VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

DÁLKOVĚ ŘÍZENÝ PODVODNÍ ROBOT

REMOTE CONTROL SUBMARINE ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Josef Petrjanoš
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Josef Petrjanoš**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.**
Akademický rok:	2017/18

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

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dálkově řízený podvodní robot (DŘPR) v podmínkách České republiky může sloužit pro kontrolu hráze přehrad a získávání informací o biotopu říčních koryt. V neposlední řadě může sloužit ke kontrole dna vodních nádrží. Současné podvodní roboty vlastní především policie ČR a jsou drahé a nedostupné pro běžné účely. Navrhovaný DŘPR by měl být dostupný, levný, ale dostatečně vybavený pro splnění rozmanitých úkolů. DŘPR musí být vybaven TV kamerou s vysokým rozlišením a jednoduchým manipulátorem na sběr vzorků.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte rešerši o dálkově řízených podvodních robotech.
2. Zpracujte ideový návrh různých variant dálkově řízeného podvodního robota.
3. Vyhotovte zjednodušený virtuální model dálkově řízeného podvodního robota.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

PALKO, Anton a Juraj SMRČEK. Robotika: koncové efektory pre priemyselné a servisné roboty : navrhovanie - konštrukcia - riešenie. Košice: [Technická univerzita], 2004. ISBN 80-8073-218-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem dálkově řízeného podvodního robota použitelného k inspekční a servisní činnosti. V úvodu práce je nastíněn historický vývoj podvodních servisních robotů a jejich rozdělení. Dále se práce zabývá jednotlivými prvky robotu, srovnáním jejich konstrukčních řešení a výběrem vhodné varianty řešení.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of a remotely controlled underwater robot that can be used for inspection and service operations. The first part of the thesis outlines the historical development of underwater service robots and their classification. Furthemore, the thesis deals with the individual parts of the robot; compares their design solutions; and selects suitable ones.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dálkově řízený podvodní robot, konfigurace trysek, servisní robot

KEYWORDS

Remotely controlled underwater robot, thruster configuration, service robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETRJANOŠ, J. *Dálkově řízený podvodní robot.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Andrš, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Andrše, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25.5.2018 ……

Petrjanoš Josef

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Andršovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při konzultacích. Dále bych rád poděkoval doc. Ing. Simeonu Simeonovi, CSc. za připomínky a zadání práce.

OBSAH

1 ÚVOD 15

2 HISTORIE DÁLKOVĚ ŘÍZENÝCH ROBOTŮ 17

3 VÝBĚR DOSTUPNÝCH ROBOTŮ 19

4 KLASIFIKACE ROV A POŽADAVKOVÝ LIST. 21

4.1 Rozdělení podvodních robotů 21

4.2 Určení požadavků 21

5 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ 23

5.1 Bezdrátové řízení 23

5.1.1 Pomocí rádiové frekvence 23

5.1.2 Řízení pomocí zvuku 23

5.1.1 Využití optického signálu 23

5.2 Kabelové řízení 23

6 ZDROJ ENERGIE 25

6.1 Energie dodávána z povrchu pomocí kabelu 25

6.1 Zdroj energie uvnitř ROV 25

6.1 Hybridní systém 25

7 KONSTRUKCE TRUPU 27

7.1 Koncepce těla robotu 27

7.1.1 Rámová koncepce 27

7.1.2 Uzavřená koncepce 27

7.2 Materiály 27

7.2.1 Rám 27

7.2.2 Plováky 27

7.3 Výpočet tloušťky trupu 28

7.4 Plování robotu 29

8 POHONNÁ SOUSTAVA 31

8.1 Souřadnicový systém 31

8.2 Ideové varianty rozložení motorů 31

8.3 Kompenzace kroutícího momentu 33

8.4 Nejpoužívanější elektrických motorů 33

8.5 Výpočet výkonu pohonné soustavy pro pohyb v dopředném směru 33

8.5.1 Odhad sil působících proti pohybu 33

8.5.2 Požadovaný tah motoru 34

8.6 Zvolený pohon 35

8.7 Uchycení trysek 35

9 VYBAVENÍ ROBOTU 37

9.1 Senzory a řídící systém 37

9.2 Ideový návrh manipulátoru 38

10 ZÁVĚR 39

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 41

12 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ 45

13 SEZNAM PŘÍLOH 47

1 ÚVOD

Člověk je od přírody stvořen pro pohyb po souši. Jeho snem bylo od pradávna nejen létání, ale i prozkoumávání života pod vodní hladinou. Fyzicky může člověk vydržet pod hladinou jen několik minut, protože potřebuje k životu kyslík. Další omezení je vzrůstající tlak s hloubkou ponoření. K prodloužení pobytu pod hladinou se začalo používat potápěčských zvonů, které umožnily doplnění kyslíku bez toho, aby se musel člověk vynořit. Další způsob prodloužení pobytu pod hladinou a dosažení větších hloubek umožnilo použití dýchacích přístrojů a těžkých skafandrů. Jiným způsobem prodloužení pobytu v hloubce byla konstrukce ponorek. Ponorky umožnily lidské posádce dosažení velkých hloubek ponoru a značně prodloužily dobu setrvání pod vodní hladinou. Snaha o dosažení větších hloubek ponoru a kontrola nebezpečných míst vedla postupně k použití ponorek bez lidské posádky, a to použití vodních robotů.

Dálkově řízený podvodní robot nachází široké uplatnění v místech pro člověka nebezpečných či jinak nepřístupných. V posledních desetiletích je čím dál častěji tým potápěčů zastoupen robotem při inspekční a servisní činnosti u vodních staveb, dna vodních nádrží, prozkoumávání biotopů vodních toků a říčních koryt.

Hlavními výhodami robotů při inspekční činnosti jsou bezpečnost, prakticky neomezená doba ponoru, možnost inspekce při částečném provozu vodních elektráren a také i ekonomická stránka věci. Další uplatnění DŘPR nachází jako pohyblivá základna senzorů a odběr vzorků v přehradách i vodních tocích pro vědecké účely. V neposlední řadě se používají roboty jako stavební vozidla u mořských vrtů, k pokládání podvodních kabelů, v armádě k vyhledávání min, potopených předmětů, jako kamerové systémy a pro rekreační činnost.

Zaměření bakalářské práce je rešeršní studie ROV (remotely operated vehicle), rozbor jednotlivých oblastí návrhu DŘPR a výsledné vyhodnocení nejvhodnější a také ekonomicky výhodnější varianty pro zkonstruování servisního robotu pro podmínky České republiky.

2 HISTORIE DÁLKOVĚ ŘÍZENÝCH PODVODNÍCH ROBOTŮ

Většina raných vědeckých prací pod hladinou oceánu byla vykonávána pomocí ponorek s lidskou posádkou. Produkce těchto vozidel, vyráběných primárně bezpečnostními firmami General Dynamics, Rockwell and Westinghouse, dosáhla vrcholu ke konci šedesátých let minulého století. Otázka bezpečnosti a technologický pokrok vedly k vývoji prvních dálkově ovládaných vozidel (remotely operated vehicles-ROVs). První, kabelem řízený ROV pojmenovaný POODLE, byl vyvinut Dimitriem Rebikoffem roku 1953 [1]. Své první využití nalezl v roce 1954 k pořízení videa, ještě nikdy předtím neprozkoumaných trosek fénických lodí, v hloubce přes 200 metrů [2].

Americké námořnictvo mělo problém s vyzvedáváním torpéd, která se ztratila na dně moře, proto vytvořila kontrakt s VARE Industries na vývoj pohyblivého podvodního kamerového systému. První vozidlo XN-3 bylo otestováno roku 1961 a využito jako základ pro tvorbu CURV (Cable-Controlled Underwater Research Vehicle), který posléze v roce 1966 sloužil k vyzvednutí atomové bomby, po pádu letadla do moře poblíž Španělska, z hloubky 869 m pod mořem. Následný model CURV III byl využit k záchraně osádky ponorky PISCES III u pobřeží Irska, z hloubky 480 metrů, roku 1973 [3].

