysech Aegiru. Nejvýraznější z nich je přední segment se vstupními otvory balastních nádrží a bočnice připomínající ploutve. Další takové prvky už nemusejí být tak patrné. Např. čelní sklo, jež plynule přechází v trup, je inspirováno hřbetními ploutvemi. Podobnost s vodními tvory ještě umocňují vstupní otvory vodní trysky, které by měly připomínat žábry. Běžně je počátek trysky řešen jako jeden otvor, jenž je krytý mřížkou. Ta je u Aegiru zastoupena použitím deseti malých otvorů, které jsou zabudovány přímo do trupu stroje. Tím se zamezilo instalaci dodatečného dílu bránícímu okolním předmětům k nechtěnému vstupu dovnitř stroje.



Obr. 22 Perspektivní pohled

## 7 KONSTRUKČNĚ-TECHNOLOGICKÉ ŘEŠENÍ

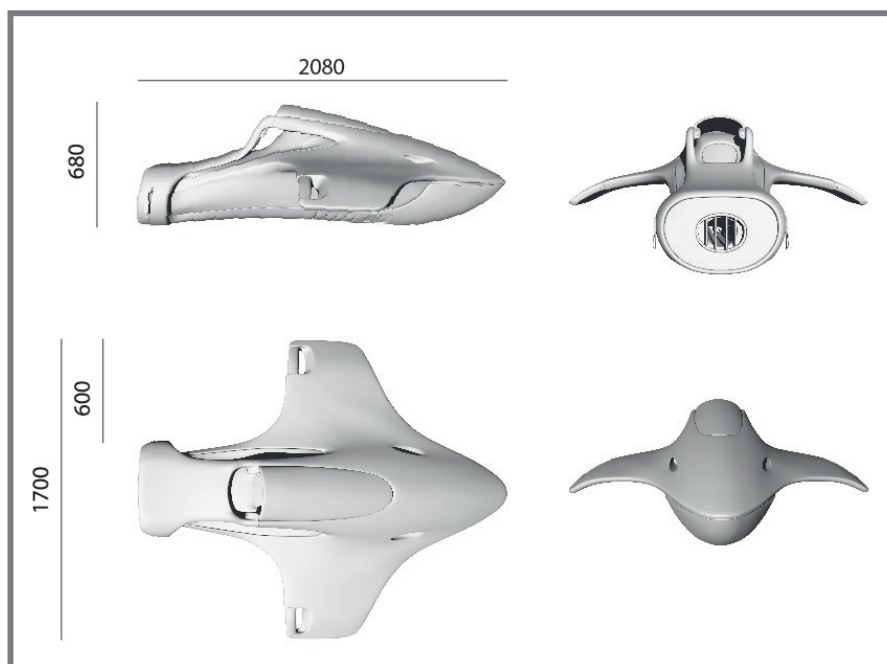
7

### 7.1 Rozměrové řešení

7.1

Návrh rozměrové části finálního řešení vycházel z produktů, jež jsou na trhu a jimiž byly hlavně skútry firem Cayago a Farallon. Konečné rozměry však byly navýšeny tak, aby v případě propojení více strojů nedocházelo ke kolizi potápěčů a aby konstrukce dokázala pojmout dodatečné technické vybavení, aniž by byl významně narušen vztlak skútru.

Díky organickému tvarování se často nedají rozměry přesně určit. Ty nejpodstatnější však jsou jasně definovány nebo se dají přibližně odvodit z ostatních rozměrů. Aegir má na délku 2080mm. Na výšku, jež je dána vzdáleností mezi dnem a nejvyšším bodem čelní krytu, má 680mm. Celková šířka stroje je 1700mm. Musí se ale brát v potaz, že jsou do tohoto rozměru započítány i bočnice, které sice stroj rozšiřují do stran, ale co se týká jejich výšky a šířky, jsou oproti zbytku konstrukce subtilní. Měla by se proto udávat i velikost nejširšího místa centrální části, jež je 500mm. Z těchto rozměrů se dá odvodit i to, že délka křídel je 600mm. Váha celého stroje je přibližně 116kg.



Obr. 23 Rozměry

### 7.2 Motor a pohon

7.2

Přestože je lodní šroub všeobecně považován za jednodušší a lehčí než vodní tryska, byla pro finální řešení zvolena právě druhá varianta. Při vyšších rychlostech se totiž u propeleru zhorší manévrovatelnost vozidla a musel by být použit jiný propeler než pevný, což by nebylo z ergonomických důvodů výhodné. Vodní tryska je sice složitější a zabírá více místa, její použití však zlepší výkon a ovladatelnost plavidla. To potápěč pocítí hlavně při regulaci rychlosti a zastavování. Navíc jsou pohyblivé části zabudovány do konstrukce plavidla a nehrozí tak jejich zanesení nebo poškození věcmi nacházejícími se pod hladinou moře. Plavidlo tak může být použito i v mělkých

vodách. Větší rozměry vodní trysky mohou být problém u menších strojů, ale u skútru tak rozměrného jako je Aegir, nejsou tolik podstatné.

Technické aspekty pohonu a následně motoru jsou inspirovány stroji firmy Cayago Seabob. Tato firma byla vybrána, jelikož jako jediná společnost sériově vyrábí podvodní skútry s vodní tryskou. Pohonná jednotka je u Aegira umístěna v zadní polovině stroje. Voda do ní vstupuje skrze deset otvorů na spodku skútru. Ty se nachází více vpředu než vodní tryska a tak musí být upravena vnitřní konstrukce stroje. Voda ve výsledku protéká každým otvorem zvlášť a následně se opět spojuje do jednoho proudu. V tomto momentě vstupuje do vodní trysky. Více vstupních otvorů nahrazuje mříž, jež se běžně používá u ostatních skútrů. U výstupu vodní trysky je už mříž použita. Je zde tvořena rámem zasazeným do trupu stroje a čtyřmi příčnými deskami, které brání tomu, aby se do trysky dostaly nežádoucí předměty. Ke každé příčce je připojeno jedno kormidlo, ovlivňující směr proudu vody vystupujícího z trysky.

Pro rozpořívání vodní trysky byl vybrán stejnosměrný bezkartáčový motor, který je výkonnější než jeho verze s kartáči, a také údržba je snadnější díky použití permanentních magnetů. Motor je umístěn před vodní tryskou na úrovni jejích vstupních otvorů. Výkon motoru byl zvolen 3700W s kroutícím momentem 18Nm. Odvozený tah trysky je pak přibližně 600N, to dovoluje skútru dosáhnout rychlosti až 12 km/h.



Obr. 24 Tok vody

### 7.3 Akumulátory

Jako zdroj elektrické energie pro elektromotor slouží lithium železo fosfátové akumulátory. Výhodou akumulátorů na bázi lithia je, že nevyužívají toxických kovů, jsou lehčí, mají větší kapacitu a rychleji se nabíjí. Při volbě vhodných parametrů musíme brát v potaz použitý elektromotor a rozměry stroje v místech, kde mají být baterie uloženy. Aegir obsahuje 22 samostatných článků s napětím 3,2V a kapacitou 40Ah. Dohromady by měli mít napětí kolem 70V, což by stroji umožnilo přibližně 100 min provozu při průměrné rychlosti a za předpokladu, že by nebylo připojeno žádné dodatečné vybavení. S životností 1000 cyklů by v ideálních podmínkách dokázaly vydržet 10 let. Jeden článek váží přibližně 1,5kg, přičemž váha všech 22

článků dohromady je tedy 33kg. Jeden článek je 181mm dlouhý, 115mm široký a jeho tloušťka je 46mm. Menší rozměry umožňují rozestavit baterie tak, aby se jich do stroje vešel takový počet. Navíc je s nimi snadnější manipulace, v případě nutné výměny. Akumulátory jsou umístěny v předním dílu, který je odnímatelný a baterie se tak nemusejí nabíjet přímo ve skútru. Další výhodou tohoto systému je, že v případě, kdy má uživatel identický přední díl se sadou baterií, může ho na souši vyměnit a vrátit se k potápění. Může tím eliminovat časovou prodlevu 12 hodin než se akumulátory znovu dobijí.

