



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO**  
**INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

# **DÁLKOVĚ ŘÍZENÝ PODVODNÍ ROBOT**

REMOTE CONTROL SUBMARINE ROBOT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ONDŘEJ STŘEDA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. SIMEON SIMEONOV, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Ondřej Středa

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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 bakalářské práce:

### **Dálkově řízený podvodní robot**

v anglickém jazyce:

### **Remote Control Submarine Robot**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- Zpracujte rešerši o dálkově řízených podvodních robotech
- Zpracujte ideový návrh různých variant dálkově řízeného podvodního robota
- Vyhotovte funkční model jednoduchého dálkově řízeného podvodního robota

Cíle bakalářské práce:

- Vyzkoušet funkční model

Seznam odborné literatury:

<http://www.muweb.cz/www/oakld1/sub/clanky/pssubs.htm>

<http://www.usbsubs.com/submarines/luxury.php3>

<http://www.caribsubb.com/>

<http://www.psubss.org/aboutpsubs/>

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 8.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato práce se snaží zmapovat a stručně roztřídit rozsáhlý vývoj a využití podvodních robotů. Práce klade důraz především na roztřídění nových směrů vývoje, které se objevily relativně nedávno a dynamicky se rozvíjejí. Dále se zabývá porovnáním jednotlivých koncepcí. V závěru práce je shrnutí směřování budoucího vývoje a doporučení koncepce pro stavbu podvodního robota.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Robotika, ponorky, podvodní robot, koncepce robota, pohon podvodního robota, autonomní podvodní robot, dálkově řízený podvodní robot,

## **ABSTRACT**

This Bachelor thesis is trying to chart and briefly categorize extensive development and use of underwater robots. Bachelor thesis gives particular emphasis to classifying new trends which had emerged relatively recently and are developing dynamically. It also deals with comparison of concepts. The conclusion is a summary of the direction of future development and desing recommendations for building an underwater robot.

## **KEYWORDS**

Robotics, submarines, submersible robot, conception of robot, powered underwater robot, autonomous underwater robot, remote-controlled underwater robots

### **Bibliografická citace**

STŘEDA, O. *Dálkově řízený podvodní robot*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 31 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc..

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Dálkově řízený podvodní robot jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. ing. Simeonu Simeonovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>1 Podvodní robot</b>	<b>7</b>
1.1 Dálkově řízený podvodní robot.....	7
1.1.1 Kabelové řízení .....	8
1.1.2 Bezdrátové řízení .....	8
1.2 Autonomní řízení.....	9
1.2.1 Orientace a pohyb v prostoru AUV .....	10
<b>2 pohyb pod vodní hladinou</b>	<b>11</b>
2.1 Vodní odpory.....	11
2.2 Výtlak podvodního robota .....	12
2.3 Stabilita .....	13
<b>3 Ponoření a regulace hloubky ponoru</b>	<b>15</b>
3.1.1 Ponoření pomocí motoru .....	15
3.1.2 Kolmé ponoření.....	16
3.1.3 Ponoření změnou těžiště.....	17
<b>4 konstrukce</b>	<b>18</b>
4.1 Kompaktní koncepce.....	18
4.2 Rámová koncepce .....	19
<b>5 Druhy pohonu podvodních robotů</b>	<b>19</b>
5.1 Lodní šroub.....	19
5.1.1 Kavitace .....	20
5.2 Pohon inspirovaný vodními tvory .....	21
5.2.1 Jednoploutvé.....	21
5.2.2 Dvouplořtvé .....	23
5.2.3 Čtyřplořtvé.....	24
5.2.4 Lezoucí Roboti.....	25
<b>6 Zdroj Energie podvodního robota</b>	<b>25</b>
6.1 Napájení pomocí kabelu .....	25
6.2 Akumulátor.....	26



6.2.1	Dobíjení sluneční energií.....	26
6.2.2	Dobíjení s využitím termální energie.....	26
6.3	Využití spalovacího motoru.....	28
	<b>Závěr</b>	<b>29</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>30</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	<b>32</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>33</b>

# ÚVOD

Výzkum a vývoj podvodních robotů se začal rozvíjet až po druhé světové válce. Na počátku jejich zrodu stála armádní potřeba průzkumného a likvidačního prvku při zneškodňování podvodních min a průzkumu nebezpečných prostorů. Postupem času o podvodní roboty začal čím dál více sílit zájem soukromého sektoru a zanedlouho přebral vůdčí postoj ve výzkumu a vývoji těchto robotů. Díky tomu se stala robotika všeobecně velmi populární a dnes, je v různých formách dostupná všem, kdo o ni mají zájem. V dnešní době, se roboty zabývají výzkumné týmy každé významnější technické univerzity na světě.

Tato práce si bere za cíl především seznámit s rozdělením, základním principem řízení a rozdílnými ideovými koncepcemi podvodních robotů. V závěru se práce zabývá také shrnutím a doporučením pro stavbu podvodního robota.

## 1 PODVODNÍ ROBOT

Podvodní robot se odlišuje od ponorky tím, že není určen pro pohyb člověka pod hladinou. Tím se stává mnohonásobně menším než klasická ponorka a je schopen provést stejnou práci za daleko bezpečnějších a méně nákladných podmínek.

Podvodní roboti byli primárně vyvíjeni pro servisní činnost na vrtných plošinách, podmořských kabelech a potrubí. Jejich rozsáhlejší vývoj a využití nastartovala dostupnost a cenová přijatelnost elektroniky a nové možnosti řízení v 80 letech. Tyto stroje byly řízeny zpravidla dálkově člověkem. V dnešní době se však stále více rozmáhá a upřednostňuje autonomní řízení robotů jak na souši, tak pod vodní hladinou.

### 1.1 Dálkově řízený podvodní robot

Tento robot je, jak z názvu vyplívá, řízen člověkem (operátorem), který je s robotem v kontaktu buď kabelem, v tom případě mluvíme o kabelovém řízení, nebo je řízen bezdrátově. Řízení bezdrátové se v podvodní technice nachází stále v oblasti vývoje a praktické uplatnění není téměř žádné.

Velice důležitý faktor u dálkového řízení je schopnost ovládat robota v „reálném čase“, jinak operátor ztrácí schopnost dostatečně rychle reagovat na vzniklé situace, což může vést k poškození robota. Jedním z předpokladů pro toto řízení je orientace operátora v prostoru kolem robota. Nejčastěji se k tomuto úkolu používá kamerových systémů. Proto musí být řízení takové, aby zajistilo dostatečně stabilní a malou odezvu signálu. [1]

### 1.1.1 Kabelové řízení

Nejrozšířenějším řízením u podvodních robotů je stále kabelové. Má spoustu výhod oproti řízení bezdrátovému či autonomnímu. Je levné a spolehlivé, umožňuje velký tok informací, a pokud nedojde k přerušení kabelu, tak má operátor stále fyzický kontakt s robotem, což je neocenitelné při poruše robota. Nenastane tak situace kdy je robota nutno za poměrně vysoké náklady vylovit, nebo o něj dokonce přijít. Dále také není potřeba řešit zdroj energie, protože je dodávána přímo kabelem. Nevýhodou je, že toto řízení značně omezuje dosah, dostupnost a manévrovatelnost ve stísněných prostorách. Pro uplatnění tohoto řízení se tedy více než nabízí servisní činnost, kdy je téměř vždy definován prostor i podmínky kde se bude robot pohybovat. [1],[2]



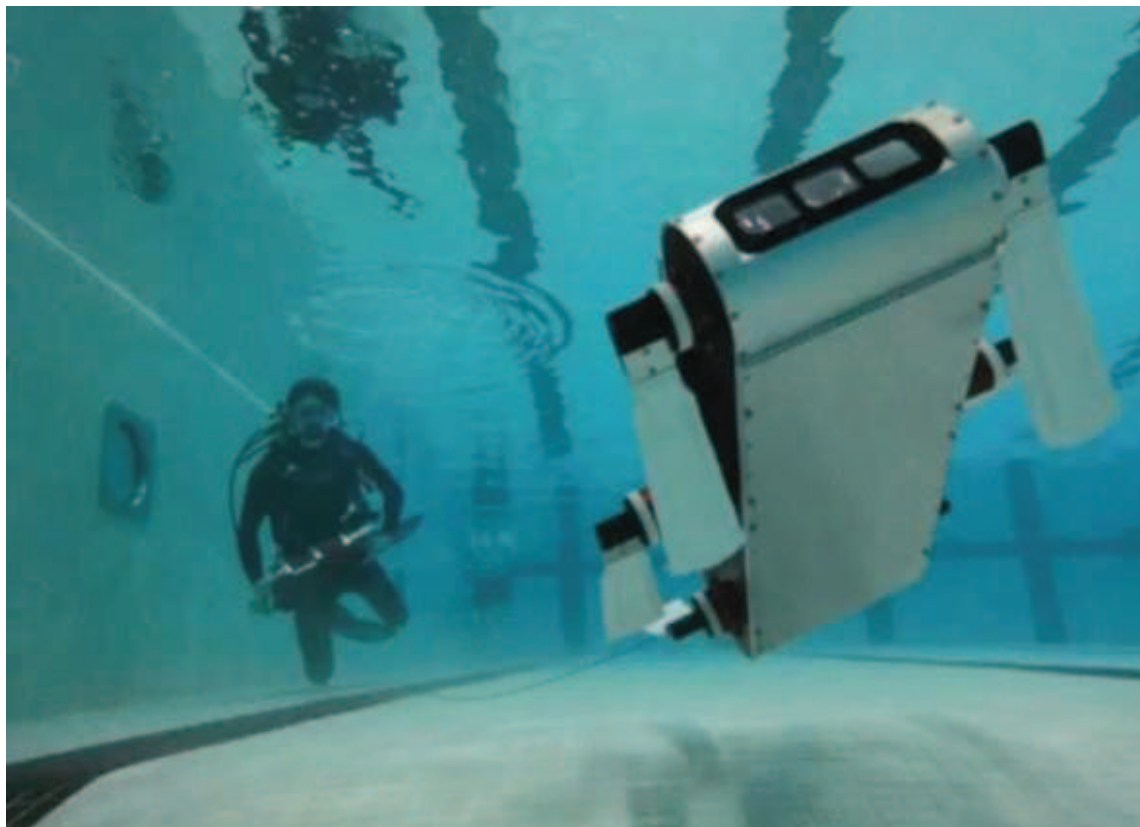
Obr.1. 1 Kabelově řízený robot[19]