Úspěchy vedly k vytvoření komplexnějších vozidel typu PIV (Pontoon Implacement Vehicle) k vyzvedávání potopených ponorek. Na opačné straně spektra byly vytvořeny první malé ROV, sloužící k pozorování hydraulicky ovládaného SNOOPYHO a jeho nástupce elektrického SNOOPYHO [3].

Další významný pokrok v technologii byl vyvinut těžařskými firmami, vytvořením pracovní skupiny ROV. Sloužily k pomoci vývoje těžebních polí mimo pobřeží, v hloubkách pro potápěče nedostupných. Mezi první dva roboty patří RVC-225 a RVC-150 vyvinuté firmou HydroProducts [4].

Do roku 1974 bylo postaveno 20 vozidel, z toho 17 financováno vládními institucemi. Od roku 1975 začal exponenciální růst výroby ROV, již koncem roku 1982 bylo vyrobeno 500 vozidel. ROV postavené v období 1974 až 1982 bylo z 96 procent financováno ze zdrojů privátních firem. V roce 1970 existoval pouze jeden privátní výrobce ROV, v roce 1984 již fungovalo 27 firem [3].

V roce 1986 byly dva ROV (Jason Jr. a Hercules) připojeny k ponorce s posádkou Alvin a využity k průzkumu vraku Titaniku [5].

V březnu roku 1995 se Kaiko ROV, od firmy JAMSTEC z Japonska, potopil na nejhlubší bod Mariánského příkopu do hloubky 10 911 metrů [6].

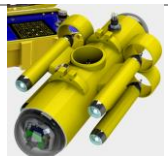
Zvyšující se nároky na stavbu, kontrolu a servisní činnost u vodních staveb všech druhů povedou nadále k vývoji podvodních vozidel, podle [7] lze předpokládat další růst těchto odvětví.

3 VÝBĚR DOSTUPNÝCH ROBOTŮ

V tabulce jedna je zobrazen výběr ROV splňující kritérium operační hloubky, sloužící pro porovnání navrhované konstrukce.

Tab. 1) Dálkově ovládané podvodní roboty

Název	Obrázek	Hloubka [m]	Počet motorů	Hmotnost [kg]	Kabel [m]	Manipulátor	Rychlost [m/s]
AC-ROV 100 [8]		100	6	3	120	A	-
DTG2 Worker [9]		150	2	18	100	A	1,3
Gnom Pro [10]		150	4	25	400	A	2
Proteus 500 [11]		152	4	32	152	N	0,82
ROV-2000 [12]		300	4	25	150	A	-
Mojave [13]		300	5	85	-	A	1,8
RMI-MINI ROV [14]		100	3	12	-	A	1,54
Raja Ampat [15]		100	3	200	-	A	1,54

Seaeye Falcon [16]		300	5	60	450	A	1,54
RB 300 [17]		200	5	8,5	220	A	1,54
RB 150 [18]		100	4	7,5	150	A	1,25
LBV200-4 [19]		200	4	11	250	A	1,5
STEELHEAD [20]		300	4	21	165	A	0,9
Barracuda [21]		300	4	39	-	A	-
Guardian [22]		150	5	4,5	400	N	1,5
BlueROV2 [23]		100	6	11	300	N	1
OpenROV 2.8 Kit [24]		100	3	2,6	300	N	1

4 KLASIFIKACE ROBOTŮ A POŽADAVKOVÝ LIST

4.1 Rozdělení podvodních robotů

Roboty jsem rozdělil podle zadání do tříd, podle použití, hloubky, rychlosti pohybu, délky kabelu, prostředí a příslušenství

Pozorovací třída

Roboty této třídy jsou často označovány názvem "létající oko", jsou navrhovány jako pohonný systém s cílem přesunu kamery a senzorického systému do požadované oblasti. Novější modely ROV jsou dodávány s množstvím doplňkového vybavení, které umožňují robotu zásah do sledovaného prostředí [3].

Pracovní třída

Roboty spadající do pracovní třídy mají obecně velké rámy velikosti několika metrů. Bývají vybaveny multifunkčními aktuátory s hydraulickým pohonem a jsou využívány ke konstrukci podvodních staveb [3].

Roboty pro speciální použití

Příkladem tohoto typu může být ROV určený pro zahrabávání telekomunikačních kabelů [3]. Další možné využití robotu nachází armáda k vyhledávání min.

4.2 Určení požadavků

Tab. 2) Požadavkový list

Požadavek	Popis
Třída	pozorovací
Použití	kontrolní činnost, sběr vzorků
Hloubka [m]	100
Rychlost pohybu [m/s]	1,5
Délka kabelu [m]	150
Prostředí	sladkovodní vody
Příslušenství	HD kamera, reflektory, hloubkový senzor, kompas, manipulátor, lasery

Požadavek hloubky ponoru robotu byl zvolen z hloubky nejhlubší vodní nádrže v České republice (Dalešice 85,5 m) [25], a navýšen o 15 m z důvodu bezpečnosti **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**. Délka kabelu byla vybrána s ohledem na dostupnou hloubku a manipulační prostor pohybu robotu. Rychlost pohybu byla určena jako průměr rychlosti podobných ROV, vycházející z rešeršní studie. Výběr příslušenství vyplývá ze zadání bakalářské práce. Systém laserů slouží k zjištění velikosti objektu porovnáním vzdálenosti mezi světelnými body.

5 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ

5.1 Bezdrátové řízení

Bezdrátové řízení robota má výhody v jeho volnosti pohybu a jednodušším vyhledávání cesty ve složitém a tvarově rozmanitém prostředí, kdy nehrozí zachycení ovládacích kabelů.

5.1.1 Pomocí rádiové frekvence

Z důvodu velkého koeficientu útlumu, procházejí rádiové vlny pouze několik vlnových délek do vody. Pokud bychom použili nízké frekvence, rádiové vlny by prošly do větší hloubky, za cenu snížení množství přenesené informace, nedostatečné pro přenos vizuálního obrazu. Z literatury [26] lze vyčíst snížení přenosové rychlosti ze 100 Mb/s pro hloubku 0,2 m na 10 kb/s v hloubce 50 m.

Další problém je refrakční úhel přechodu prostředí vzduch-voda, jenž lze vyřešit pomocí plovoucí antény.

5.1.2 Řízení pomocí zvuku

Je nejčastějším způsobem bezdrátového řízení, které je možno použít až do vzdálenosti 20 km. [27] V porovnání s elektromagnetickými vlnami má zvuk nízký koeficient útlumu ve vodě. Díky rychlosti šíření zvuku ve vodě 1500 m/s vzniká v řízení zpoždění. Mezi další nevýhody lze zmínit Dopplerovo zkreslení, chybu v důsledku interference odražených signálů, ozvěna, nízké množství dat přenesených za sekundu a možné ovlivnění vodních živočichů [27], [28].

5.1.3 Využití optického signálu

Optický signál nabízí zanedbatelné zpoždění signálu za cenu krátké vzdálenosti mezi komunikačními uzly a požadavku umístění vysílače a přijímače do jedné přímky. [29] Problémem je čistota prostředí, a tím pádem malý dosah přenosu informací. Naopak výhodou je nízká fyzická a energetická stopa [27]. Příkladem využití je vznik experimentálního ROV AMOUR VI pro pohyb v prostředí s mnoha překážkami [30].

5.2 Kabelové řízení

Je nejužívanějším způsobem řízení. Transportním mediem pro informace jsou kovové vodiče (převážně vyrobené z mědi, z důvodu ceny) a optická vlákna. Kabely se často pojí do stočených párů, aby se snížilo množství šumu. Umístění kabelu na horní straně vozidla zmenšuje pravděpodobnost zachycení o překážky na dně, ale odpor kabelu způsobuje klopný moment. Tomuto efektu lze zabránit uchycením kabelu v ose hybnosti vozidla.