## 7.4 Elektronika

7.4

Na rozdíl od menších podvodních skútrů se na Aegiru vyskytuje více prvků, vyžadujících složitější elektroniku. Jedná se zejména o displej potápěčského počítače a světla. U většiny ostatních skútrů se tyto prvky nacházejí ve formě přídavných zařízení.

Pro zobrazení údajů o stavu stroje a informacích o výpravě je použit monochromatický LED displej, jenž je chráněn proti nepříznivým vnějším vlivům vrstvou průhledného akrylového plastu. LED technologie byla vybrána, jelikož její použití ušetří až o 40% více energie než konkurenční LCD displeje. Jejich nevýhodou je vyšší cena, ale u dražších skútrů, jako je Aegir, je vhodné použít lepší technologie na úkor ceny.

Na bocích přední části stroje jsou umístěna světla ve formě pásu tvořeného LED diodami. Použití LED svítidel je v potápění již běžnou praxí. LED diody mají totiž delší výdrž než běžné žárovky a spotřebují méně energie. U podvodních skútrů je úspora energie důležitá, jelikož ušetřená elektřina může být využita u energeticky náročnějších funkcí a může prodloužit dobu strávenou při potápění.

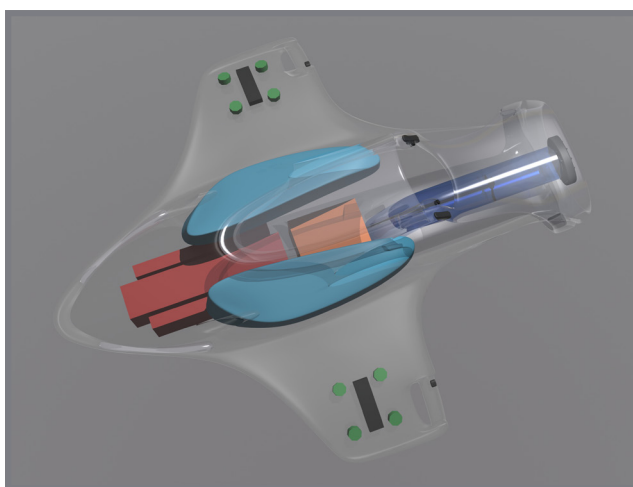
## 7.5 Konstrukce a materiály

7.5

Při konstrukci podvodního skútru se musí řešit několik faktorů nutných pro správný provoz stroje. Nejdůležitějším z nich je pravděpodobně vztlak. Ideální by bylo, kdyby měl skútr neutrální vztlak, který by mu umožnil volný pohyb pod vodou bez využití dalších systémů. V praxi je však obtížné docílit přesného neutrálního vztlaku, aniž by nebyly ovlivněny technické součásti. Proto se u dnešních skútrů většinou používá pozitivní či negativní vztlak. Aegir má předpokládaný pozitivní vztlak 8kg, který může za to, že je stroj nadnášen. Pro zařízení, u nichž se předpokládá, že se pro plnění svého účelu budou potřebovat ponořit do větších hloubek, je nadnášení stroje nepříznivým vlivem. Aby bylo možné potápnout se bez toho, aby proti směru pohybu skútru působily vztlakové síly, jsou do trupu zabudovány balastní nádrže. Napouštěním a vypouštěním vody do balastních nádrží se kontroluje velikost a směr vztlakové síly. Nádrž je tvořena dvěma komorami, jejichž společný objem byl odhadnut na 40l. Každá komora má svůj vlastní vstupní otvor v přední části trupu. V důsledku umístění balastních nádrží mimo těžiště stroje lze cirkulaci vody mezi okolím a komorami ovládat i náklon stroje.

Když opomeneme hydrodynamické tvarování, které je spíše součástí tvarového a kompozičního řešení, je dalším důležitým kritériem při návrhu konstrukce podvodního plavidla volba materiálu a jeho použití. Materiál by měl u skútru splňovat několik podmínek pro to, aby byl stroj způsobilý provozu. Měl by být hlavně odolný v tahu

a korozivzdorný. V praxi je důležitá také cena použitého materiálu. V dnešní době se u podvodních skútrů používá převážně hliník, lexan nebo akrylový plast. Všechny tři materiály se u Aegiru v různých variantách vyskytují. Kapota stroje je vyrobena z polykarbonátu lexanu. Sice nemá tak dobré vlastnosti jako hliník, ale pro jeho účel stačí. Na rozdíl od akrylového plastu má o trochu lepší pevnost v tlaku a je odolnější proti nárazu. V místech, jejichž konstrukce může být v obtížnějších podmínkách náchylnější k poškození, je lexan vyztužen sklolaminátem. Hliník je použit u technické části konstrukce. Jedná se hlavně o vodní trysku a vnitřní kostru, která slouží jako dodatečná podpora kapoty a k usazení technických součástí. Z akrylového plastu je vyroben čelní průhledný kryt. Přestože akrylový plast nemá tak dobré vlastnosti jako lexan, je pro použití u průhledného dílu vhodnější. Na rozdíl od lexanu není tolik náchylný ke vzniku povrchových vrypů, které by mohly zhoršit viditelnost skrze čelní sklo.



Obr. 25 Technické schéma

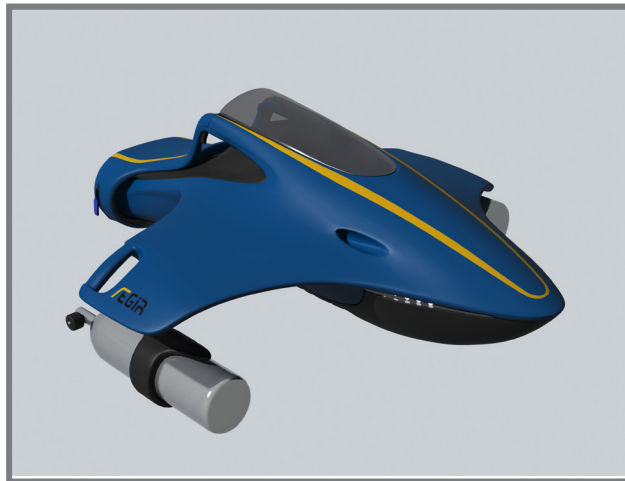
## 7.6 Připojení přídavných zařízení

Technické vybavení Aegira se od ostatních skútrů liší hlavně v možnosti připojení dodatečného zařízení. To je zprostředkováno pomocí elektromagnetů umístěných na konci bočnic. Kvůli omezeným rozměrům „křidel“ je zvolen větší počet menších magnetů o průměr 25mm. Na každé straně je umístěno pět magnetů, přičemž nosnost magnetů o těchto rozměrech se pohybuje kolem 11kg. Takovýto systém by tedy neměl mít problém udržet menší stroj vážící 30kg ani za nepříznivých podmínek. Další výhodou většího počtu menších magnetů je, že v momentě, kdy se jeden z nich porouchá, nedojde k odpojení přídavného zařízení. Samotný počet by však nemusel stačit, proto je nosnost zachytného systému zvolena tak, aby převyšovala potřebnou váhu. Připojení přídavného vybavení lze realizovat buď tím, že by byly předměty vyrobeny přímo pro použití s Aegirem, nebo by k připojení došlo využitím přídavné konstrukce.