### 1.1.2 Bezdrátové řízení

Bezdrátové řízení pod vodou je velkým problémem především kvůli prostředí, ve kterém se robot pohybuje. Řízení pomocí radiových vln, které je jinak nejčastější, se díky malé šířce pásma radiového kanálu a útlumu radiových vln způsobených vodou, kdy dochází ke snížení přenosové rychlosti dat na takovou míru, že je tento způsob pro řízení nevhodný. Navíc by, při zvětšování vzdálenosti mezi operátorem a robotem geometrickou řadou narůstalo zpoždění přenosu, a tím pádem by nebylo možno robota řídit v „reálném čase“.

Jako nejvhodnějším nositelem signálu ve vodě se zdá být zvuk. Rychlost zvuku ve vodě je přibližně  $1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . To je při dodržení vzdálenosti mezi operátorem a robotem v řádu desítek metrů dostatečná rychlost pro udržení odezvy v potřebných mezích. Rychlost šíření však závisí na teplotě a tlaku vody, který se pod vodou dost výrazně mění s hloubkou ponoru. Dalším velkým záporem zůstává, že se zvuk nehodí pro přenos velkého množství dat. [2],[3]

Dobrým příkladem pro využití signálů ve vodě však může být robot AQUA, který se řídí pomocí znaků na světelné tabuli. Po odečtení znaku aktivuje podprogram, který provede příslušný manévr. Jedná se tak o polo-automatizované řízení. Takovéto řízení však nelze využít k plnohodnotnému řízení v praxi.[4]



Obr.1. 2 Robot AQUA [4]

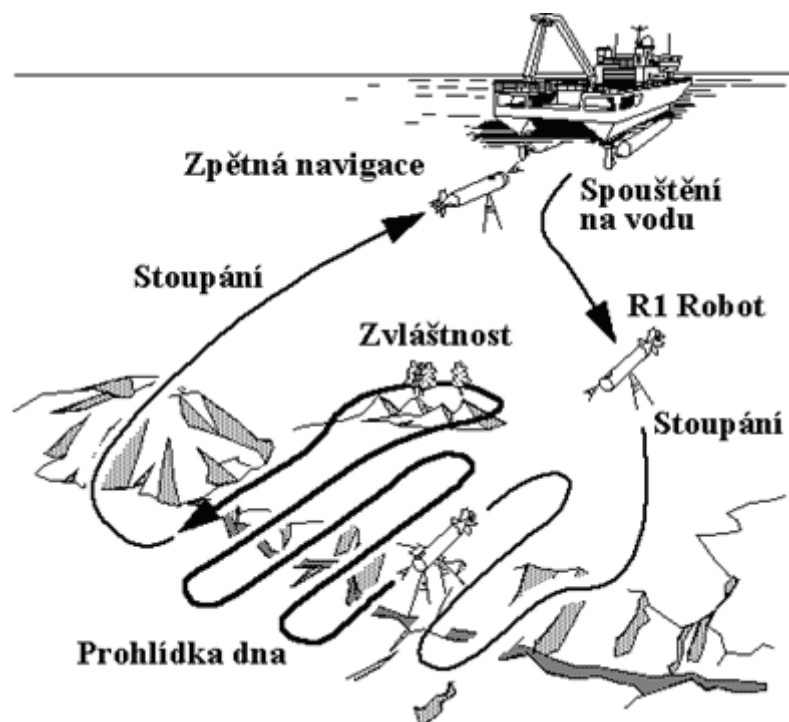
## 1.2 Autonomní řízení

Největší a asi i nejpodstatnější výhodou autonomního řízení je odproštění se od přímého způsobu řízení. Klady autonomního řízení tkví v odstranění spojení s operátorem, který již robota neřídí, robot se zcela řídí podle předem napsaného programu. Může se pod vodou pohybovat zcela neomezeně bez závislosti na mateřské základně, jediným omezením se tak pro něj stává zdroj energie, podle kterého se řídí doba ponoření, popřípadě návrh tlakového tělesa, který omezuje hloubku ponoru. Tím se otevírá bezpočet nových využití pro podvodní roboty. Hojně se využívá k průzkumu mořského dna, kdy mise často vyžadují, aby robot setrval pod vodní hladinou měsíce. Při představě, že by po tuto dobu byl spojen s mateřskou lodí, je jasné, že ušetřené náklady jsou značné. Také se výborně osvědčily pro průzkum zatopených jeskyní, vraků lodí, výzkum podmořských sopek a korálových útesů. Hodí se všude tam, kde je potřeba pohyblivost a samostatnost robota.[3]

## 1.2.1 Orientace a pohyb v prostoru AUV

Způsob navigace a zpracování dat AUV se může dost podstatně lišit model od modelu, ale metoda získávání je v podstatě stejná. Nejdůležitějším prvkem pro orientaci v prostoru je hloubkoměr, protože pro řídicí systém je nezbytné přesně vědět, v jaké hloubce se robot nachází, a gyrokompas, který zabezpečí pevný souřadný systém, podle kterého se může robot v prostoru orientovat. Pro mapování okolí se nejčastěji používá sonar. Je totiž schopen spolehlivě mapovat prostor, především mořské dno ve všech směrech. Pracuje na jednoduchém principu a je spolehlivý. Robot je dále nutné vybavit senzory, které doplní nezbytné údaje a jsou potřebné ke splnění zadané mise.

Na Obr. 1. 2. vidíme náčrt chování robota R1. Robot byl vyvinut v Japonsku jako zcela autonomní robot pro průzkum podmořského dna. Je navržen pro mise delší jak jeden den a jako zdroj energie pro dobíjení baterii využívá spalovací motor (viz. níže).



Obr.1. 3 Chování robota R1 pod vodou[1]

Robot mapuje sonarem podmořské dno a vytváří mapu, kterou si ukládá. Pokud lokalizuje nějakou anomálii, zanese ji do mapy, připluje k ní a provede vědecká měření. Při konci mise připluje na dané souřadnice a čeká na vyzvednutí. [15]

## 2 POHYB POD VODNÍ HLADINOU

Pohyb robota ve vodním prostředí je ovlivněn mnoha faktory. Nejdůležitější principy a omezení pohybu pod vodou jsou popsány v kapitolách níže.

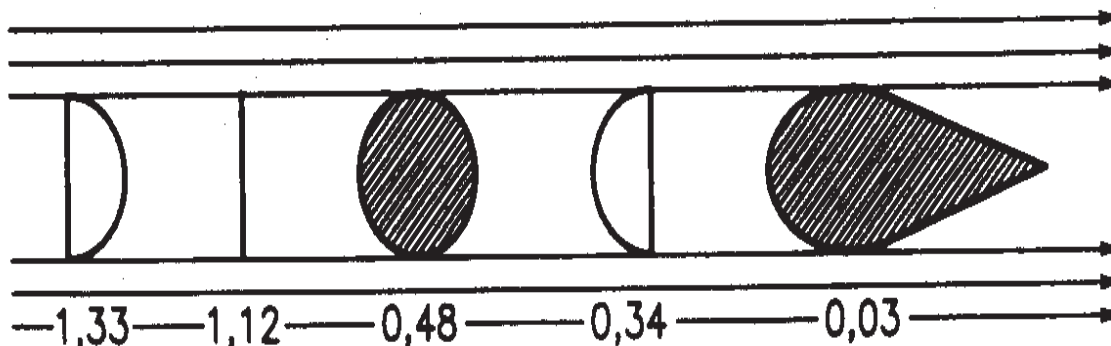
### 2.1 Vodní odpory

Každému tělesu, které se pohybuje, je kladen odpor prostředím. Při relativním pohybu tělesa a kapaliny dochází k obtékání tělesa. Při obtékání dochází k přesunu částic kapaliny po povrchu tělesa a tím vzniku tření.