6 ZDROJ ENERGIE

6.1 Energie dodávaná z povrchu pomocí kabelu

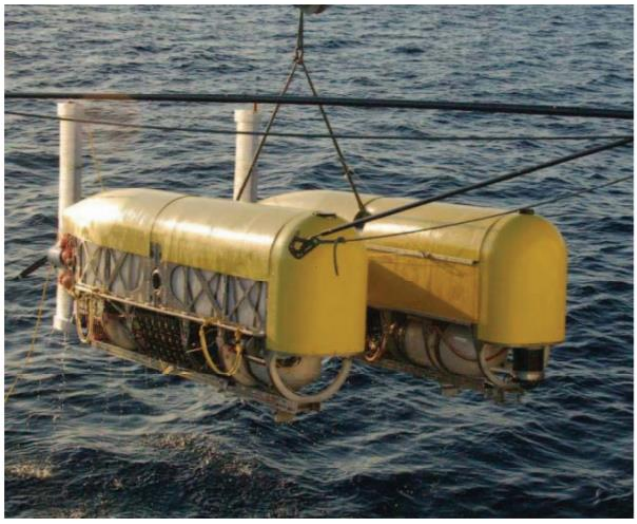
Hydraulický pohon je využívám převážně u velkých pracovních ROV. Přenos energie pomocí kabelů je nejčastější používaný způsob dodávání energie. Výhoda tohoto způsobu napájení kabelem spočívá převážně v takřka neomezené operační době využití robotu. Kabely jsou navrhovány s dostatečnou pevností, aby v případě poruchy, bylo možno robota vytáhnout.

6.2 Zdroj energie uvnitř těla stroje

Bez dobíjecího kabelu odpadá část hydrodynamického odporu, možnost zachycení o překážku a zvýšení operační vzdálenosti od řídícího vozidla. Nevýhodou je zvýšená hmotnost vozidla a z toho plynoucí nutnost většího vztlaku. Baterie jsou využívány převážně u autonomních podvodních robotů.

6.3 Hybridní systém

Jedná se o kombinaci předchozích dvou možností využití zdrojů energie. Příkladem použití hybridního systému je baterií poháněná ponorka, která využívá dobíjení pomocí kabelu, v době menšího odběru energie, případně vozidlo s přechodem mezi ROV a AUV (autonomous underwater vehicle). Tohoto uspořádání využívá robot Nereus [31].



Obr. 1) Nereus v autonomním módu [31]

7 KONSTRUKCE TRUPU

7.1 Koncepce těla robotu

Podle umístění jednotlivých součástí se podvodní roboty dělí na rámový a kompaktní/uzavřený typ. Jednotlivé zástupce lze najít v tabulce první v třetí kapitole této závěrečné práce.

7.1.1 Rámová koncepce

Rámová konstrukce trupu je nejběžnějším typem používaným při konstrukci u servisních robotů [32]. Jedná se o blokovou konstrukci nosného rámu s přimontovanými plováky na horní straně, motory uprostřed a těžkými komponenty dole z důvodu stability. Hlavní výhodou této konstrukce je variabilita a rychlost výměny vybavení bez nutnosti rozebrat celou konstrukci. Nevýhodami této konstrukce jsou vysoký odpor při pohybu zamezující dosažení vyšších rychlostí a nutnost zabezpečit všechny komponenty jednotlivě proti průniku vody.

7.1.2 Uzavřená koncepce

Má menší odpor proti pohybu ve vodním prostředí, a proto umožňuje dosažení vyšších rychlostí při současném menší spotřebě energie z baterií. Je využívána převážně u AUV Tato koncepce byla zvolena kvůli možnosti použití robota i v říčních tocích, vedoucí k nutnosti snížení odporu proti pohybu.

7.2 Materiály

Materiály užívané pro stavbu podvodních robotů musí mít nízkou hustotu a schopnost odolávat korozivnímu prostředí.

7.2.1 Rám

Většina velkých pracovních robotů je postavena z nerezové oceli, slitiny hliníku, nejčastěji 6061-T6. Využití těchto materiálů můžeme najít i u menších inspekčních robotů, například FO II ROV od firmy Mariscope, postaveného kompletně z hliníku a nerezové oceli, což dovoluje doživotní záruku. Použití kovů jako materiálu rámu není u malých ROV vhodné, toto je zapříčiněno vyšší hustotou vedoucí k nárůstu hmotnosti, cenou a náchylností k degradaci při působení mořské soli. Z těchto důvodů výrobci využívají polymery, zejména Akrylonitrilbutadienstyren (ABS), polyethylen s vysokou hustotou (HDPE) a polypropylen (PP). Nově využívaným materiálem jsou plasty vyztužené uhlíkovými vlákny (CFRP), které mají vyšší pevnost, tuhost a tlumení, než konvenčně používané polymery [32].

7.2.2 Plováky

Materiály na výrobu plováků musí mít hustotu nižší než voda a schopnost odolat tlakům v operační hloubce. Pro ROV s nízkou hloubkou ponoru se využívá tuhá polyuretanová pěna. Pod toto označení spadají polyisokyanurát (PIR) a polyuretan (PUR). Pro použití do hloubky 250 metrů je PUR preferovaná možnost, z důvodu ceny a lehkosti opracování, nicméně do této hloubky se používá navíc ochranný polyuretanovo-elastomerový potah. Pro konstrukci robotů s operační hloubkou (do 700 m) nachází využití také pěna z polyvinylchloridu. Tento materiál bývá běžně pokryt ochranným povrchem, dodávajícím tuhost a pevnost. Do hloubky 600 m se dá využít kopolymerová pěna z důvodů pevné zesíťované struktury. Problémem u tohoto materiálu je tendence zmenšovat objem, při vyšších tlacích působících po dlouhý časový interval. Pro ponor do velkých hloubek (6000 m) nalézají využití syntaktické pěny. Syntaktická pěna je kompozitní materiál, vytvořený vložením velkého množství dutých skleněných mikrokuliček do epoxydové pryskyřice. Výsledný materiál má nízkou hustotu a schopnost odolat vysokým tlakům. Bylo zjištěno, že při dlouhodobém pobytu pod vodou, mohou skleněné kuličky v syntaktické pěně degradovat snížením pevnosti o 30 %. Tento efekt nastává průnikem vody na rozhraní mezi skleněnými mikrokuličkami a epoxidovou pryskyřicí vedoucí k dealkalizaci. Pro dlouhodobý pobyt pod vodou lze použít mikrokuličky bez obsahu alkalických kovů. Dalším materiálem pro výrobu je použití keramických koulí s vysokou pevností a hustotou velikosti poloviny hustoty nerezavějící oceli. Tyto koule se vyrábějí nasypáním směsi oxidu hlinitého do sférických forem a jejich následném vysušení a vypálení [32].

7.3 Výpočet tloušťky trupu

Napětí ve stěně tlakové nádobě lze vypočítat podle vzorce (1) [33].

$$\sigma = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} \tag{1}$$

Bezpečnost lze zjistit pomocí vzorce (2), z něhož dostaneme vzorec pro redukované napětí (3). Pomocí známého poloměru, tlaku v operační hloubce a dovolenému napětí můžeme zjistit minimální možnou tloušťku tlakové nádoby.

$$k_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} \tag{2}$$

$$\sigma_{red} = \frac{\sigma_k}{k_k} \tag{3}$$

Redukci velikosti poloměru válce s konečnou délkou lze vypočítat podle (4) [34]. Hodnota je důležitá kvůli omezení prostoru pro elektroniku uvnitř robotu.

$$\Delta r = \frac{p \cdot r^2 \cdot (1 - 0{,}5 \cdot v)}{E \cdot h} \tag{4}$$

Porovnáním dostupných trubek z vhodných materiálů, splňujících minimální vnitřní poloměr (určený z rozměrů elektrických součástek) a dostatečnou tloušťku stěny nám vyšla vhodná trubka z polypropylenu (PP-H) o vnějším průměru 125 mm a tloušťce stěny 3,1 mm. Zvolené těleso musí být dále zkontrolováno na vzpěrnou stabilitu. Výsledky výpočtů je vhodné zkontrolovat pomocí metody konečných prvků. Průhledná kopule sloužící jako průzor pro kameru a uzavření těla robotu bude koupena od firmy Blue Robotics [42].