Možnost připojení přídavného zařízení plně využije svého potenciálu až momentě, kdy jsou ke stroji přichyceny další skútry. Pokud jsou k tomu uzpůsobeny nemusejí čerpat všechnu energii ze svých akumulátorů, ale mohou se dobíjet ze zásob Aegira. K tomu dochází za pomoci elektromagnetické indukce. U běžného transformátoru se nachází primární a sekundární vinutí na společném jádře. Aby vznikla

elektromagnetické indukce musí se primární vedení vůči sekundárnímu pohybovat. Primární vodič změni napětí tak, aby jeho frekvence odpovídala hodnotě potřebné pro přenos energie, a následně vede proud k mobilním zařízením, v jehož sběrači se napětí usměrní a přizpůsobí jeho potřebám.

Nabíjení pomocí elektromagnetů se již běžně používá ve strojírenství a uvažuje se o jeho aplikaci i u nabíjení elektromobilů.



Obr. 26 Připojení přídavného zařízení

## 8 GRAFICKÉ ŘEŠENÍ

### 8.1 Barevné řešení

Barva je po tvaru další nosný prvek, který ovlivňuje to, jakým dojmem na nás navržený produkt působí. Proto je její volba velmi důležitá. Pomocí ní je možné zvýraznit některé složky designu a odlišit od sebe funkční a nefunkční plochy. Na druhou stranu může špatná volba kombinace barev utopit celý návrh. Při výběru tónu a jeho kompozice se musí klást důraz na pocity a asociace, které k němu má člověk přiřazený. V případě podvodního skútru je také vhodné počítat s tím, jaký vliv má zbarvení stroje na okolní prostředí.

Člověk se potápí hlavně za účelem průzkumu podmořské flóry a fauny. Je tak žádoucí, aby zvolené barvy neobtěžovaly živočichy a některé rostliny, kteří se pod vodou nachází. Pro podvodní zařízení se proto hodí spíše tmavší a matné odstíny, od nichž se neodráží tolik světla.



Obr. 27 Barevné varianty

Jako primární barva slouží modrá barva, která by sice mohla být pod vodou hůře viditelná než jiné teplejší barvy, ale potápěči se řídí spíše podle světla. Její použití také odpovídá úmyslu co nejvíce splynout s okolním prostředím. Proto je použita u nejdůležitějších částí celého podvodního skútru, kterými jsou čelní díl s bočnicemi a zadní díl s madly a rámem vodní trysky. V kontrastu s modrou barvou je u ostatních částí použit tmavší odstín šedé barvy. Obě modré části jsou jedním takovým dílem odděleny, čímž se zdůraznila plocha, do níž je zasazen displej a jejíž boky se dají využít pro odpočinek rukou. Spodní část stroje je rozdělena dalšími dvěma segmenty, u nichž je šedá barva použita. Tato barvená kompozice působí jako břicho vodního živočicha. To sice většinou bývá světle šedé až bílé, ale použití světlejší barvy by neodpovídalo zvolené koncepci. Prostor ústí vodní trysky je šedé stejně jako mřížka, která je do něj zasazená. Tento díl je však umístěn do dílu s madly a je tak ohraničen modrou barvou.

U dalších variant by se zachovala šedá barva a nahradila modrá. To však neznamená, že by se na přání zákazníka nemohla barevná kombinace upravit. Jednou z těchto možností by mohla být barevnost založená na zabarvení kosatky a jiných podobných mořských živočichů. Použita by byla tmavě šedá pro dominantní díly a matná bílá pro další segmenty.

## 8.2 Grafické řešení

8.2

Pro dotvoření výrazu stroje je vedle barevného řešení použita i grafika. V rámci návrhu Aegira je možné využít dvou variant. Obě možnosti jsou si podobné použitím tenkých linií. První varianta je tvořena jednou linkou, která začíná na hraně rámu vodní trysky a přes madla pokračuje až do předního dílu, na němž se postupně ztenčuje. Před předkem stroje se linie stáčí zpět a pokračuje se stejným průběhem jako první část. V momentě, kdy se zadní díl směrem dopředu zužuje, zužují se i grafické řešení, čímž se k sobě linie přiblíží. Na prvé bočnici je u madla umístěn logotyp. Ten je tvořen pouze názvem Aegir, jehož první a poslední písmeno se svažují tak, aby celek připomínal spojené bočnice stroje. První písmeno není A, ale mělo by spíše odpovídat  $\text{Æ}$ , které by se mělo u jména Aegir správně používat. Pro hlavní modrou variantu je barva žlutá. Zvolena byla z důvodu, že se k modré hodí, a protože jejím použitím získá stroj svěží vzhled.

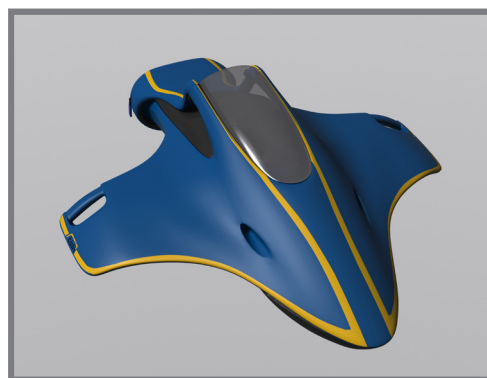
Druhá varianta má v zadní části stejný průběh jako ta první. Změna nastává až v čelním segmentu, kde se dvě linie nespojují, ale stáčí se do boků, kde kopírují hranu bočnic. V místech, kde jsou do bočnic zabudovány rukojeti, jsou linie přerušeny logotypem.

Grafika je navržena tak, aby působila dynamickým dojmem, kterého je docíleno ztvárněním pomyslného proudu vody procházejícího po povrchu podvodního skútru.

Pro běžné použití je určena první varianta. Sice nepůsobí tak moderním a dynamickým dojmem jako druhá verze, ale není tolik komplikovaná a bude odpovídat vkusu více lidí.



Obr. 28 První grafická varianta



Obr. 29 Druhá grafická varianta

## 9 ROZBOR DALŠÍCH FUNKCÍ DESIGNÉRSKÉHO NÁVRHU

### 9.1

#### 9.1 Psychologická funkce

Každý člověk do určité míry vnímá okolní prostředí a nějakým způsobem na něj reaguje. Proto je důležité brát v potaz i psychologické aspekty návrhu. V dnešní době stále více lidí vyžaduje kvalitní výrobky na úkor vyšší ceny. Očekávají od výrobků dobré technické zpracování a hezký inovativní vzhled, jež by byl doplněn ergonomickým ovládáním, příjemným pro použití. Člověk vnímá kvalitu svými smysly a pro každého jednotlivce mají různé aspekty jinou prioritu. U podvodního skútru je z hlediska smyslového vnímání nejdůležitější volba vhodného materiálu pro funkční plochy, barva a hlasitost pohonné jednotky.

Volba materiálu souvisí se smyslem hmatu, proto je vhodné zohlednit při jeho výběru drsnost povrchu a jeho vlastnosti. Z hlediska vhodné technologie byl zvolen polykarbonát lexan, který pokrývá celý povrch stroje, tedy i funkční plochy určené pro kontakt s potápěčem, jimiž jsou hlavně rukojeti s ovládacími prvky, madla na bočnicích a zadní uchycení. Celý skútr má hladký charakter bez zbytečných zdrsnění. Materiál je však sám o sobě hrubší, než např. běžně používaný hliník. To má za následek menší možnost sklouznutí potápěčových rukou z rukojetí a následně jistější úchop. Jelikož přichází potápěč do kontaktu se skútrům pouze prostřednictvím horních končetin, působí jistější úchop ve spojení s jisticími lany větším bezpečím.