Pro výpočet odporové síly vody při pohybu robota v rychlostech, které způsobují turbulentní proudění kapaliny, platí obecně vzorec:

$$F = \frac{1}{2} C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \quad (2.1)$$

Ze vzorce je patrné, že odporová síla se dá nejvíce ovlivnit tvarem robota. Robot, který bude mít vysoký součinitel odporu  $C$ , bude spotřebovávat mnohem více energie při pohybu než robot s nízkým součinitelem odporu  $C$ . Dále je důležitý průřez a samozřejmě relativní rychlost. Budeme-li s robotem plout proti proudu, bude mu voda klást větší odpor, než kdyby plul po proudu.[7]



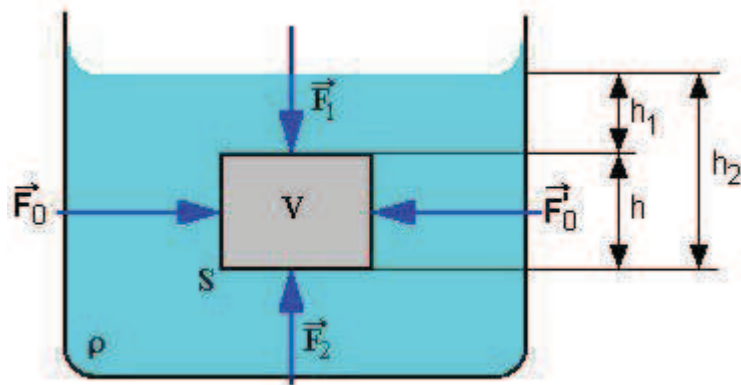
Obr.2. 1 Hodnoty součinitele odporu  $C$  pro různé tvary těles [7]

Tvar, při kterém vzniká nejmenší odpor, je tvar kapky, naopak největší odpor vzniká při tvaru vyduté polokoule.

## 2.2 Výtlak podvodního robota

Podle Archimédova zákona je těleso nadlehčováno silou, která odpovídá tíze vytlačené kapaliny. Z Archimédova zákona je tedy možno zjistit velikost vztlakové síly na těleso působící. Z formulace je také patrné, že čím větší má robot objem, tím větší vztlaková síla na něj bude působit.

Vztlaková síla je výslednice hydrostatických sil, které působí na povrch ponořeného tělesa v kapalině v klidu. Pokud známe obsah podstavy tělesa  $S$ , výšku tělesa  $h$ , hustotu kapaliny  $\rho$  a uvažujeme, že podstava je rovnoběžná s vodorovným povrchem kapaliny. Pak na všechny stěny tělesa zcela ponořeného do kapaliny bude kapalina působit hydrostatickými silami, jak vidíme na obr.2.2. [17]



Obr.2. 2 Hydrostatické síly působící na těleso ponořené v kapalině [17]

Tlakové síly  $\vec{F}_0$  a  $\vec{F}'_0$ , které působí na boční stěny, jsou stejně velké, ale opačného směru, proto se navzájem vyruší. Na horní plochu tělesa působí v hloubce  $h_1$  tlaková síla  $\vec{F}_1$  o velikosti:

$$\vec{F}_1 = \rho \cdot S \cdot h_1 \cdot g \quad (2.2)$$

Tlaková síla  $\vec{F}_2$  působící na spodní plochu tělesa v hloubce  $h_2$  má velikost

$$\vec{F}_2 = \rho \cdot S \cdot h_2 \cdot g \quad (2.3)$$

Rozdílem těchto dvou sil je vztlaková síla  $\vec{F}_{vz}$

$$\vec{F}_{vz} = \vec{F}_2 - \vec{F}_1 = \rho \cdot S \cdot h_2 \cdot g - \rho \cdot S \cdot h_1 \cdot g = \rho \cdot S \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \quad (2.4)$$

Když si uvědomíme že

$$h = h_2 - h_1 \quad (2.5)$$

Pak

$$\vec{F}_{vz} = \rho \cdot S \cdot h \cdot g \quad (2.6)$$

Je tedy jasné, že velikost vztlakové síly nezávisí na hloubce ani na hustotě tělesa, váha robota není tedy z hlediska výpočtu vztlakové síly podstatná.

Pokud porovnáme vztlakovou sílu se silou tíhovou, která na robota působí, zjistíme, zda bude robot klesat, stoupat, nebo plovat.

Aby robot klesal, musí platit

$$\vec{F}_{vz} < \vec{F}_t \quad (2.7)$$

Pro stoupání platí

$$\vec{F}_{vz} > \vec{F}_t \quad (2.8)$$

Pro plování platí

$$\vec{F}_{vz} = \vec{F}_t \quad (2.9)$$

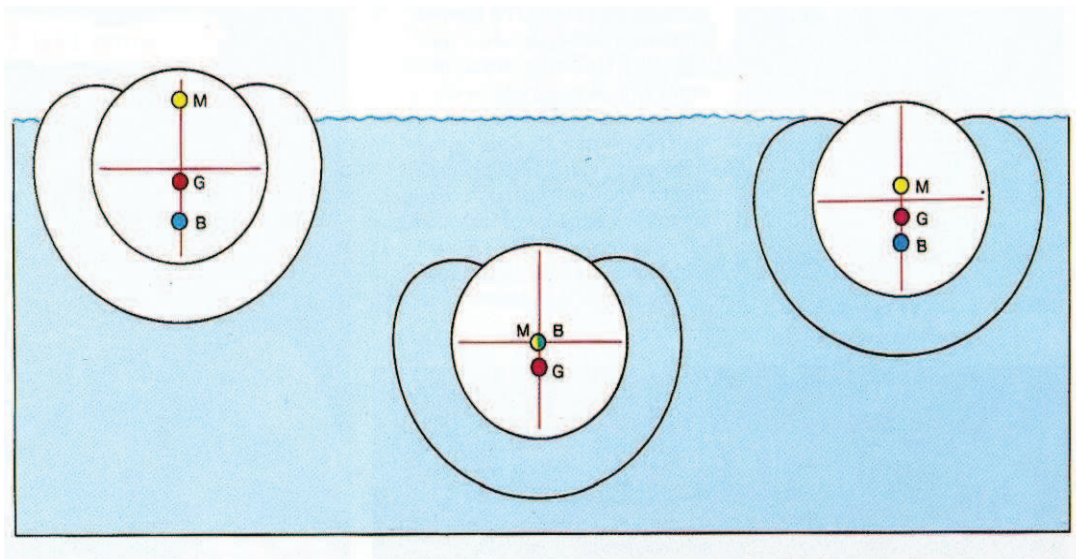
[17]

## 2.3 Stabilita

Abychom zabránili tomu, že se robot bude pod vodou, ale hlavně nad vodou převracet, je nutné umístit těžiště co nejnižší pod čarou ponoru. To je nutné obzvlášť u robotů s oválným, nebo kulatým trupem, kdy je převrácení velmi snadné. Po převrácení by totiž mohlo dojít k prohození pohybů, ztrátě přehledu o pozici vodní hladiny, dezorientace systému a následné ztráty robota.

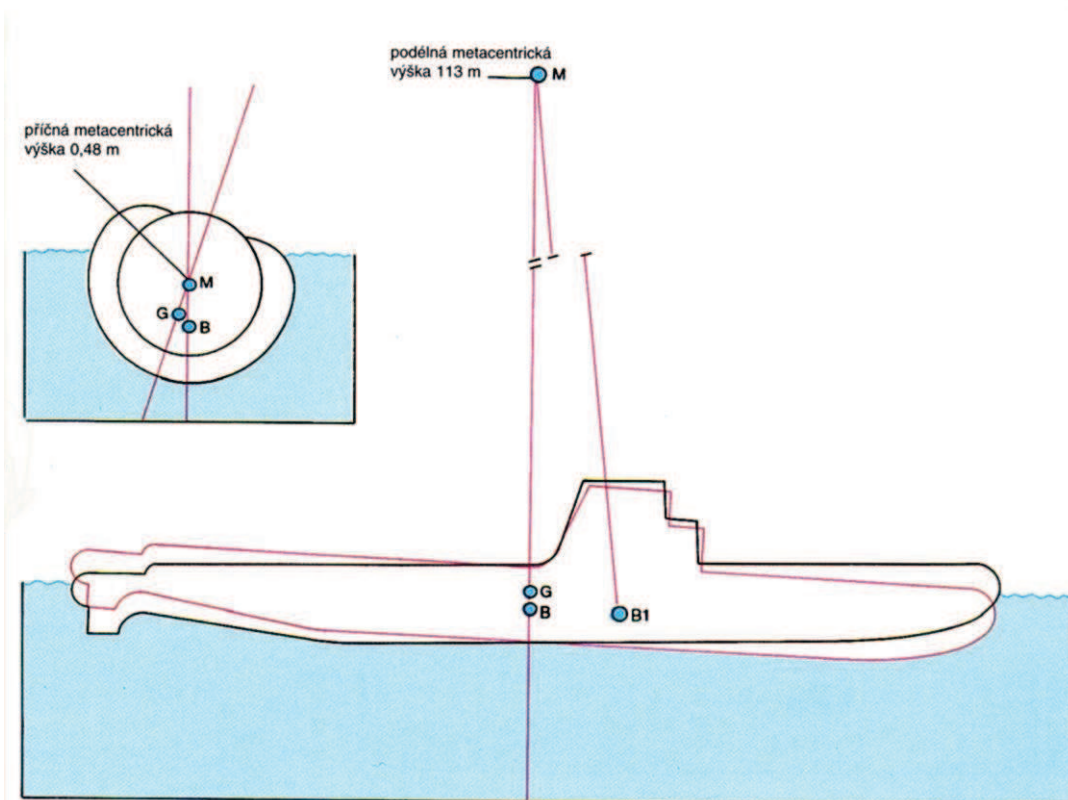
Ponorka se při plavbě po hladině chová podobně jako hladinové plavidlo. Těžiště B, G, a M leží v ideálním případě v jedné rovině, jejich vzdálenosti se však při ponoru mění. Příčinou posunu těžiště není změna hmotnosti, která je bez použití balastních nádrží stejná, ale změna objemu vytlačené vody. Bod těžiště vztlaku (B), ležící na vodní hladině pod geometrickým těžištěm tělesa (G), po ponoru se přesunul nad geometrické těžiště tělesa, jak je znázorněno na Obr. 2. 2. . [6]