7.4 Plování robotu

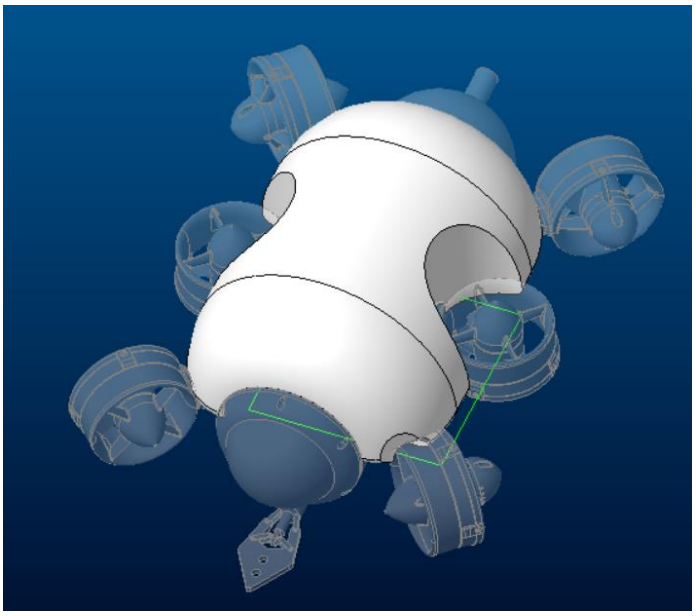
K udržení stálé hloubky bez nutnosti neustálého provozu motorů je nutné, aby byla vztlaková a gravitační síla sobě rovná. Vztlaková síla se vypočítá podle Archimédova zákona (5). Gravitační sílu vypočítáme pomocí rovnice (6) a jejich rozdíl získáme podle vztahu (7). Hodnoty objemu a hmotnosti jsou vzaty z 3D modelu.

$$F_{VZ} = V \cdot \rho \cdot g \tag{5}$$

$$F_G = m \cdot g \tag{6}$$

$$F_R = F_{VZ} - F_G \tag{7}$$

Výsledek rovnice (7) F_R= -11,6408 N nám ukazuje nutnost přimontovat k robotu plovák. Materiálem na tvorbu plováku bude polyuretanová pěna s ochranným nátěrem barvy. Pro známé hustoty a požadované navýšení rozdílu vztlakové a gravitační síly lze z rovnice (7) získat minimální objem plováku. Minimální nutná velikost plováku byla lehce navýšena na 0,002662 m^3 z důvodu nepřesnosti výroby. Kontrolní výpočet rozdílu po připevnění plováku vychází kladně F_R= 1,10721 N. Mírně větší hodnota vztlaku oproti gravitační síle má výhodu vynoření robotu při poruše pohonu za cenu vyšší energetické náročnosti. Výsledný tvar plováku lze vidět na obrázku dva.

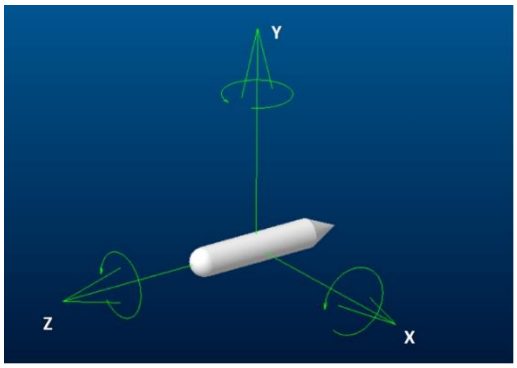


Obr. 2) Plovák

8 POHONNÁ SOUSTAVA

Pro pohyb robotu ve vodě byla zvolena soustava lodních šroubů. Experimentální pohyb napodobující vodní tvory je konstrukčně moc složitý a cenově nákladný. Lokomoce po dně se využívá primárně pro pohyb v silných mořských proudech. K regulaci ponoru bylo zvažováno využití balastních nádrží, ale následně bylo zavrhnuto, kvůli zachování jednoduchosti konstrukce.

8.1 Souřadnicový systém



Obr. 3) Souřadnicový systém

ROV má 6 stupňů volnosti (Obr.3):

Vertikální pohyb v ose Y

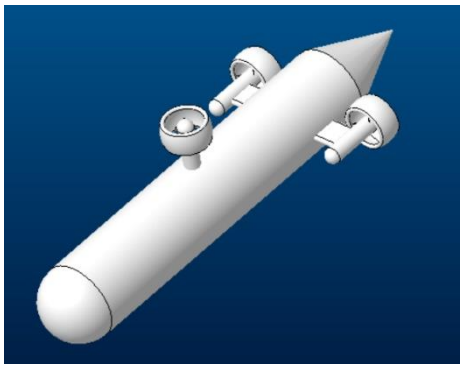
Dopředný pohyb v ose Z

Boční pohyb v ose X

Rotace kolem jednotlivých os

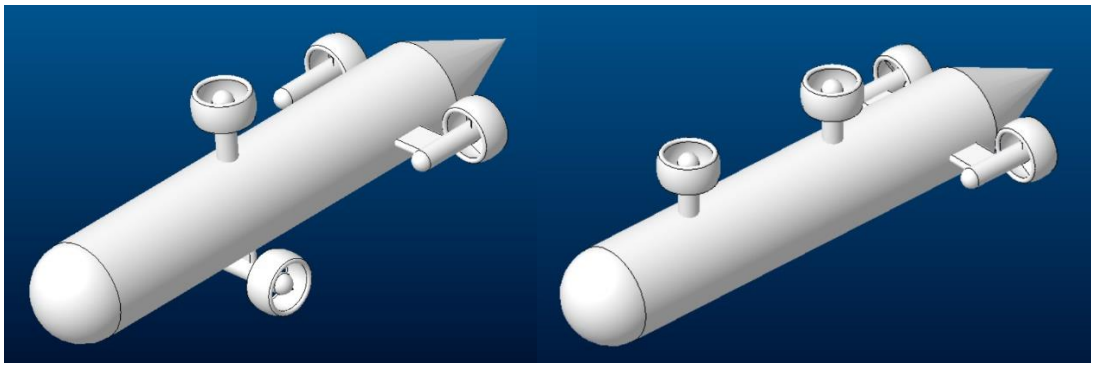
8.2 Ideové varianty rozložení motorů

Nejběžnější konfigurace využívaná u ROV je třímotorová (Obr.4). Toto uspořádání dovoluje pohyb v ose Z, Y o rotaci kolem osy Z.



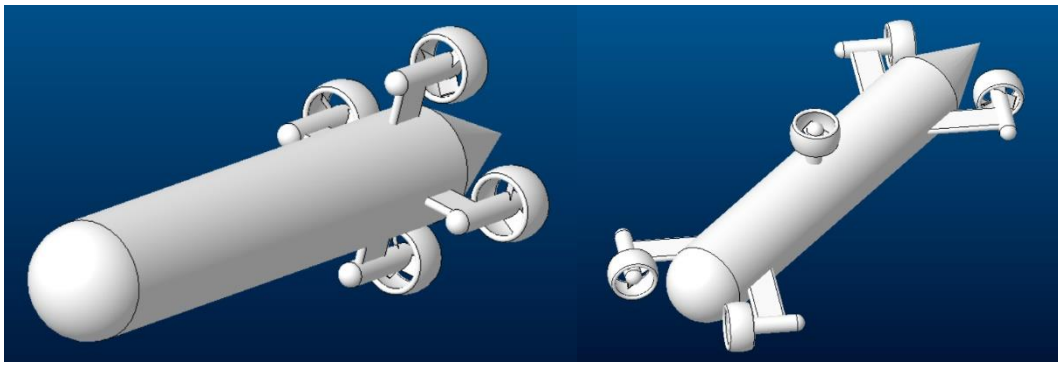
Obr. 4) Varianta 1

Z důvodu regulace pohybu v ose X se přidává čtvrtý motor (Obr.5). Varianta třetí využívá čtyř motorů k pohybu v osách Z, Y, natočení kolem os Y a X (Obr.4). Poslední uvažovaná varianta používající čtyř motorů, k posuvu v ose Z, k otáčení kolem os Y a X, k ponoru je využita balastní nádrž (Obr.6).