Barevnost stroje je jednou z nejpodstatnějších vizuálních informací, které člověk registruje. Přestože není použití zvolené barevné kombinace, sestávající především z tmavých studených odstínů, běžným lidem tolik příjemné jako v případě aplikace teplejších barev, je pro podvodní skútry lepší z hlediska interakce s hlubokomořským prostředím a živočichy, kteří v něm žijí. Tmavší odstíny ve spojení s matným povrchem neodráží takové množství světla, aby dokázalo odstrašit nebo jinak ovlivnit podvodní organismy. Lidé, kteří se primárně rozhodují pro přístrojové potápění, aby mohli prozkoumávat hlubokomořský svět, budou rádi, že si mohou prohlížet žádanou scenerii a přitom nebudou narušovat okolní ekosystém více než je to nutné.

Kladně by měl uživatel přijmout i možnost připojení dalšího vybavení, jež mu umožní nést další vybavení v případě poruchy. Strojové potápění je skupinová činnost, kde na sebe navzájem musejí účastníci dávat pozor. V momentě, kdy budou všichni potápěči přichyceni k jednomu stroji a budou si vědomi blízké přítomnosti ostatních, budou mít větší pocit jistoty a bezpečnosti.

Podvodní skútr je pro většinu lidí neznámý stroj, který podle nich vlastní pouze pár vyvolených. Z části je to pravda, jelikož ne každý je odhodlaný věnovat se takovému adrenalinovému sportu jako je hloubkové potápění. A i z těchto lidí je menšina těch, co někdy podvodní skútr vůbec použila natož, aby jej vlastnila. Některé designové studie proto mohou na někoho působit cizím dojmem a připadat mu, že jsou spíše z vědecko-fantastických příběhů než z reálného života. Právě do této skupiny by se řadil Aegir. To je způsobeno jeho složitějším tvarováním a většími rozměry než mají běžná vozidla stejného typu, která jsou z velké části tvořena válcovými trupy. Aby byl stroj vnímán jako kvalitní dopravní prostředek nejen u potápěčů, ale i u běžných lidí, kteří by si přáli s přístrojovým potápěním začít nebo už začali, je u něho vynechán větší počet ostrých linií a dalších zbytečných okrasných prvků, které jsou v dnešní době tolik oblíbené. Tvarování převážně sestává z jednoduchých organických ploch, které by měly na člověka působit příjemným dojmem, jenž je ještě podmíněn stylizací stroje do mořského živočicha.

Jelikož se v prostředí, ve kterém se potápěči často pohybují, může vyskytovat spousta nebezpečí, je důležité, aby skútr v lidech budil dojem spolehlivého stroje, díky němuž se budou cítit v bezpečí.

## 9.2 Ekonomická funkce

Podvodní skútry se v dnešní době nabízí v celkem širokém cenovém spektru. Běžně se jejich cena pohybuje mezi 10 000 a 100 000 Kč. To jsou však skútry co používají jako pohonnou jednotku vodní šroub. Verze pohybující se pomocí vodní trysky mohou stát až 300 000 Kč. Do této cenové kategorie patří firma Cayago SeaBob, z jejíž produktů vycházelo technické řešení Aegira. Pro příklad slouží nejlevnější model firmy Cayago Seabob Ravejet, jenž stojí 7485 EUR, což je dnes asi 187 000 Kč. Aegir by se měl pohybovat nad vrchní cenovou hranicí.

Vzhledem k vyšší ceně, jež je stejná jako u středně velkého auta, by většina lidí s nákupem váhala. Pro většinu z nich by se také nákup vůbec nevyplatil, jelikož by stroj asi stěží dokázali plně využít. Zájem by pak měli mít hlavně ti, co to s potápěním myslí vážně a přejí si mít produkt vyčnívající z řad běžně prodávaných skútrů. Dalším zájemcem by také mohly být společnosti zabývající se rekreací u přímořských letovisek, které by mohly nabízet potápění s průvodcem za pomoci Aegira.

Jelikož technické aspekty jsou inspirovány již existujícími technologiemi, nebyl by vývoj nového zařízení z hlediska ceny nikterak zásadní, jako v případě, kdyby byl stroj navrhován úplně od začátku. Vývoj by tak byl zaměřen hlavně na uchycení dodatečného vybavení pomocí elektromagnetů. Omezený počet zájemců by byl důvodem k omezení sériové výroby, což by ze Aegira učinilo limitovanou edici v řádech několika set kusů a tak zvýšilo jeho konečnou cenu.

K navýšení ceny oproti ostatním výrobkům stejné kategorie dojde především kvůli použití elektromagnetů na bočnicích stroje a většímu množství materiálu, ze kterého je zhotovena konstrukce, jenž tento přídatný systém obsahuje. Dalším zásadním aspektem ovlivňujícím konečnou cenu jsou akumulátory, jejichž počet byl oproti ostatním podvodním skútrům zdvojnásoben, aby mohl být napájen i systém elektromagnetů a případně menší podvodní skútry připojené ke Aegirovi. Aby mohl stroj obsahovat takové množství akumulátorů a zároveň by nebyl ovlivněn vztlak, bylo zapotřebí zvětšit jeho objem, čímž se znovu navýšila kvantita potřebného materiálu.

Vyšší cena by měla být vykompenzována dobrým výkonem, delším časem, po který může zůstat stroj pod vodou, než mají ostatní firmy a možností pohybu ve více lidech, k čemu není vždy nutné mít jiný menší podvodní skútr. I ostatní společnosti, zabývající se výrobou podvodních skútrů, nabízejí možnost pohybu ve skupinách, ale potápěči musejí mít více skútrů stejného typu a ještě konstrukce, která by je spojila.

## 9.3 Sociální funkce

Pro dnešní lidi je důležité, jak je ostatní vnímají a jak zapadají do společnosti. Na to má velký vliv mimo jiné i to, co nosí za oblečení, jakým jezdí autem a co používají za přístroje. Často se volbou některé z těchto věcí řadí do určité společenské skupiny. Proto se při designérském návrhu nesmí opomenout ani jeho sociální funkce.

Adrenalinovým sportům se v dnešní době věnuje čím dál, tím víc lidí. Oproti ostatním sportům není přístrojové potápění tak nebezpečné jako např. skok s padákem, takže se mu rekreačně může věnovat více lidí. Samozřejmě je však nutné podstoupit určitý stupeň výcviku, který je vyžadován i u dalších životu nebezpečných sportů. Přestože se potápění věnuje hodně lidí, většina z nich tak činí pouze rekreačně a jednou

za čas. Podvodní skútry jsou určeny spíše pro lidi, kteří je dokážou využít a potápějí se častěji. Skútr usnadní pohyb více potápěčů najednou, přičemž se zvýší dojezd a doba, kterou může skupina pod vodou účelně strávit.

Použití skútru je omezeno kritérii potřebnými pro vykonávání přístrojového potápění. Důležité je, aby potápěč neměl žádné zdravotní problémy, jež by ho mohly omezovat. Nejhorší jsou převážně problémy se srdcem a dýchacími cestami. Problémy s dýcháním se dají přejít u lidí s méně kritickými fázemi nemocí, jako je třeba astma. Naopak by se neměl potápět nikdo, kdo měl infarkt nebo mu byla diagnostikována nějaká nemoc srdce. Největší počet úmrtí při potápění je totiž způsobeno selháním srdce. Teoreticky nehraje žádnou roli věk ani jiný hendikep. Existují kurzy potápění pro děti od 10 let a i pro hendikepované. To však neznamená, že by mohli obsluhovat i podvodní skútr. Pro manipulaci se strojem by měl obsluhující potápěč dosahovat vhodných předpokladů a to jak psychických tak i fyzických.