Obr.2. 3 Posun těžiště na hladině a při ponoru [6]

Robot na hladině je stabilnější v podélné ose než v ose příčné. To však platí jen pro roboty, kteří mají délku několikanásobně delší než je příčný průřez. Na Obr.2.2. je zobrazena situace při stejném náklonu kolem podélné a příčné osy. Když je porovnáme, zjistíme, že při náklonu kolem osy podélné se bod působení vztlaku změní jen minimálně, zatímco při náklonu kolem osy příčné, se vytlačí mnohem více vody, bod působení vztlaku se posune mnohem víc. [6]



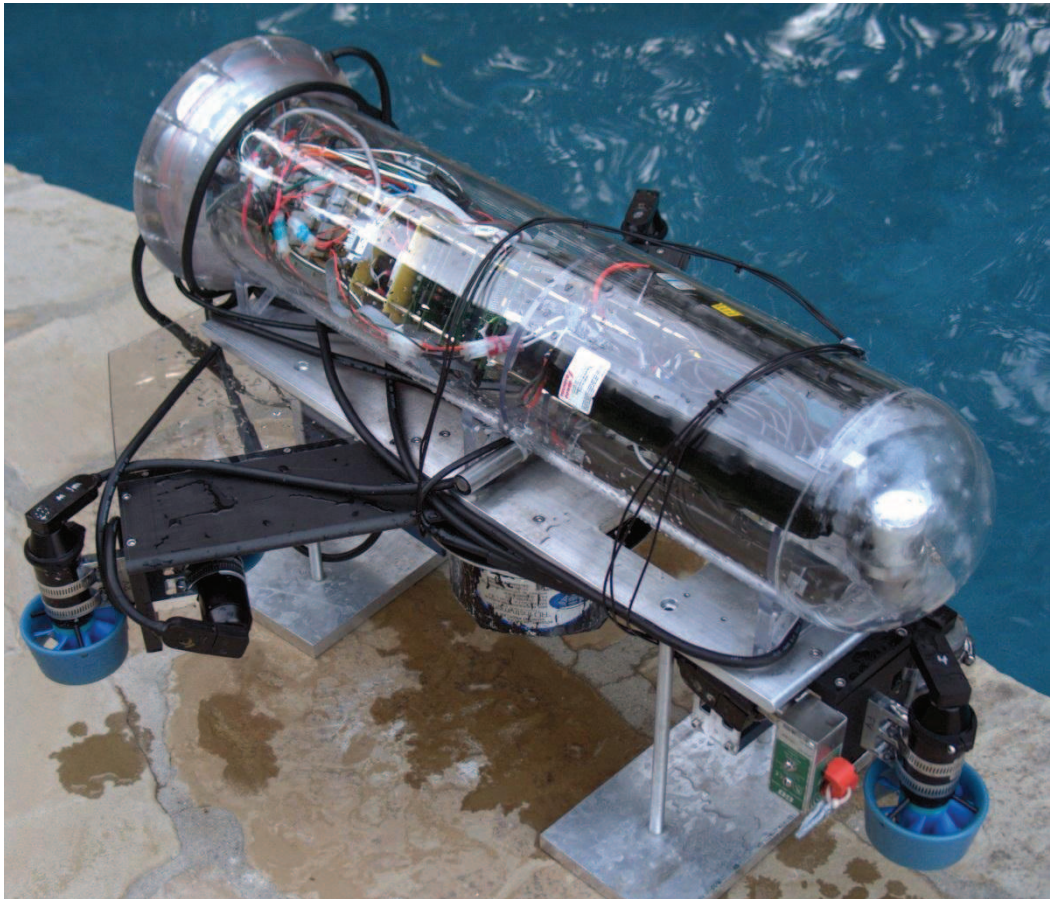
Obr.2. 4 Porovnání podélné a příčné stability [6]

### 3 PONOŘENÍ A REGULACE HLOUBKY PONORU

U podvodních plavidel se využívá ponoření buď pomocí hydrostatické síly změnou tíhové síly tělesa, nebo hydrodynamické, které využívá naklonění ponorky změnou těžiště a následného dopředného pohybu ve směru osy ponorky.

#### 3.1.1 Ponoření pomocí motoru

Nejčastěji používaným druhem pro ponoření robota se stalo ponoření pomocí motoru. Motor vyvíjí tah v ose ponoru a tím táhne robota stále hloub. Je to velice efektivní a spolehlivý systém, je jednoduchý a levný. Nevýhodou se potom stává, že motor musí stále běžet, aby robot udržel určitou hloubku. To spotřebovává značné množství energie, která je pod vodou tak potřebná. Samozřejmě platí, že čím větší robot a tudíž i vztlak na něj působící, tím větší výkon je potřeba na ponoření.



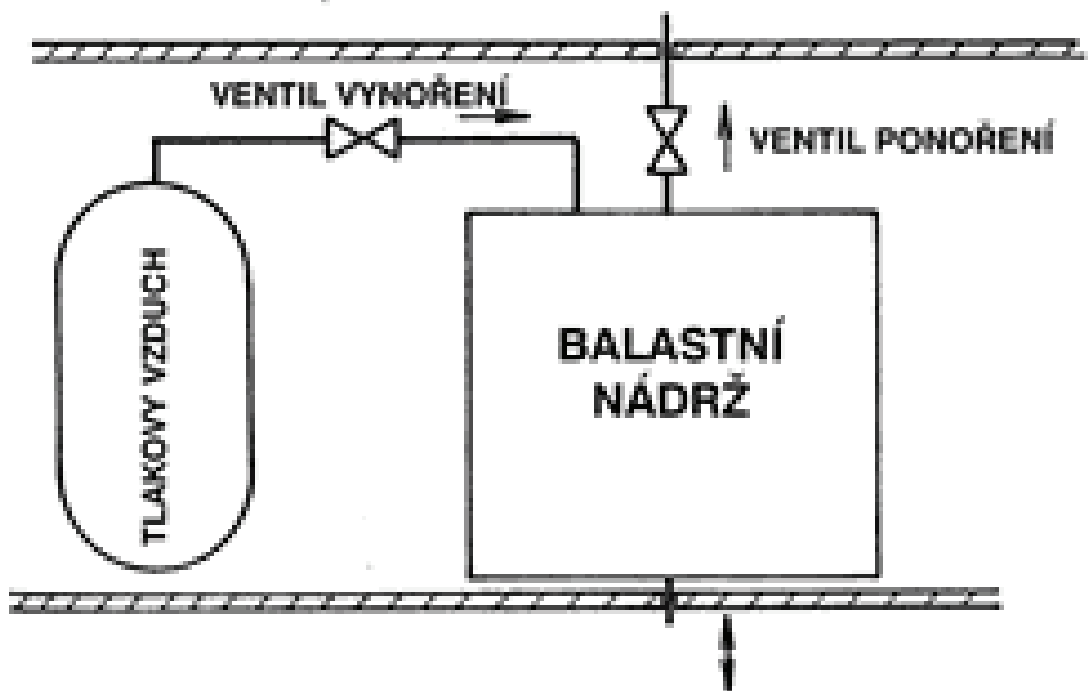
Obr.3. 1 Robot s pohony potřebnými pro ponoření [8]



Obr.3. 2 Robot „PRO 4ROV SYSTÉM“ pohled shora na pohon pro regulaci hloubky [22]

### 3.1.2 Kolmé ponoření

U velkých ponorek se k rychlému ponoření využívá kombinace balastních komor a posunutí těžiště. Balastní nádrž je vlastně prostor v ponorce, který se v případě potřeby ponoření zaplní vodou a při vynoření se voda vytlačí vzduchem. Ponorka tak může klesat i stoupat kolmo k vodní hladině. Aby nedošlo k nechtěnému naklonění ponorky, musí být balastní nádrž navržena tak, aby při naplňování či vypouštění neměnila těžiště ponorky.