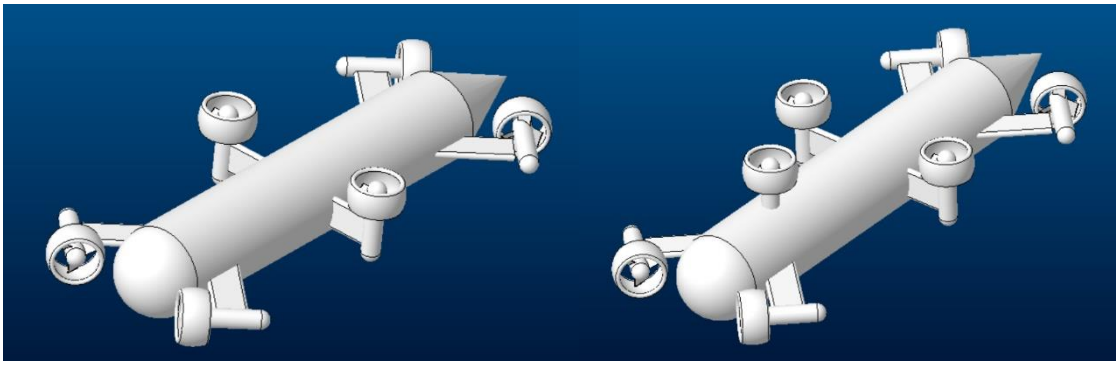


Obr. 5) Varianta 2 (vlevo), varianta 3 (vpravo)

U ROV rámové konstrukce je často využívána vektorová varianta pátá (Obr.6), z důvodu kontroly všech horizontálních směrů. Šestimotorová varianta číslo šest má oproti předchozí variantě navíc kontrolu nad rotací kolem osy Z (Obr.7). Poslední varianta sedmá je schopna kontrolovat posuvy a rotace kolem všech os (Obr.7).



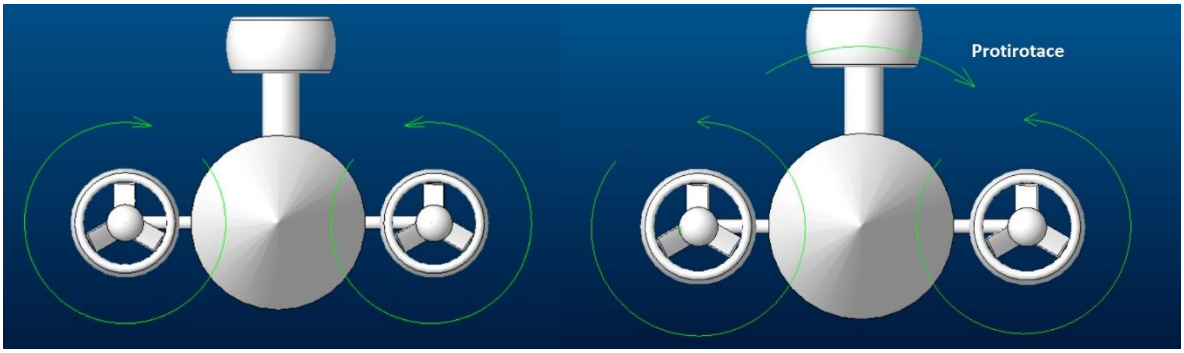
Obr. 6) Varianta 4 (vlevo), varianta 5 (vpravo)



Obr. 7) Varianta 6 (vlevo), varianta 7 (vpravo)

8.3 Kompenzace kroutícího momentu

Při využití více motorů v jedné ose dochází k vytvoření kroutícího momentu opačného směru, než je rotace listů pohonu [3]. Tomuto jevu se dá zabránit pomocí použití kombinace motorů rotujících různým směrem (Obr.8).



Obr. 8) Kroutící moment

8.4 Nejpoužívanější druhy elektrických motorů

Podle typu robotu mohou být lodní šrouby poháněny elektricky nebo hydraulicky. U ROV inspekčního druhu jsou nejčastěji používány elektrické motory na stejnosměrný proud. Stejnosměrné motory s kartáči jsou obecně levné a jednoduché na ovládání, jejich nevýhodami je nižší rozsah otáček zapříčiněný mechanickými limity kartáčů, nutnost otevření vodotěsného pouzdra při výměně kartáčů a relativně malý tah trysky. Bezkartáčové motory na stejnosměrný proud jsou preferovány z důvodu vyššího rozsahu otáček, jednoduší údržbě, vyšší efektivnosti provozu a lepším termálním charakteristikám. Jejich nevýhody jsou vyšší cena, nutnost použití elektronického regulátoru rychlosti a převodovky k zajištění efektivních otáček motoru [32].

8.5 Výpočet výkonu pohonné soustavy pro pohyb v dopředném směru

8.5.1 Odhad sil působících proti pohybu

Pro návrh motorů je potřeba zjistit odpor vody při maximální navrhované rychlosti. Jednotlivé tělesa nahradíme přibližným tvarem. Plovák je nahrazen elipsoidem. Motory kolmé ke směru pohybu byly nahrazeny válci, pohony pod úhlem 45° od osy Z byly zanedbány z důvodu obtížnosti zjištění odporového koeficientu. Proto bude zvolen motor s vyšším tahem.

Dáno:

Maximální návrhová rychlost robotu v = 1 m/s

Hustota kapaliny ρ = 1000 kg/m^3

Odpor kopule:

C_{x1}=0,42 [35]

S_1=9,852•10^{-3} m^2

$$F_1 = \frac{1}{2} c_{x1} \cdot \rho \cdot S_1 \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0{,}42 \cdot 1000 \cdot 9{,}852 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5^2 = 2{,}07\ N \tag{8}$$

Odpor trupu:

C_{x2}=0,85 [35]

S_2=9,852•10^{-3} m^2

$$F_2 = \frac{1}{2} c_{x2} \cdot \rho \cdot S_2 \cdot v^2 = \frac{1}{2}\ 0{,}85 \cdot 1000 \cdot 9{,}852 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5^2 = 9{,}42\ N \tag{9}$$

Odpor motorů kolmých na osu z:

C_{x3}=0,64 [35]

S_3=0,009797 m^2

$$F_3 = 2 \cdot \frac{1}{2} c_{x3} \cdot \rho \cdot S_3 \cdot v^2 = 0{,}64 \cdot 1000 \cdot 9{,}797 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5^2 = 14{,}11\ N \tag{10}$$

Odpor plováku:

C_{x4}=0,22 [35]

S_4=0,0010024 m^2

$$F_4 = \frac{1}{2} c_{x4} \cdot \rho \cdot S_4 \cdot v^2 = 0{,}22 \cdot 1000 \cdot 1{,}002 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5^2 = 2{,}46\ N \tag{11}$$

Celkový odpor:

$$F_c = \sum_{i=1}^{4} F_i = 30{,}64\ N \tag{12}$$

8.5.2 Požadovaný tah motoru

Nutný průmět tahu v přímém směru na jeden pohon zjistíme podle rovnice (13).

$$F_p = \frac{F_c}{4} = 7{,}66\ N \tag{13}$$

U zvolené varianty 6 s vektorovým uspořádáním motorů pod úhlem 45°od osy Z lze potřebný tah spočítat podle vzorce (14).