V posledních letech se stává citelným i další sociální hledisko, kterým je starost o životní prostředí. Z tohoto důvodu se hodně firem zabývá vývojem ekologicky šetrných produktů. Nápadným je především rozvoj elektromotorů. U podvodních skútrů se však elektromotory napájené akumulátory používaly již od jejich počátku. Vývoj zasáhl především akumulátory, které se postupem času staly výkonnější než předchozí a hlavně bezpečnější lidem i svému okolí. Toto dosáhlo vrcholu u lithium-polymerových akumulátorů, u kterých se začal používat pevný elektrolyt místo kapalného. LiPo akumulátory byly vybrány jako zdroj energie výsledného řešení. Jejich hlavní problém z ekologického hlediska spočívá v omezených možnostech recyklace. Sice existuje několik firem, které Li-Ion a LiPo baterie recyklují, ale jsou to cenově náročné procesy. Z ekonomických důvodů se pro většinu společností nevyplatí, a tak recyklace u tohoto typu baterií dosahuje pouze 25%. Naproti tomu recyklace konkurenčních olověných akumulátorů přesahuje 95%.

## ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je inovativní návrh podvodního skútru, jehož jedinečnost spočívá v možnosti připojení přídavného zařízení. Tím mohou být dodatečné tlakové nádoby se zásobou vzduchu, nebo schránky pro umístění dalšího vybavení. Návrh klade důraz hlavně na uchycení menších podvodních skútrů k tomu uzpůsobených. Připojení je řešeno pomocí systému elektromagnetů a v případě připojení elektronického zařízení je možné dobíjet jej ze zásob energie většího stroje.

Od ostatních skútrů na trhu se návrh neodlišuje pouze konceptem uchycení zařízení, ale i tvarem. Ten je oproti nim více organický a připomíná tvar mořského živočicha, což odpovídá úmyslu zasahovat do okolního prostředí co nejméně. Toho je docíleno hlavně volbou barev a technického vybavení. Barvy jsou zvoleny tmavší a matné, čímž se zamezí množství světla odraženého od povrchu stroje. Skútr se uvádí do pohybu pomocí vodní trysky, jejíž výhodou je menší hlučnost a větší zabezpečení proti vniku nežádoucích předmětů. Motor a pohon jsou podobné těm, co se u podvodních skútrů běžně používají. Zatím totiž nejsou volně přístupné jiné technologie, které by měly tak dobré vlastnosti, byly šetrné k životnímu prostředí, a bez problémů by fungovaly ve větších hloubkách.

Pro uskutečnění požadovaného výsledku musela práce projít od analytické části až po varianty a finální řešení. Znalosti získané v první části nemohou, vzhledem ke komplexnosti tématu, pojmout všechny aspekty návrhu, které by byly nutné pro detailní konstrukční řešení. Aegir tak zůstává konceptem, jehož funkčnost a účelnost by byla ověřena až při dalším řešení a praktických zkouškách.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] Aircraftmaterialsuk [online]. 2001 [cit. 2011-11-27]. Aluminium Alloy. Dostupné z WWW: <<http://www.aircraftmaterialsuk.com/data/aluminium/6061.html>>.
- [2] Battery university [online]. 2011 [cit. 2011-11-24]. Is Lithium-ion the Ideal Battery?. Dostupné z WWW: <[http://batteryuniversity.com/learn/article/is\\_lithium\\_ion\\_the\\_ideal\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/is_lithium_ion_the_ideal_battery)>.org/wiki/LED - citováno 28/42010)
- [3] Benefits of performance standards for lithium-ion and lithium-ion polymer batteries. Battery Conference on Applications and Advances, 2002.. 2002, 17, s. 223 – 225.
- [4] CARLTON, John. Marine propellers and propulsion. Druhé vydání. Oxford : Elsevier Ltd., 2007. 533 s. ISBN 978-07506-8150-6.
- [5] Davies, K.L., Moore, R.M., „Unmanned Underwater Vehicle Fuel Cell Energy/Power systém Technology Assessment“, Oceanic Engineering, IEEE Journal of, On page(s): 365 - 372, Volume: 32 Issue: 2, April 2007.
- [6] EXA Product [online]. 2001 [cit. 2011-11-28]. Structure of Lithium Polymer battery. Dostupné z WWW: <<http://www.exa.com.tw/exa/structure.htm>>.
- [7] Farallon [online]. 2011 [cit. 2011-11-28]. Farallon products. Dostupné z WWW: <<http://www.farallonusa.com/product.html>>.battery.
- [8] GILBERTOVÁ, Sylva; MATOUŠEK, Oldřich. Ergonomie: Optimalizace lidské společnosti. Praha : Grada, 2002. 239 s. ISBN 978-8-024-70226-1.
- [9] JANOVEC, Jiří; CEJP, Jiří; STEIDL, Josef. Perspektivní materiály. 2. vydání. Praha : ČVUT, 2008. 135 s. ISBN 80-01-02341-9.
- [10] LOYNS, A. C.; ELLIS, K. G.; HILL, J. M. Telecommunications Conference, 2005. INTELEC ,05 : Twenty-Seventh International. Gwent UK : Atraverda Limited, 2005. High Voltage Lead-acid Battery Modules, s. 277 - 281. Dostupné z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/>>. ISBN 978-3-8007-2905-0.
- [11] Machinesinsight [online]. 2006, 2012 [cit. 2011-11-28]. Brushless dc motor. Dostupné z WWW: <<http://www.machinesinsight.com/>>.
- [12] Machinist-Materials [online]. [cit. 2011-11-28]. Plastics Comparison Table. Dostupné z WWW: <[http://www.machinist-materials.com/comparison\\_table\\_for\\_plastics.htm](http://www.machinist-materials.com/comparison_table_for_plastics.htm)>
- [13] Militaryphotos [online]. [cit. 2012-5-20]. Forum. Dostupné z WWW:<<http://www.militaryphotos.net/forums/>>

- [14] NUSSLE, Phil. Historical Diving and Equipment [online]. 2011 [cit. 2011-12-14]. The Human Torpedoes. Dostupné z WWW: <<http://www.divingheritage.com/torpedo.htm>>.
- [15] OCEANS, 2001. MTS/IEEE Conference and Exhibition. Ontario : Windsor Univ., 2002. Power and oxygen sources for a diver propulsion vehicle, s. 880 - 887. Dostupné z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/>>. ISBN 0-933957-28-9.
- [16] Ohio university [online]. 2011 [cit. 2011-11-28]. Stirling Engines - Mechanical Configurations. Dostupné z WWW: <<http://www.ohio.edu/people/urieli/>>.
- [17] Physics central [online]. 2011 [cit. 2011-11-28]. Lithium-ion batteries Dostupné z WWW: <<http://www.physicscentral.com/explore/action/lithium-1.cfm>>.
- [18] ROBINSON, Karen E. Li-Poly Pressure-Tolerant Batteries Dive Deep. Battery power products and technology [online]. 2007, Volume: 11 Issue: 2, [cit. 2011-11-24]. Dostupný z WWW: <[www.batterypoweronline.com](http://www.batterypoweronline.com)>.
- [19] Sabic innovative plastics [online]. 2011 [cit. 2011-11-28]. Lexan Resin. Dostupné z WWW: <<http://www.sabicip.com/>>
- [20] SEABOB Superyacht support [online]. 2011 [cit. 2011-11-28]. Cayago Magnum. Dostupné z WWW: <<http://www.seabobadriatic.com/>>.
- [21] SeaDoo [online]. 2011 [cit. 2011-11-28]. SeaDoo seascooter. Dostupné z WWW: <<http://www.seadooseascooter.com/>>.
- [22] STACHIW , J.D. Underwater Technology, 2004. UT ,04. 2004 International Symposium on. Rockport : Stachiw Associates, 2004. Acrylic plastic as structural material for underwater vehicles, s. 289 - 296. ISBN 0-7803-8541-1.
- [23] SUBMARINE HISTORY [online]. 2011 [cit. 2011-12-13]. SUBMARINE HISTORY. Dostupné z WWW: <<http://www.submarine-history.com/>>.
- [24] TEOFILO, V.L., et al. Battery Conference on Applications and Advances, 1999: The Fourteenth Annual. Sunnyvale, CA : Lockheed Martin Missiles & Space, 1999. Lithium ion solid polymer electrolyte batteries far portable electronics and space applications, s. 880 - 887 vol.2. Dostupné z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/>>. ISBN 0-7803-4967-9.
- [25] The Maritime engineering reference book : Guide to ship design, construction and operation. Oxford : Elsevier Ltd., 2008. 902 s.