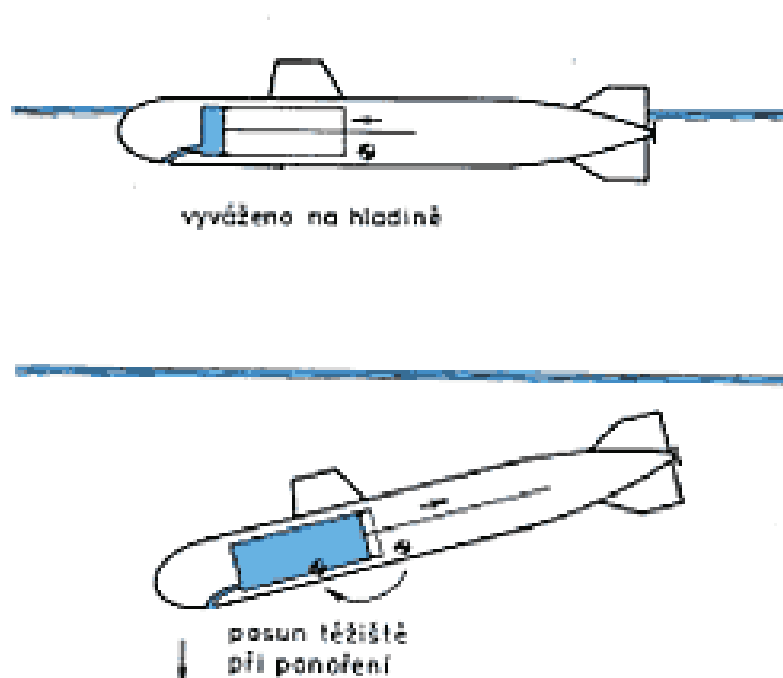


Obr.3. 3 Balastní nádrž [5]

Když známe hustotu vody, ve které se chceme ponořit, můžeme díky principu balastních nádrží přesně určit hloubku, ve které se robot přestane potápět a začne plovat. Je to hloubka, kdy vztlaková síla, která se při ponoru zvětšuje, dosáhne rovnováhy se součtem tíhové síly tělesa a silou vyvolanou vodním sloupcem nad tělesem. Potom se robot drží ve stálé hloubce a plove. Tento efekt je pro robota zvláště užitečný, jelikož se jednoduše ovládá ponor a při plování spotřebuje robot minimum energie na udržení dané pozice.[5]

### 3.1.3 Ponoření změnou těžiště

Při přesunu těžiště tělesa v ose ponoru ke kraji, který chceme směřovat pod hladinu, nám vzniká úhel mezi hladinou a podélnou osou tělesa. Tato změna se nejčastěji provede zvýšením hmotnosti na straně, kam chceme těžiště přesunout.



Obr.3. 4 Posun těžiště [5]

Pohybem vpřed, se poté těleso dostane pod určitým úhlem pod vodní hladinu. Ponorka se může takto teoreticky ponořit do jakékoliv hloubky, omezena pouze tlakem, který na ní působí a výkonem motorů. Tímto způsobem však nelze regulovat přímo hloubku, ve které bude těleso plovat lze se tak do ní pouze ponořit. Často se tento způsob u velkých ponorek doplňuje o hloubková kormidla, která pod vodou pomáhají udržovat a měnit úhel ponorky od hladiny při pohybu. [5]

## 4 KONSTRUKCE

Vývoj podvodních robotů se z hlediska konstrukce dá rozdělit na dva typy. Prvním z nich je celoplášťová konstrukce, nebo taky kompaktní koncepce. Druhá je konstrukce rámová.

### 4.1 Kompaktní koncepce

Tato koncepce těží z výhod a vývoje tradičních ponorek. Jedná se tedy o tlakové těleso určitého tvaru. Vnitřek tělesa je zcela vodotěsný a velikostně omezený. Díky proudnicovému tvaru tlakového tělesa jsou odpory při pohybu pod vodou znatelně menší. [1]

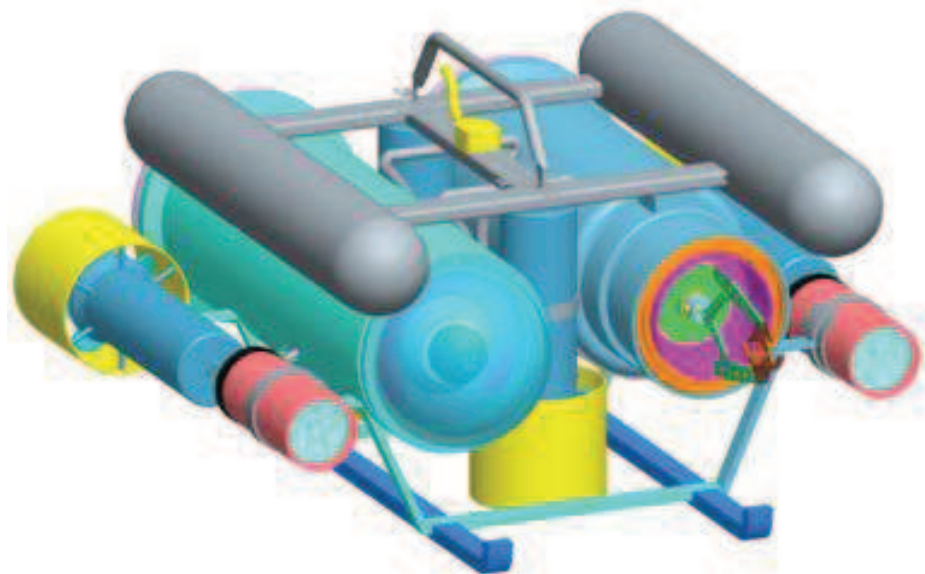


**Obr.4. 1 Celoplášťová koncepce robota [1]**

Nevýhodou je předem pevně daný tvar robota bez větší variabilnosti jeho výbavy z důvodů neměnného vnitřního prostoru. Výhodou je, že vnitřní vybavení nemusí být vodotěsné. Tato koncepce je vhodná pro dlouhodobější průzkum (zejména u AUV), kde je potřeba urazit velké vzdálenosti při co nejmenší spotřebě energie.

## 4.2 Rámová koncepce

Základem robota je pevný rám většinou svařenec, nebo je ze šroubovaných kovových profilů. Na rám se namontují jednotlivé části, moduly robota (baterie, pohony, kamery, řízení, manipulační rameno...), které vytvoří robota jako celek. Robot je velmi variabilní, dá se snadno a rychle obměnit jeho vybavení, či ho zcela úplně přestavět. [1]



Obr.4. 2 Rámová koncepce robota [1]

Robot nemá proudnicový tvar, a proto má poměrně velký odpor vody při pohybu, je tudíž pomalý a pohyb sestává energeticky náročný. Tento koncept se výborně hodí pro servisní a montážní roboty (zpravidla dálkově řízené), může se totiž u něj jednoduše měnit sestavení podle daného úkolu a zpravidla není kladen důraz na spotřebu energie a rychlost pohybu.

# 5 DRUHY POHONU PODVODNÍCH ROBOTŮ

## 5.1 Lodní šroub

Pohon pomocí lodního šroubu byl první a nejlogičtější pohon podvodního robota. Jedná se o poměrně starý a technologicky zvládnutý způsob pohybu. Přejímá princip používaný nejprve u lodí a později u ponorek.

Listy vrtule jsou hydrodynamicky uzpůsobeny, aby lodní šroub měl co největší účinnost. Vrtule se otáčí a je konstruována tak, že v jednom smyslu otáčení vytváří a usměrňuje proud kapaliny směrem od ponorky, tím vzniká síla, která žene ponorku vpřed. Při opačném chodu se ponorka pohybuje vzad ale s menší účinností. Rychlost a

zrychlení ponorky závisí na otáčkách a velikosti kroutícího momentu. [10]



**Obr.5 . 1 Modelářský motor s dvoulistým lodním šroubem[18]**

Ponorka poháněná jedním lodním šroubem má velký poloměr obratu a celková manévrovatelnost je poměrně špatná. Tento problém se dá částečně odstranit naklápěcím šroubem, nebo úplně odstranit přidělením pohonu každé ose pohybu. To je energeticky dost náročné, ale robot pak získává výbornou pohyblivost. Dokáže totiž okamžitě reagovat na změnu pohybu v každé ose.

### **5.1.1 Kavítace**

Kavitace je vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku, následovaný jejich implozí. Pokles tlaku může být důsledkem lokálního zvýšení rychlosti, hydrodynamická kavitace, případně průchodu intenzivní akustické vlny v periodách zředění, akustická kavitace. Kavitace je zpočátku vyplněna vakuem, později se vyplní párou okolní kapaliny nebo do ní mohou difundovat plyny z okolní kapaliny. Při vymizení podtlaku, který kavitaci vytvořil, její bublina kolabuje za vzniku rázové vlny s destruktivním účinkem na okolní materiál. Kavitace vzniká na lopatkách lodních šroubů, turbín, na čerpadlech a dalších zařízeních, která se velkou rychlostí pohybují v kapalině.[10]



**Obr.5 . 2 Turbulence a kavitace způsobené otáčením lodního šroubu [10]**

Je tedy jasné, že kavitace je jev, který je pro robota nepříznivý poškozuje lodní šroub a omezuje tak jeho životnost. Následky kavitace na Obr.5 .3 .



**Obr.5 . 3 Lodní šroub poškozený kavitací [10]**

## **5.2 Pohon inspirovaný vodními tvory**

Tento pohon je inspirován pohybem mořských živočichů. Základní myšlenkou je, že co příroda vytvořila po tisících let evoluce má své opodstatnění a je to to nejlepší.