$$F_m = \frac{F_p}{cos\ 45°} = 14{,}58\ N \tag{14}$$

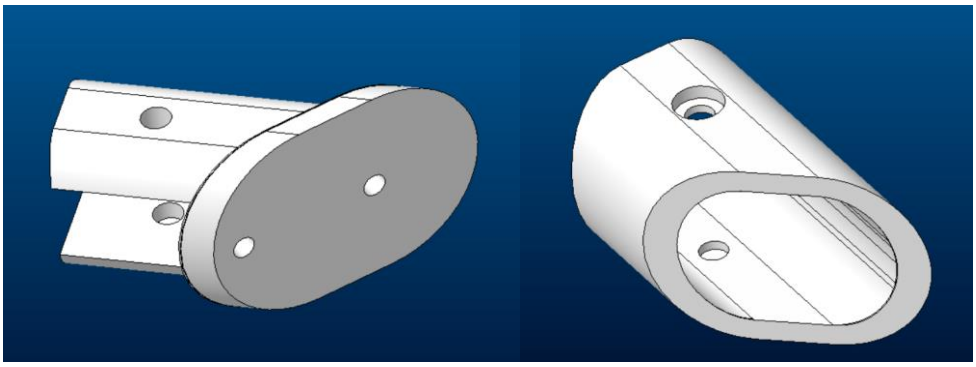
8.6 Zvolený pohon

Byla zvolena tryska T100 (Obr.9) s dopředným tahem 23,6 N dostatečně velkým k pokrytí nejistoty velikosti odporu pohybu prostředím, kvůli zanedbání odporů motorů a kabelu. Pro zjištění přesnější hodnoty odporu při pohybu lze použít program ANSYS Fluent.

Obr. 9) T100[36]

8.7 Uchycení trysek

K přimontování pohonu k trupu robotu slouží soustava sešroubovaných plastových dílců (Obr.10).



Obr. 10) Uchycení pohonu

9 VYBAVENÍ ROBOTU

9.1 Senzory a řídící systém

Řídící systém spodní úrovně

Vhodným kandidátem pro řídící systém je Raspberry Pi na bázi Linuxu.

Kamera

Byla zvolena kamera Hikvision DS-2CD2152F-I (Obr.11) s rozlišením 2560×1920 bodů, vlastním přísvitem a natáčením.

Obr. 11) DS-2CD215F-I[37]vlevo, tlakový senzor vpravo[38]

Tlakový senzor

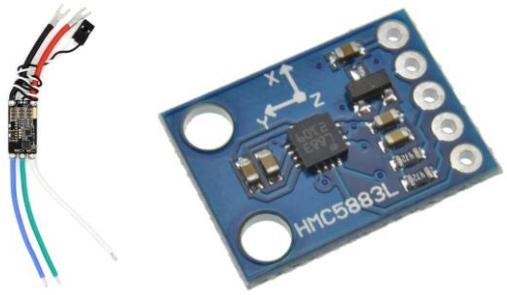
Použit bude keramický tlakový senzor od firmy B+B, s měřícím rozsahem 0-25 barů (250 metrů), odolný proti korozivnímu prostředí (Obr.11).

Senzory průsaku vody

Je tvořen tištěným spojem s bavlněným obalem umístěným v místech možného průsaku vody.

Elektrický regulátor rychlosti

Použité pohony mají bezkartáčové motory, proto je nutné použít regulátor rychlosti. Zvolená součást je od stejného výrobce jako motor (Obr.12).



Obr. 12) R3 [39] (vlevo), HMC5883L [40] (vpravo)

Kompas

Kompas s přesností 2° (Obr.12).

Gyroskop a akcelerometr

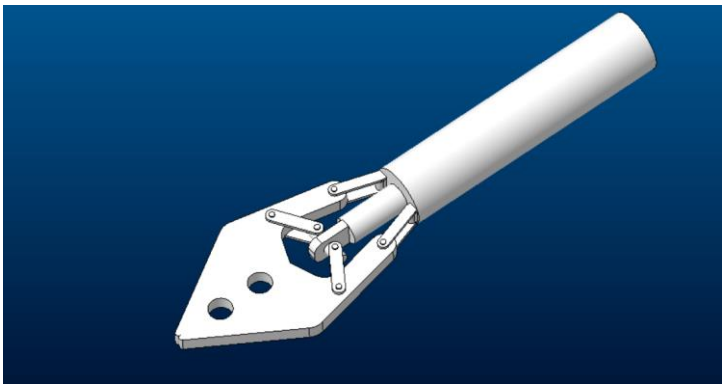
Ke zjištění zrychlení a natočení (Obr.13).

Obr. 13) HMC5883L [41]

Dále napěťový měnič ke snížení napětí z vodiče, lasery navrhované pro menší hloubky ponoru nebyly nalezeny.

9.2 Ideový návrh manipulátoru

Navrhovaný robot má být doplněn manipulátorem využitelným pro sběr vzorků. Manipulátory lze ovládat hydraulickými systémy, ale z důvodu velikosti robotu bylo toto řešení zavrhnuto, protože obsahuje hodně součástí, které by zabíraly příliš prostoru v robotu a zároveň by došlo k podstatnému zvýšení hmotnosti celé sestavy. Vzhledem k využití robotu se jeví jako výhodnější použití jednoduchého elektrického manipulátoru. Pro účely zadané konstrukce robotu bude zřejmě dostačující elektrický manipulátor pouze s úchopovou schopností (Obr.14). Tento manipulátor bude umístěn pod vlastním tělesem robotu z důvodu stability celého přístroje. Jednoduchý manipulátor je možné zaměnit jinými přístroji dle potřeby vykonávané činnosti. Průzkumem trhu byl nalezen jednoduchý lineární aktuátor, který je třeba doplnit o zajištění vodotěsnosti.



Obr. 14) Manipulátor

10 ZÁVĚR

Podvodních robotů se v současné době stále častěji využívá hlavně v případech, kdy může dojít k ohrožení života posádky ponorky a také v takových místech, kam by se ponorka řízená lidskou osádkou nedostala. Současné roboty využívají několik druhů konstrukcí, kdy každá má své výhody i nevýhody, příkladem je rámová konstrukce robotu, umožňující velkou variabilitu celého stroje za cenu nutnosti ochránit jednotlivé díly proti průsaku vody. Vzhledem ke členitému povrchu, dochází k většímu odporu při pohybu a je zde i větší možnost zachycení robotu o okolní prostředí. Uzavřená kompaktní verze má výhodu tvaru umožňující laminární proudění, jeho nevýhodou je obtížná výměna jednotlivých komponentů robotu. Návrh robotu se odvíjel od zadání práce, kdy má být navržen robot pro kontrolu našich přehradních hrází a případně i vodních toků.

Zadání byla uzpůsobena konstrukce robotu uzavřená, k pohonu je použito šesti samostatných motorů. Uspořádání pohonů umožnuje pohyb ve všech osách a možnost rotace kolem dvou z nich, zároveň byl eliminován reakční klopný moment tělesa robotu použitím rozdílného směru rotace lodních šroubů. Napájení a ovládání vlastního robotu je provedeno kabelem z důvodu jednoduší konstrukce a možnosti vytažení robotu při jeho poruše. Jako záznamové zařízení byla použita kamera s vysokým rozlišením a přisvětlením. Vzhledem k určení robotu je použit pouze jednoduchý manipulátor k případnému vyzvednutí vzorku či jiné intervenci.

Ke konstrukci vlastního robotu bylo použito ve větší míře již vyráběných dílů a součástek, čímž bylo dosaženo i nemalé snížení výrobních nákladů. Jednoduchý manipulátor je k robotu připojen takovým způsobem, aby byla možná jeho jednoduchá výměna. Pokud by byl robot použit k nějaké náročnější práci, bylo by zřejmě nutné, upravit a zesílit celou jeho konstrukci, ale tím by také narostly i náklady na jeho výrobu. V rámci řešení byl vyhotoven 3D model v programu Creo Parametric, který je přiložen na CD.