- ISBN 978-0-7506-8987-8.
- [26] UHLÍŘ, Ivan. Elektrické stroje a pohony. Praha : ČVUT, 2007. 137 s. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [27] Undersea Vehicles and National Needs. Washington, D.C. : NATIONAL ACADEMY PRESS, 1996. 116 s. Dostupné z WWW: <<http://www.nap.edu/>>. ISBN 978-0-309-05384-6.
- [28] YOSHIO, Masaki; BRODD, Ralph J.; KOZAWA, Akiya. Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies. New York : Springer, 2009. 452 s. ISBN 978-0-387-34444-7.
- [29] YUN , Hae Kim, et al. OCEANS 2010 IEEE - Sydney. Busan, South Korea : Korea Maritime Univ., 2010. Material Design of Al/CFRP Hybrid Composites for the Hull of Autonomous Underwater Vehicle, s. 1 – 5.



**SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ**

<b>Obr. 1</b> Lidské torpédo, [23]	13
<b>Obr. 2</b> Farallon MK1, [7]	14
<b>Obr. 3</b> Propeler, [4]	15
<b>Obr. 4</b> Schéma vodní trysky, [4]	16
<b>Obr. 5</b> Stejnoseměrný motor, [16]	17
<b>Obr. 6</b> Schéma LiPo akumulátoru, [6]	18
<b>Obr. 7</b> Subskimmer [13]	22
<b>Obr. 8</b> SeaDoo RS3, [21]	23
<b>Obr. 9</b> Cayago Magnum, [20]	23
<b>Obr. 10</b> Varianta Bróga	25
<b>Obr. 11</b> Uchycení tlakové nádoby	26
<b>Obr. 12</b> Varianta Helldiver	27
<b>Obr. 13</b> Varianta Helldiver - horní pohled	28
<b>Obr. 14</b> Uchycení potápěče	30
<b>Obr. 15</b> Uchycení potápěče - detail	30
<b>Obr. 16</b> Rozmístění více potápěčů	31
<b>Obr. 17</b> Displej	32
<b>Obr. 18</b> Potápěč se záchrannými lany	33
<b>Obr. 19</b> Boční pohled	35
<b>Obr. 20</b> Čelní pohled	36
<b>Obr. 21</b> Pohled zezadu	37
<b>Obr. 22</b> Perspektivní pohled	38
<b>Obr. 23</b> Rozměry	39
<b>Obr. 24</b> Tok vody	40
<b>Obr. 25</b> Technické schéma	42
<b>Obr. 26</b> Připojení přídatného zařízení	43
<b>Obr. 27</b> Barevné varianty	44
<b>Obr. 28</b> První grafická varianta	45
<b>Obr. 29</b> Druhá grafická varianta	45
<b>Tab. 1</b> Zdroje energie - specifikace	19

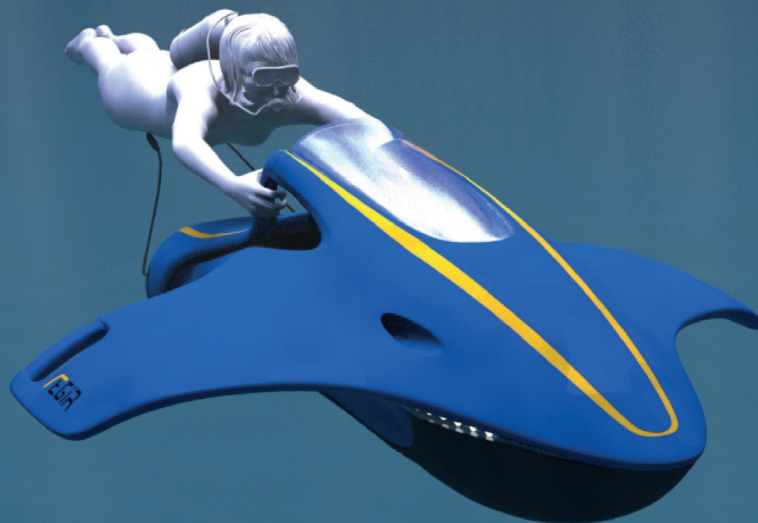


## SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšené postery  
Ergonomický poster A1  
Designérský poster A1  
Technický poster A1  
Sumarizační poster A1  
Model v měřítku 1:3  
Dokumentační CD 2x



## ERGONOMICKÝ POSTER



## DESIGN PODVODNÍHO SKÚTRU

### DESIGN OF UNDERWATER SCOOTER

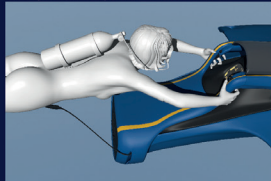
Úchop potápěče



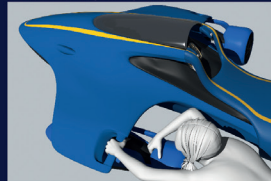
Potápěčský počítač



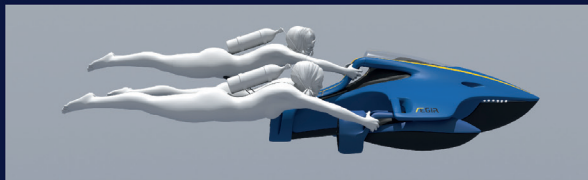
Potápěč s bezpečnostním lanem



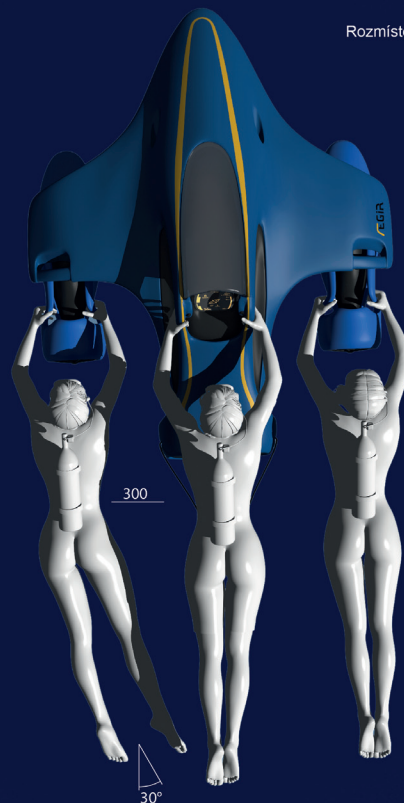
Pozice vedlejšího potápěče



Vertikální rozmístění potápěčů



Rozmístění skupiny potápěčů



Podvodní skútr je zařízení, které je po ergonomické stránce řešeno velice jednoduše. Jeho nejdůležitější částí, se kterou přichází člověk do kontaktu, jsou rukojeti s ovládacími prvky. V případě diplomové práce se ergonomické řešení rozšířilo o možnost připojení přídatného zařízení, kterým mohou být i menší skútry. Pro situaci, kdy stroj využívá více lidí, musela být zvolena vhodná vzdálenost dalších potápěčů od trupu skútru. Oproti běžným typům má stroj napevno připojen čelní kryt a je do něho zabudován potápěčský počítač.