### **5.2.1 Jednoploutvé**

Tento pohon byl vyvinut na základě pozorování pohybu ryb, tedy vertikálním kmitáním ocasní ploutve. Zatačení se realizuje natočením střední části robota do požadovaného směru. Účel tohoto pohonu je postavit autonomního robota, který bude identický jako opravdová ryba. Společně se speciálním programem se má tento robot stát součástí rybího hejna a zásadně tak přispět k výzkumu podmořského života.



Spousta výzkumných týmů se snaží takový typ robota postavit a naprogramovat. Nejvíce se v této oblasti angažují Japonci a Britové, kteří mimo výzkumu počítají i s využitím této technologie pro rybářský průmysl.

Krásným příkladem robota ryby je robot „Robo-fish“ vyvinut týmem z univerzity v Essexu. Je autonomní a díky detailnímu napodobení pohybů ryb a využití mořských proudů uzpůsobený k delším úkonům pod vodou. Minulý rok, vypustili Britové pět těchto robotů u Španělských břehů. Každý z nich, má za úkol mapovat znečištění moří v místech kde se ryby pohybují nejčastěji. [9]



**Obr.5 . 4 Robofish [16]**

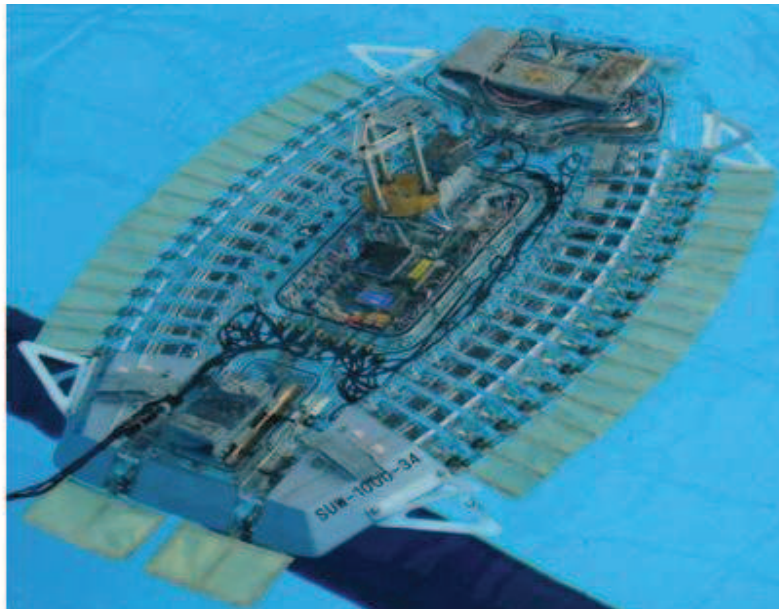
Japonskou obdobou je robot Tai-robot-kun's na obr.5. 5, jeho tvůrcem je profesor Ikuo Yamamoto. Robot může být vybaven kamerami a senzory. Je vyvinut, aby prováděl oceánografický průzkum, aniž by zasahoval do přirozeného prostředí podvodních tvorů.[25]



**Obr.5 . 5 Robot Tai-robot-kun's[25]**

### 5.2.2 Dvouploutvé

Tento pohyb je odvozen zejména od pohybu mořských savců např. tuleňů. Jeden pár ploutví kmitá zpravidla horizontálně a to buď na stejné frekvenci při pohybu vpřed, nebo s rozdílnou frekvencí při pohybu do stran. Tento pohon se snaží přiblížit co nejvíce pohybu mořských savců, protože tyto tvorové mají výbornou manévrovatelnost ve vodě, vynikající zrychlení a umožňuje jim rotaci kolem své osy.[9],[12]



**Obr.5 . 6 Robot „rejnok“[20]**

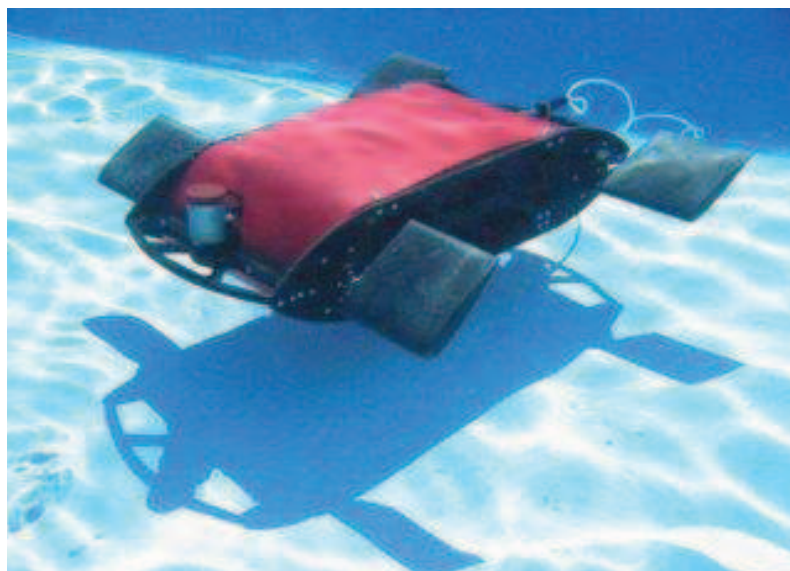
Dalším zajímavým pokusem je napodobení rejnoka tak, že je z každé strany robot opatřen jednou ploutví a podélným vlněním vytváří robot pohyb. Stoupání a klesání se řídí jedním párem malých ploutviček vzadu. Na obr.5. 6 je zobrazen pohon bočních ploutviček.



**Obr.5 . 7 Boční „ploutev“ robota [23]**

### 5.2.3 Čtyřploutvé

Pohyb robota je inspirován pohybem želv a prehistorických zvířat. Představitel tohoto typu robota je robot Madelain, který se snaží kopírovat pohyb plesiosaurů, zkonstruovaný ve Vassar College v Durhamu (USA). Jelikož se na první pohled nezdá, že by tento pohyb měl nějaké výhody oproti pohybu dvěma či jednou ploutví, přesto spousta podvodních tvorů tento pohyb preferuje. Proto se robot Madelain specializuje na výzkum tohoto pohybu a společně s týmem biologů se snaží zjistit jeho přednosti. [9],[11]



**Obr.5 . 8 Robot Madelain [11]**

Oproti předchozímu jednomu páru se zjistilo, že je pohyb energeticky náročnější, pomalejší, ale umožňuje rychlé a přesné obraty i v malých prostorách, rychlý start a zastavení.

### 5.2.4 Lezoucí Roboti

Z pozorování mořských koryšů především krabů a humrů se zrodila myšlenka lezoucího robota. Veliká výhoda oproti robotu plujícímu je, že i v poměrně velickém proudu robot udržuje stabilitu, dokáže se otočit na místě, nebo provádět různá stacionární pozorování a měření. Navíc je tento druh robota obojživelný, nedělá mu problém překonávat mokřady nebo se pohybovat ve velmi malých hloubkách.

Technologicky vysoce vyspělý je robot langusta „Lobster-robot“, který je určený pro mapování řek. Jako pohon každé končetiny využívá umělých svalů a je zcela autonomní. Robot je také opatřen malou ploutvičkou v zadní části, která mu umožňuje plavat na kratší vzdálenosti, nebo se vynořit aniž by musel dojít na břeh. [13]



Obr.5 . 9Robot „langusta“ [13]

## 6 ZDROJ ENERGIE PODVODNÍHO ROBOTA

Jako zdroj energie se pro podvodní roboty používá téměř výhradně elektrický proud. Je totiž potřeba napájet kromě pohonu i řízení a senzorku robota, takže zdroj elektrické energie se stává pro robota nezbytný. Rozdílem potom je, jak se elektrická energie pro robota získává.

### 6.1 Napájení pomocí kabelu

U kabelově řízeného podvodního robota je energie přiváděna napájecím kabelem spolu s kabelem řídicím. Robot má často jen poměrně malý akumulátor pro zajištění energie při výpadku, aby se byl schopen (např. havarijně) vynořit i při ztrátě primárního napájení. Výhody či nevýhody tohoto způsobu jsou popsány v předchozích kapitolách.

## 6.2 Akumulátor

Téměř každý podvodní robot potřebuje akumulátor. Buď ho používá jako jediný zdroj energie, nebo je schopen ho zcela samostatně dobíjet a tím se úplně, nebo alespoň částečně, odprostit od potřeby vylovení a znovunabití.

Nejčastěji se používá akumulátorů olovených, mají výhodu velké kapacity a životnosti, nebo se u menších modelů využívá modelářských baterií například NiCd a NiMH. Vzhledem ke svojí velikosti jsou schopné dodávat vysoké proudy pro motory a dají se zapojovat kombinací seriovoparalelním zapojením tak, aby splnili požadované parametry.

Pokud chceme, aby autonomní robot byl schopen pracovat co nejdéle, musíme zajistit dobíjení přímo v prostředí, ve kterém se robot nachází. Můžeme přitom využít zdroje přírodní jako je světlo a teplo v mořích, nebo si robot musí energii nést sám, například stlačený vzduch, palivo...atd.