Na práci by se dalo navázat ověřením bezpečnosti tlakové nádoby a upřesněním hodnoty odporu proti pohybu pomocí metody konečných prvků.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] J. Yuh & M. West. Underwater robotics. *Advanced Robotics*, [online]. 2012, **15**(5), 609- 639 [cit. 2018-04-25]. DOI: 10.1163/156855301317033595. Dostupné z: https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1163/156855301317033595?scroll=top

[2] Jim Chiles. The Inhuman History of ROVs: Part 2. In: *Disaster-Wise* [online]. 2014 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: http://disaster-wise.blogspot.cz/2014/04/the-inhuman-history-of-rovs-part-2.html

[3] CHRIST, R. a R. WERNLI. *The ROV Manual*. Elsevier, 2007. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8148-3.X5000-2. ISBN 9780750681483

[4] ROVs - A BRIEF HISTORY. *Remotely operated vehicle comitee of marine technology society* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: http://www.rov.org/rov_history.cfm

[5] ROV – Swimming Socket Wrench. In: *American Oil & Gas Historical Society* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: https://aoghs.org/offshore-history/offshore-robot/

[6] 7,000 m Class Remotely Operated Vehicle KAIKO 7000. *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* [online]. [cit. 2018-05-1]. Dostupné z: http://www.jamstec.go.jp/e/about/equipment/ships/kaiko7000.html

[7] REMOTELY OPERATED VEHICLES (ROV) IN THE ENERGY INDUSTRY 2015-2025. *Visiongain* [online]. 2015 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: https://www.visiongain.com/Report/1488/Remotely-Operated-Vehicles-%28ROV%29-in-the-Energy-Industry-2015-2025

[8] AC-ROV 100 Underwater Inspection System. In: *AC-CESS* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://ac-cess.com/downloads/AC-ROV_100.pdf

[9] DTG2 Worker. In: *DEEP TREKKER* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.deeptrekker.com/product/dtg2-worker/

[10] ROV «GNOM Pro». In: *Underwater Robotics* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://gnomrov.com/products/super-gnom-pro/

[11] Specifications. In: *HAI* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.hydroacousticsinc.com/products/rov-remote-operated-vehicles/rov-product-specs.html

[12] ROV-2000. In: *Outland Technology* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.outlandtech.com/rovs/rov-2000-model

[13] Mojave. In: *Forum Energy Technologies* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.f-e-t.com/products/drilling-and-subsea/subsea-technologies/rovs-observation/mojave

[14] Mini ROV. In: *Robomarine* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.robomarine.com/minirov.html

[15] *RajaAmpat ROV* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.robomarine.com/rajaampatrov.html

[16] Seaeye Falcon & Seaeye Falcon DR. In: *SAAB SEAEYE* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.seaeye.com/falcon.html

[17] RB 300. In: *Sandy air corp* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://sandyair.org/en/rb-mini-300/

[18] RB 150. In: *Sandy air corp* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://sandyair.org/en/rb-mini-150/

[19] LBV200-4. In: *TELEDINE MARINE* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.teledynemarine.com/lbv200-4

[20] SEAMOR STEELHEAD. In: *SEAMOR MARINE* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://seamor.com/seamor-steelhead/

[21] Barracuda: ROV. In: *SHARK MARINE TECHNOLOGIES* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.sharkmarine.com/products/rovs/barracuda/

[22] Mini-ROV Guardian Powerful and highly maneuverable. In: *SUBSEA TECH* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.subsea-tech.com/mini-rov-guardian/

[23] BlueROV2. In: *BLUE ROBOTICS* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.bluerobotics.com/store/rov/bluerov2/

[24] OpenROV 2.8 Kit. In: *OPENROV* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.openrov.com/products/openrov28/

[25] Seznam přehradních nádrží v Česku. In: *Wikipedie* [online]. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_p%C5%99ehradn%C3%ADch_n%C3%A1dr%C5%BE%C3%AD_v_%C4%8Cesku#cite_ref-14

[26] PALMEIRO, Alejandro, Manuel MARTIN, Ian CROWTHER a Mark RHODES. Underwater radio frequency communications. In: *OCEANS, 2011 IEEE - Spain* [online]. IEEE Publishing, 2011, s. 1-8 [cit. 2018-04-29]. DOI: 10.1109/Oceans-Spain.2011.6003580. ISBN 978-1-4577-0086-6. Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=6003580

[27] The Future of ROV Technology-Chapter 23. , Robert D. Christ and Robert L. Wernli Sr. *The ROV Manual*. Second Edition. Oxford: Elsevier, 2014, s. 641-661. DOI: 10.1016/B978-0-08-098288-5.00023-3. ISBN 978-0-08-098288-5. Dostupné také z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080982885000233

[28] STOJANOVIC, M. a J. PREISIG. Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization. *Communications Magazine, IEEE* [online]. USA: IEEE, 2009, **47**(1), 84-89 [cit. 2018-05-2]. DOI: 10.1109/MCOM.2009.4752682. ISSN 0163-6804. Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/document/4752682/

[29] PONCELA, J., M. AGUAYO a P. OTERO. Wireless Underwater Communications. *Wireless Personal Communications* [online]. Boston: Springer US, 2012, **64**(3), 547-560 [cit. 2018-05-4]. DOI: 10.1007/s11277-012-0600-z. ISSN 0929-6212. Dostupné z: https://link-springer-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/article/10.1007/s11277-012-0600-z#citeas

[30] DONIEC, Marek, Carrick DETWEILER, Iuliu VASILESCU a Daniela RUS. Using optical communication for remote underwater robot operation. In: *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference on* [online]. IEEE Publishing, 2010, s. 4017-4022 [cit. 2018-05-4]. DOI: 10.1109/IROS.2010.5650224. ISBN 978-1-4244-6674-0. ISSN 2153-0858. Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/document/5650224/

[31] BOWEN, Andrew D, Dana R YOERGER, Chris TAYLOR, et al. *Field Trials of the Nereus Hybrid Underwater Robotic Vehicle in the Challenger Deep of the Mariana*

Trench [online]. In: . 2010 [cit. 2018-05-14]. DOI: 10.23919/OCEANS.2009.5422311. ISBN 978-1-4244-4960-6. ISSN 0197-7385. Dostupné z: https://ieeexplore.ieee.org/document/5422311/

[32] CAPOCCI, R., G. DOOLY, E. OMERDIĆ, J. COLEMAN, T. NEWE a D. TOAL. Inspection-class remotely operated vehicles-a review. *Journal of Marine Science and Engineering* [online]. MDPI, 2017, **5**(1) [cit. 2018-05-18]. DOI: 10.3390/jmse5010013. ISSN 20771312. Dostupné z: http://www.mdpi.com/2077-1312/5/1/13/htm

[33] CHAKRABORTY, Soumya. Understanding Structure Design of a Submarine. In: *Marine Insight* [online]. 30 December 2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: https://www.marineinsight.com/naval-architecture/submarine-design-structure-of-a-submarine/

[34] ROBERTSON, Ian M. MATERIALS RESEARCH LABS ASCOT VALE (AUSTRALIA). *Analytical Calculations of Fatigue Loading of Submarine Hulls*. 1990.

[35] Jaroslav Janalík. *OBTÉKÁNÍ A ODPOR TĚLES* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://docplayer.cz/20737386-Vysoka-skola-banska-technicka-univerzita-ostrava-obtekani-a-odpor-teles.html. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.