## TECHNICKÝ POSTER



## DESIGN PODVODNÍHO SKÚTRU

### DESIGN OF UNDERWATER SCOOTER



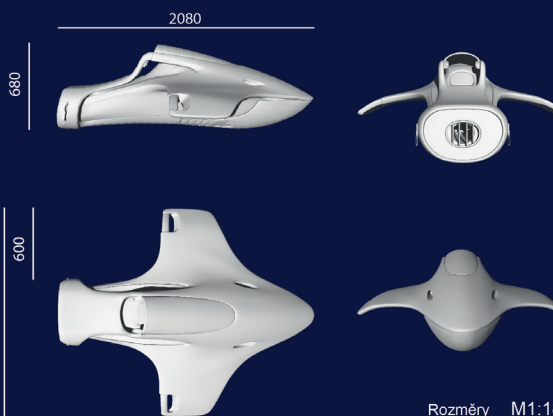
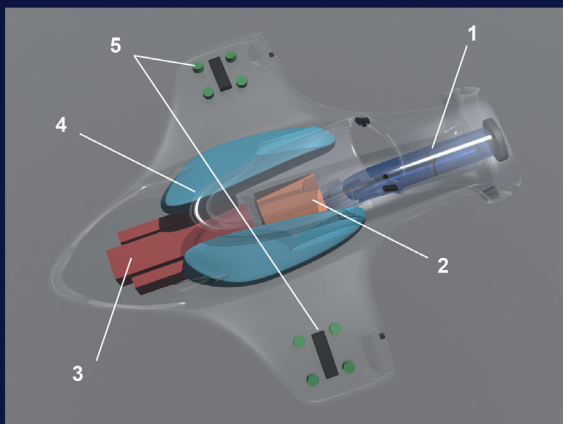
Proud vody



Přichycení náhradní zásoby vzduchu pomocí přídavné konstrukce

## Technické schéma

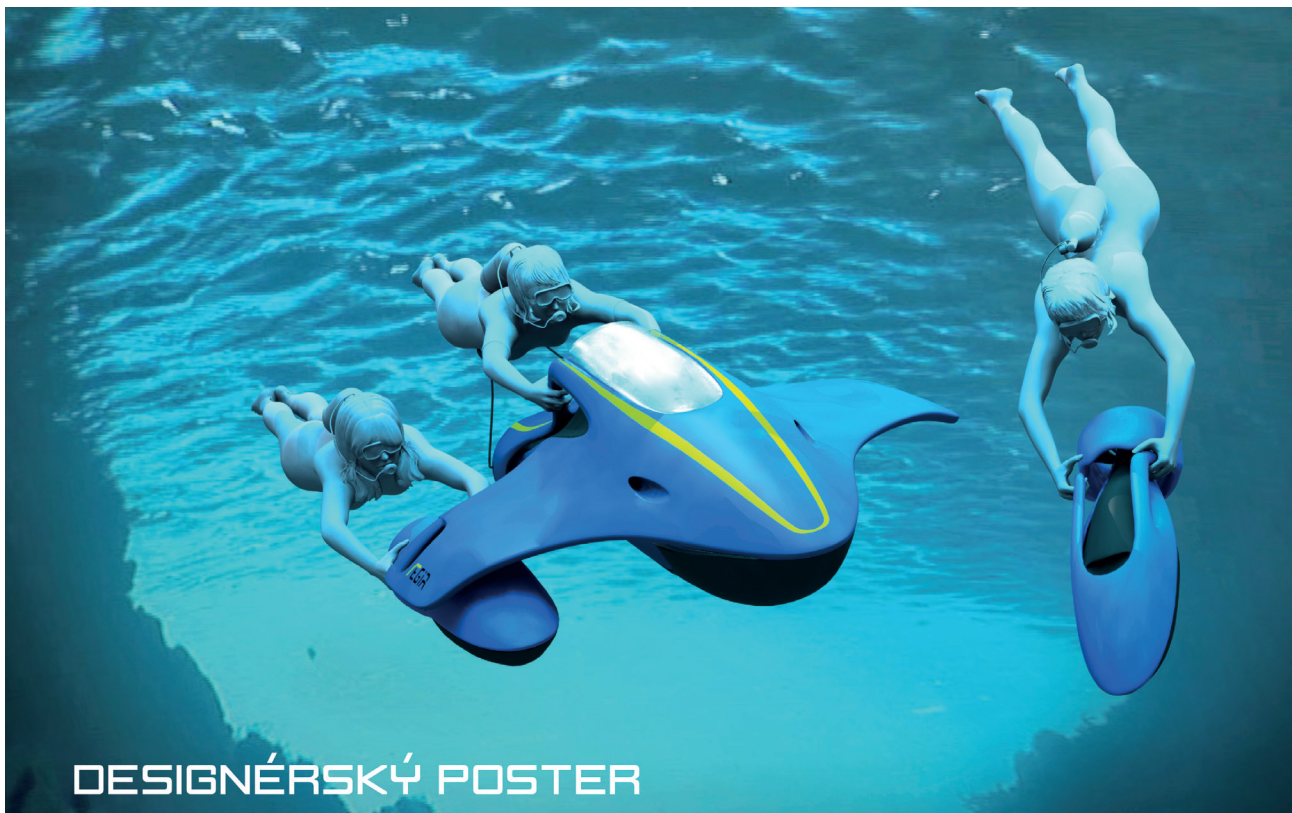
- 1 - vodní tryska
- 2 - stejnosměrný elektromotor
- 3 - lithium-polymerové akumulátory
- 4 - balastní nádrže
- 5 - úchytný systém - elektromagnety



Rozměry M1:18

Aby se mohl podvodní skútr pohybovat pod vodou, musí splňovat několik důležitých podmínek. První je volba vhodného pohonného systému. Běžně se používá lodní šroub, ale u tak velkého stroje, jako je výsledný návrh diplomové práce, se spíše hodí vodní tryska. Tu uvádí do provozu stejnosměrný elektromotor. Jako zdroj energie slouží lithium-polymerové akumulátory LiFePo4. Tento pohonný systém byl vybrán díky dobrým vlastnostem při provozu ve větších hloubkách.

Při konstrukci je nutné počítat i se vztlakem stroje. V případě diplomové práce nemá skútr neutrální vztlak, ale pozitivní. Rozdíl je vyrovnáván pomocí balastních nádrží.