### 6.2.1 Dobíjení sluneční energií

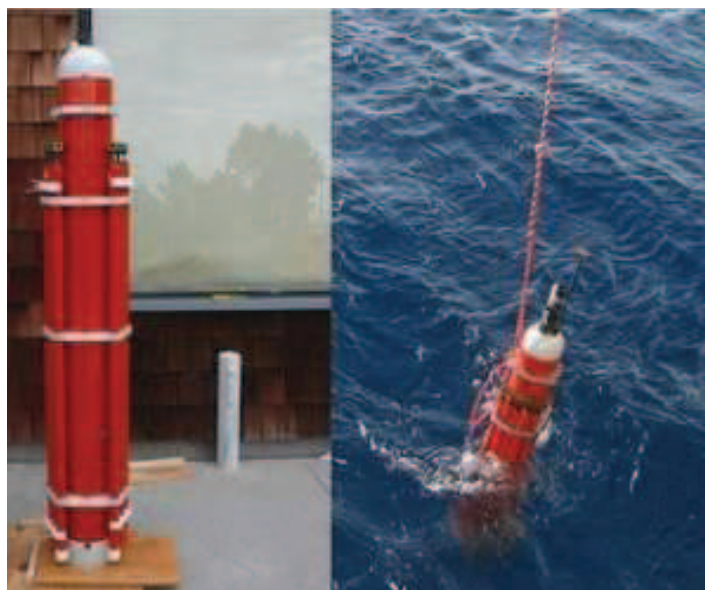
Aby se robot mohl dobít sluneční energií je potřeba, aby vystoupal k hladině a dobil svůj akumulátor s pomocí fotovoltaických článků. Tato metoda je spolehlivá a odzkoušená. Nevýhodou je potřeba udržet čistotu fotovoltaických článků, jinak klesá účinnost a tím i napájecí parametry. Tato technologie je závislá na slunečním světle.  
[14]



Obr.6 . 1 Robot se solárním panelem [14]

### 6.2.2 Dobíjení s využitím termální energie

Zajímavým projektem financovaným NASA je robot SOLO-TREC. V moři se nechává unášet mořským proudem a střídavě se potápí do větší či menší hloubky aby získal co možná největší teplotní rozdíl.



Obr.6 . 2 Robot SOLO-TREC [15]

Hlavní myšlenka čerpá z tepelné roztažnosti materiálu. Jak je vidět v koncepčním návrhu robota na obr.6 .3., jsou kolem tlakového tělesa upevněny tyče naplněné speciálním voskem. Při zvýšení teploty se vosk začne rozpínat a vytváří tlak v kapalině hydraulického systému, tlak se akumuluje ve vzdušníku. Tlak ze vzdušník poté roztáčí hydromotor, který pohání dobíjecí generátor. [15]

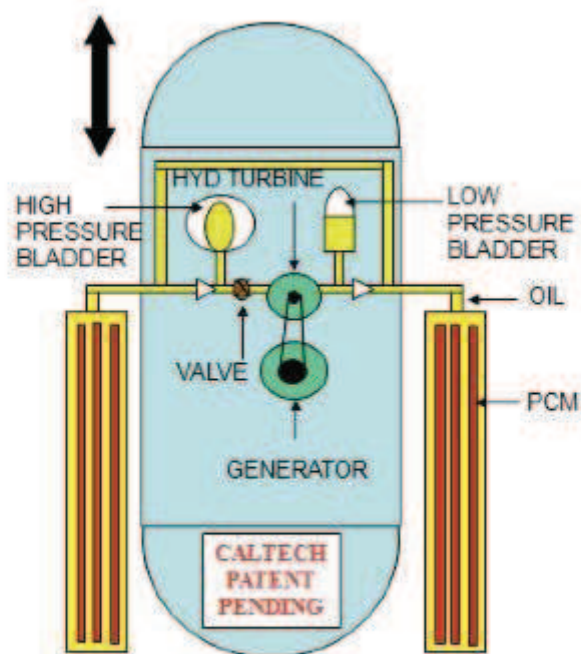


Figure 2.

Pressurized Liquid Oil from PCM Expansion Can Generate Electricity (Caltech Patent Pending)

Obr.6 . 3 Princip dobíjecího systému SOLO-TREC[21]

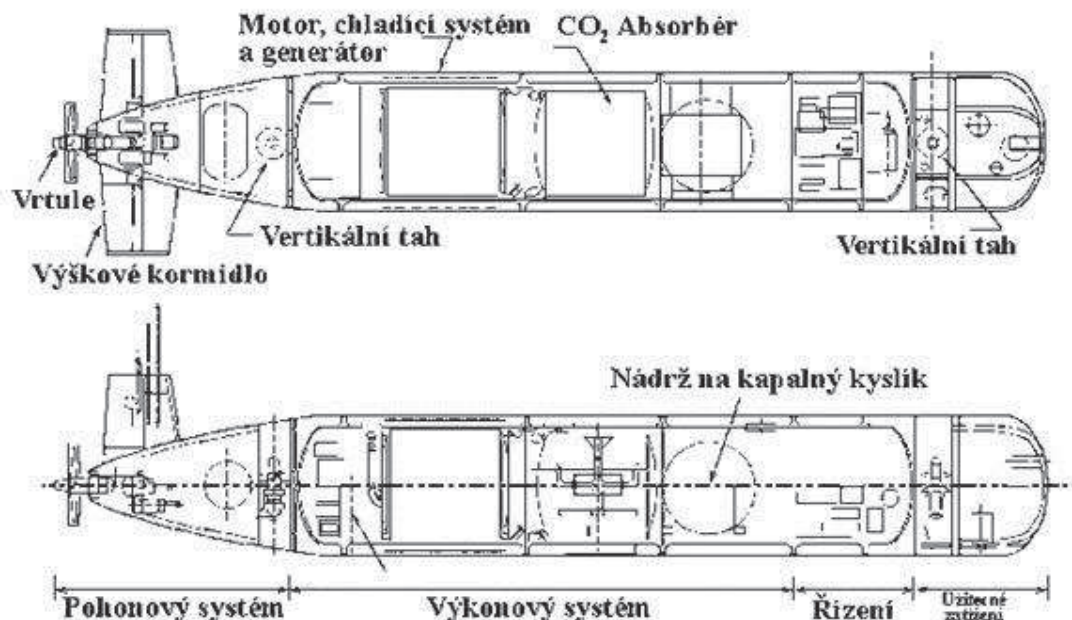
### 6.3 Využití spalovacího motoru

Používat spalovací pohon pod vodou se na první pohled může zdát nepraktické a složité, ale robot R1 navržený v Japonsku jako AUV pro mise trvající déle než 24 hodin dokazuje opak. Pohon navržený pro tohoto robota je unikátní systém spalovacího motoru a zařízení na rekuperaci spalované atmosféry.



Obr.6 . 4 Robot R1 [15]

Na obr. 6 . 5 vidíme celý pohonný systém tohoto robota . V zadní části se nachází spalovací motor, který pohání přímo lodní šroub, ale i generátor dobíjející baterie pro napájení elektronických systémů robota. Výfukové plyny se čistí přes filtr, kde se odloučí pevné částice a filtrem pevný částic. Dále se pak znovu obohacuje kyslíkem uloženým v nádrži v kapalném stavu. Tím se znovu vytvoří atmosféra vhodná ke spálení a celý proces se opakuje. [15]



Obr.6 . 5 Pohonný systém robota R1 [1]

## ZÁVĚR

Podvodní roboti se stále více dynamičtěji vyvíjejí pro potřeby průmyslu i armády. Do budoucna se s nimi počítá při průzkumu moří a oceánů, při těžebním a rybářském průmyslu. V některých oblastech průmyslu se stal podvodní robot nenahraditelným pomocníkem, zvláště pak jako kontrolní a inspekční prvek na těžebních plošinách, podmořských vedení, při hloubkovém vrtání do mořského dna.

Do vývoje a výzkumu podvodních robotů se investují stále větší peníze. Specializované firmy nabízejí komplexní řešení podvodních ROV nejčastěji v rámovém provedení. Ve výzkumu se počítá, že do deseti let se stane AUV nejčastějším druhem v podvodní robotice. Vesmírné agentury a vědecké týmy z celého světa se za pomoci podvodní robotiky snaží vyvinout vesmírného robota, jelikož pod vodou jsou podmínky podobné extrémním podmínkám na jiných planetách.

Pro stavbu podvodního robota by bylo vhodné nejprve zvolit ROV řízení. Je jednodušší a dají se s ním simulovat různé situace pro ověření, zjištění chyb a možností celého konceptu. Teprve po doladění koncepce robota pro prostředí, ve kterém bude působit, se může dálkové řízení nahradit autonomním.

Výrazně menší odpor prostředí a menší nároky na zdroj energie má celoplošná koncepce robota, tato koncepce však nese svá omezení popsané v kapitole 4.1. Rámová koncepce je variabilnější, má ale větší nároky na vodotěsnost součástí a tím výrazně roste cena. Nelze tedy jednoznačně doporučit koncepci robota. Je potřeba pečlivě zvážit v jakém prostředí se robot bude pohybovat a jaké úkoly bude plnit. Je tedy nutné nejprve stanovit kritéria a poté zvolit celkovou koncepci.