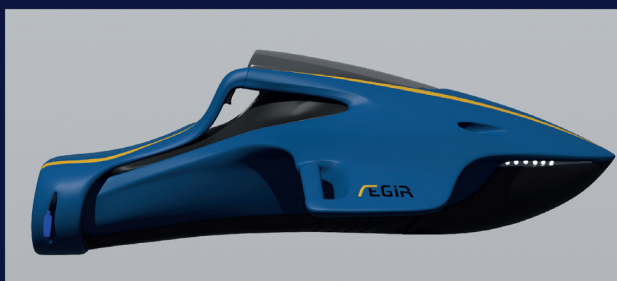


## DESIGNÉRSKÝ POSTER

### DESIGN PODVODNÍHO SKÚTRU DESIGN OF UNDERWATER SCOOTER

**UK** ústav  
konstruování

Boční pohled



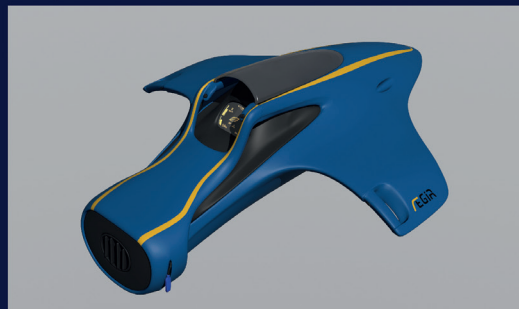
Čelní pohled



Kompozice s připojenými skútry



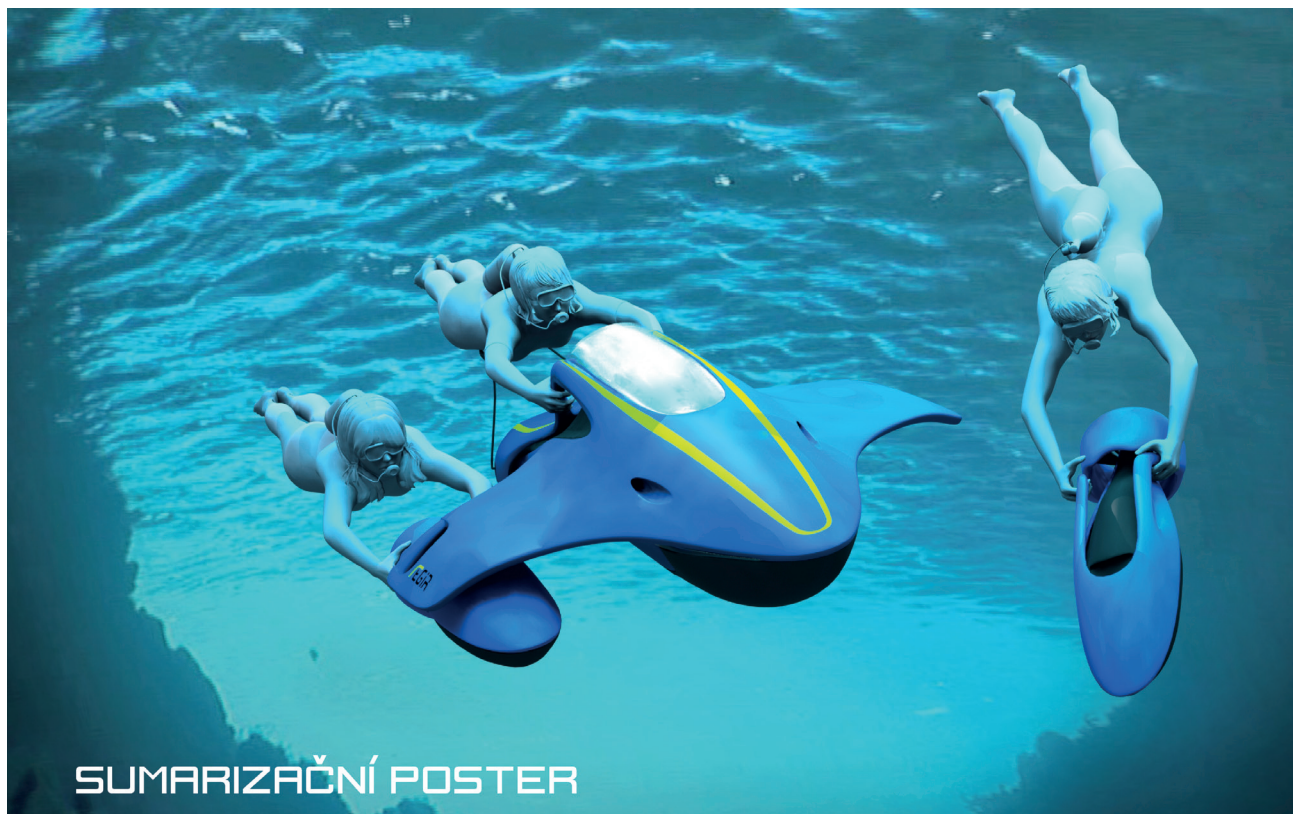
Zadní pohled



Základní tvar podvodního skútru vychází z jeho funkce. Středová část je největší, jelikož je v ní uložena většina technického zařízení. Po stranách trup přechází do bočnic, kde je ukryt systém pro připevnění dodatečného vybavení.

Stroj je stylizován do podoby mořského živočicha, což je výrazně převážně v přední části. Tento dojem ještě umocňují vstupy balastních nádrží, bočnice a vstupní otvory vodní trysky, které jsou tvarované jako žábry.

Barevnost je zvolena tak, aby co nejméně ovlivňovala okolní prostředí. Použity jsou barvy tmavší a matné, jelikož tolik neodrážejí světlo.

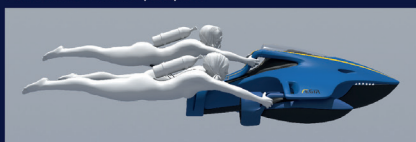


## SUMARIZAČNÍ POSTER

### DESIGN PODVODNÍHO SKÚTRU DESIGN OF UNDERWATER SCOOTER

**ústav**  
konstruování

Vertikální rozmístění potápěčů



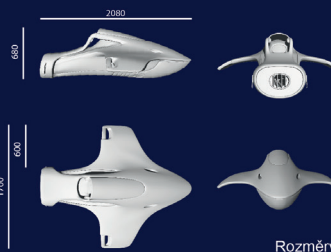
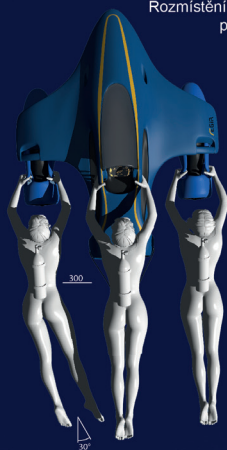
Přichycení náhradní zásoby vzduchu pomocí přidavné konstrukce



Úchop potápěče



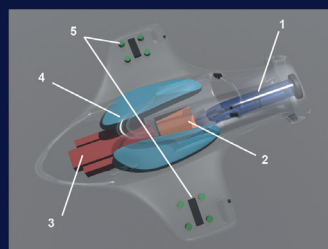
Rozmístění skupiny potápěčů



Rozměry

Technické schéma

- 1 - vodní tryska
- 2 - stejnosměrný elektromotor
- 3 - lithium-polymerové akumulátory
- 4 - balastní nádrže
- 5 - úchytný systém - elektromagnety



Přestože finální návrh diplomové práce využívá, u skútru, ne zcela běžné technologie, jako je vodní tryska či zabudovaný potápěčský počítač, spadá po technické stránce mezi normální stroje a při použití v jednom potápěči stejně také funguje. Výhoda konceptu tkví v možnosti připojení dodatečného vybavení, kterým mohou být náhradní láhve se zásobou vzduchu, uložné prostory pro další zařízení a dokonce i menší podvodní skútry.

Návrh by měl ulehčit pohyb skupině potápěčů bez nutnosti pořízení spojovací konstrukce a měl by zajistit dostatek prostoru pro případné uchycení věcí potřebných pro další práci, nebo těch co byly pod vodou objeveny.

Diplomant: Bc. Michal Křivan | vedoucí práce: Doc.Akad. Soch. Ladislav Křenek, Art.D. | Odbor Průmyslový design, Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně | Datum obhajoby: červen 2012