Při porovnání pohonu lodním šroubem s alternativními pohony popsány v kapitole 5.2 je výhodnější použít lodní šroub. Pro jednodušší řízení a manévrovatelnost je výhodné zvolit samostatný pohon pro každou osu pohybu. Každý jiný pohon se srovnatelnými parametry by byl výrazně složitější a dražší.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KÁRNÍK, Ladislav. *Http://robot2.vsb.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-04-10]. Modelování a analýza servisních robotů. Dostupné z WWW: <[http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni\\_roboty/interest111.htm](http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest111.htm)>.
- [2] DVOŘÁK, Ondřej. *VTM* [online]. 4.12.2009 [cit. 2011-04-11]. Roboti na dně. Dostupné z WWW: <<http://vtm.zive.cz/clanek/roboti-na-dne>>.
- [3] Autonomous underwater vehicle. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 31 August 2004 , last modified on 27 April 2011 [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous\\_underwater\\_vehicle](http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_underwater_vehicle)>.
- [4] TŮMA, Martin. *VTM* [online]. 11.10.2010 [cit. 2011-04-16]. Bezdrátový plaváček. Dostupné z WWW: <<http://vtm.zive.cz/aktuality/bezdratovy-plavacek>>.
- [5] ČERNÝ, Michal. Potichu a rychle, dolů : 2. díl. *I-REVUE* [online]. 10.9.2001, č. 9, [cit. 2011-04-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.uboa.cz/modely/rcrevue/dil2.htm>>.
- [6] MILLER, David; JORDAN, John. *Moderní válečné ponorky*. Vyd. 1. Praha : Naše vojsko, 2005. 208 s. ISBN 80-206-0766-8.
- [7] REICHL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Encyklopedie fyziky* [online]. c2006 [cit. 2011-04-18]. Fyzika :: MEF. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?page=127&sekce=browse>>.
- [8] Duke [online]. 2007-7-27 [cit. 2011-04-20]. Underwater Robot Competition Proved a Rollercoaster Ride™ for Duke Robotics Club. Dostupné z WWW: <<http://www.pratt.duke.edu/node/2389>>.
- [9] *Science* [online]. 2008-02-14 [cit. 2011-04-21]. ZAJÍMAVOSTI ZE SVĚTA VĚDY A TECHNIKY. Dostupné z WWW: <<http://science.wgz.cz/technologie/elektronicke-ryby-ano-s-umelou-2.html>>.
- [10] Kavítace. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 19. 10. 2005, last modified on 1. 5. 2011 [cit. 2011-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kavitace>>.
- [11] *Technovelgy* [online]. 4/26/2006 [cit. 2011-04-22]. Robot Turtle Madeline Flipper Science. Dostupné z WWW: <<http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=609>>.
- [12] *EXPO21XX.com* [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Universities Robotics. Dostupné z WWW: <[http://www.expo21xx.com/automation77/news/20149\\_robotics\\_underwater/news\\_default.htm](http://www.expo21xx.com/automation77/news/20149_robotics_underwater/news_default.htm)>.
- [13] *Expo21xx.com* [online]. 2010 [cit. 2011-05-03]. Biomimetic Robots. Dostupné z WWW: <[http://www.expo21xx.com/automation21xx/17600\\_st2\\_university/default.htm](http://www.expo21xx.com/automation21xx/17600_st2_university/default.htm)>.
- [14] *Sciencedaily.com* [online]. 2004-12-13 [cit. 2011-05-6]. Rensselaer Researchers Experiment With Solar Underwater Robots. Dostupné z WWW: <<http://www.sciencedaily.com/releases/2004/12/041212081548.htm>>.
- [15] *Auvac.org* [online]. 2009 [cit. 2011-05-4]. AUV System Spec Sheet. Dostupné z WWW: <<http://auvac.org/configurations/view/144>>.
- [16] *Flixya.com* [online]. 2010 [cit. 2011-05-19]. Robot Fish - Robot Technology. Dostupné z

WWW: <<http://www.flixya.com/photo/1744777/Robot-Fish-Robot-Technology>>.

[17] Archimédův zákon. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 6. 6. 2003, last modified on 20. 5. 2011 [cit. 2011-05-21]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Archimédův\\_zákon](http://cs.wikipedia.org/wiki/Archimédův_zákon)>

[18] *Instructables.com* [online]. 2010 [cit. 2011-05-14]. How to build a thruster for a homemade submersible or ROV. Dostupné z WWW: <<http://www.instructables.com/id/How-to-build-a-thruster-for-a-homemade-submersible/>>

[19] *Instructables.com* [online]. c2011 [cit. 2011-05-21]. ROV submersible (PVC). Dostupné z WWW: <<http://www.instructables.com/id/ROV-submersible-PVC/>>.

[20] *Http://www.technovelgy.com* [online]. 11/12/2006 [cit. 2011-05-18]. Squid Robot Underwater Inspector Has Unique Propulsion. Dostupné z WWW: <<http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=815>>.

[21] ZIN, Jean. *Http://jeanzin.fr* [online]. 2005 [cit. 2011-05-12]. Revue des sciences 03/11. Dostupné z WWW: <<http://jeanzin.fr/index.php?post/2011/03/01/Revue-des-sciences-03/11>>.

[22] *Http://www.rov-online.com* [online]. 2009 [cit. 2011-05-21]. Video Ray ROV underwatercamera. Dostupné z WWW: <<http://www.rov-online.com/?p=66>>.

[23] HEIMBUCH, Jaymi. *Treehugger* [online]. 2011 [cit. 2011-05-19]. Tron: Legacy Consultant Creates Robotic Fish That Can Move in Any Direction. Dostupné z WWW: <<http://www.treehugger.com/files/2011/01/tron-legacy-consultant-creates-robotic-fish-video.php>>.

[24] *ClipsToNote* [online]. 2008 [cit. 2011-05-14]. Robofish. Dostupné z WWW: <<http://rj3clips.blogspot.com/2008/07/robofish.html>>

# SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AUV...	autonomous underwater vehicle-autonomní podvodní robot	
ROV...	remotely operated underwater vehicle – řízený podvodní robot	
G...	geometrické těžiště (hmotný střed ponorky)	
B...	bod působení vzlaku	
M...	metatěžiště (průsečík vztakové síly a vertikální osy v příčném průřezu)	
B,B1...	bod působení vzlaku	
C...	součinitel odporu (závisí na tvaru tělesa)	[-]
$\rho$ ...	hustota prostředí, ve kterém se těleso pohybuje	$[kg \cdot m^{-3}]$
S...	obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu	$[m^2]$
v...	relativní rychlost (tělesa a tekutiny)	$[m/s]$
$\vec{F}_0, \vec{F}'_0$ ...	tlakové síly na boční strany tělesa	[N]
$\vec{F}_1$ ...	tlaková síla působící na vrchní plochu tělesa	[N]
$\vec{F}_2$ ...	tlaková síla působící na spodní plochu tělesa	[N]
$\vec{F}_{vz}$ ...	vztaková síla působící na těleso	[N]
$\vec{F}_t$ ...	tíhová síla působící na těleso	[N]
h1...	hloubka k horní ploše tělesa	[m]
h2...	hloubka k dolní ploše tělesa	[m]
h...	rozdíl hloubek h2 a h1	[m]

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1. 1 Kabelově řízený robot[19] .....	8
Obr.1. 2 Robot AQUA [4] .....	9
Obr.1. 3 Chování robota R1 pod vodou[1] .....	10
Obr.2. 1 Hodnoty součinitele odporu C pro různé tvary těles [7].....	11
Obr.2. 2 Hydrostatické síly působící na těleso ponořené v kapalině [17] .....	12
Obr.2. 3 Posun těžiště na hladině a při ponoru [6].....	14
Obr.2. 4 Porovnání podélné a příčné stability [6] .....	14
Obr.3. 1 Robot s pohony potřebnými pro ponoření [8] .....	15
Obr.3. 2 RobotPRO 4ROV SYSTÉM pohled shora na pohon pro regulaci hloubky [22] .....	16
Obr.3. 3 Balastní nádrž [5] .....	16
Obr.3. 4 Posun těžiště [5] .....	17
Obr.4. 1 Celoplášťová koncepce robota [1].....	18
Obr.4. 2 Rámová koncepce robota [1] .....	19
Obr.5 . 1 Modelářský motor s dvoulistým lodním šroubem[18].....	20
Obr.5 . 2 Turbulence a kavitace způsobené otáčením lodního šroubu [10] .....	21
Obr.5 . 3 Lodní šroub poškozený kavitací [10] .....	21
Obr.5 . 4 Robofish [16] .....	22
Obr.5 . 5 RobotTai-robot-kun's[25].....	23
Obr.5 . 6 Robot „rejnok“[20].....	23
Obr.5 . 7 Boční „ploutev“ robota [23] .....	24
Obr.5 . 8 Robot Madelain [11] .....	24
Obr.5 . 9 Robot „langusta“ [13] .....	25
Obr.6 . 1 Robot se solárním panelem [14].....	26
Obr.6 . 2 Robot SOLO-TREC [15] .....	27
Obr.6 . 3 Princip dobíjecího systému SOLO-TREC[21].....	27
Obr.6 . 4 Robot R1 [15] .....	28

Obr.6 . 5 Pohonný systém robota R1 [1] ..... 28