[36] T100 Thruster Documentation. In: *BLUE ROBOTICS* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: http://docs.bluerobotics.com/thrusters/

[37] DS-2CD2152F-I/4. In: *STASANET s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.stasanet.cz/Kamerove-systemy/IP-systemy/IP-technologie-Hikvision/IP-kamery-Hikvision/5Mpx-IP-kamery/DS-2CD2152F-I-4-venkovni-antivandal-dome-IP-kamera-5Mpx-f4mm-IR-30m-D-WDR-MicroSD-Hikvision.html

[38] *Ceramic pressure sensor 0-25 bar relative* [online]. In: . [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://shop.bb-sensors.com/en/Pressure-measurement/Pressure-sensors/Ceramic-pressure-sensor-0-25-bar-relative.html

[39] *Basic ESC (new R3 version)* [online]. In: . [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://www.bluerobotics.com/store/electronics/besc30-r3/

[40] *Arduino kompas HMC5883L* [online]. In: . [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/1194-arduino-kompas-hmc5883l-1456049841.html?gclid=EAIaIQobChMI6KL24OKc2wIVGmcZCh0RFgQHEAQYASABEgJ_0fD_BwE

[41] *Arduino gyroskop a akcelerometr GY-521, MPU6050* [online]. In: . [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://laskarduino.cz/vstupni-periferie-cidla/131009-3-osy-gyroskop-a-3-osy-akcelerometr-gy-521-mpu6050.html?gclid=EAIaIQobChMI1L3f2-2d2wIVBFXTCh2ZjAZ8EAQYAyABEgLRR_D_BwE

[42] Dome End Cap (4″ Series). In: *BLUE ROBOTICS* [online]. [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: https://www.bluerobotics.com/store/watertight-enclosures/4-series/wte4-p-dome-r4-rp/

12 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

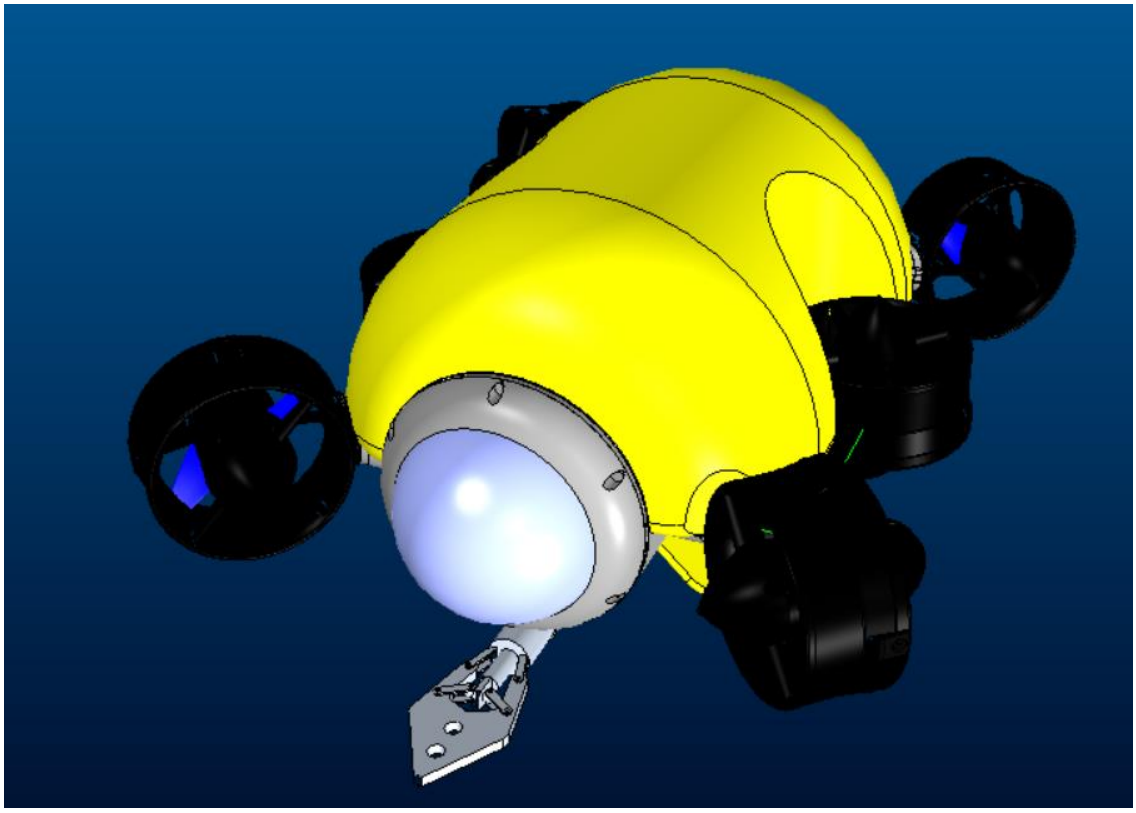
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
AUV	autonomous underwater vehicle, autonomní podvodní vozidlo
CFRP	plasty vyztužené uhlíkovými vlákny
C_x	koeficient odporu
DŘPR	dálkově řízený podvodní robot
E	modul pružnosti v tahu
F_c	celková síla
F_G	gravitační síla
F_m	tah od jednoho motoru
F_p	tah od pohonu
F_{VZ}	vztlaková síla
F_R	rozdíl sil
g	gravitační zrychlení
h	tloušťka stěny
HD	high definition vysoké rozlišení
HDPE	polyethylen s vysokou hustotou
k_k	koeficient bezpečtnosti
m	hmotnost
p	tlak
PIR	polyisokyanurát
PP	polypropylen
PUR	polyuretan
r	poloměr
ROV	remotely operated vezicle, dálkově ovládané vozidlo
S	průmět plochy
t	tloušťka stěny válce
v	rychlost
V	objem
σ	napětí
σ_{red}	redukované napětí
σ_k	mez pružnosti
ρ	hustota

13 SEZNAM PŘÍLOH

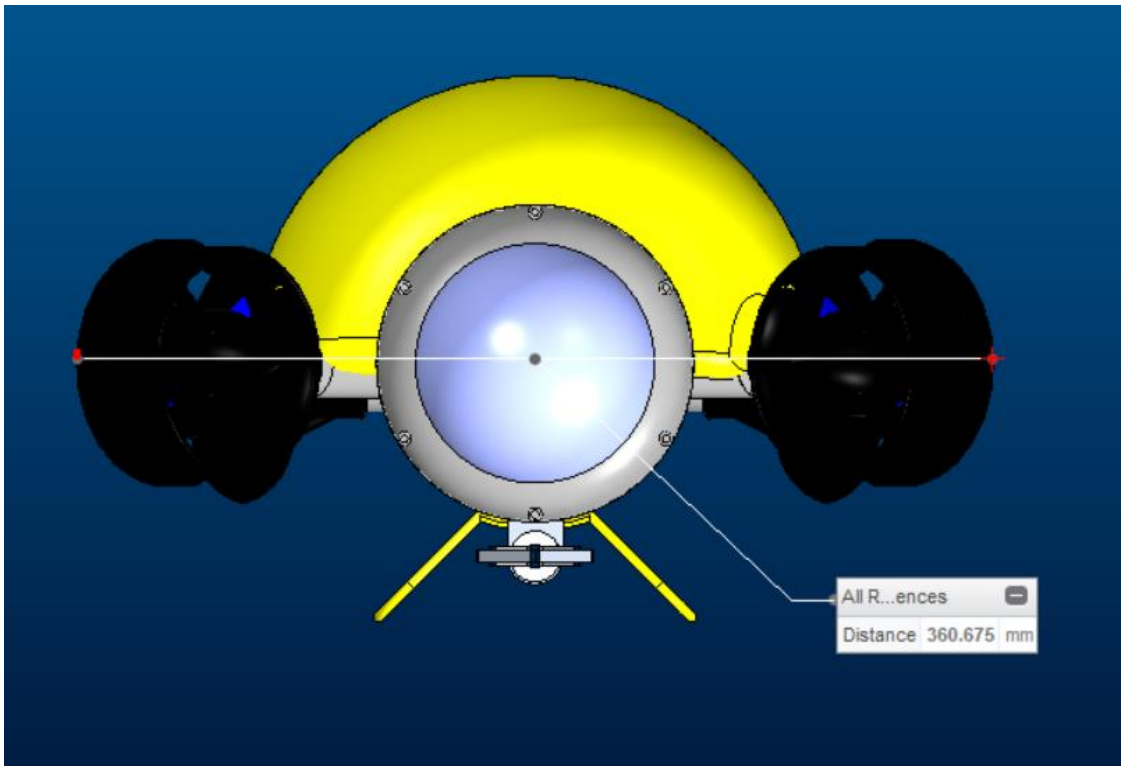
CD – obsahuje 3D model robotu z programu Creo Parametric

Zobrazení 3D modelu

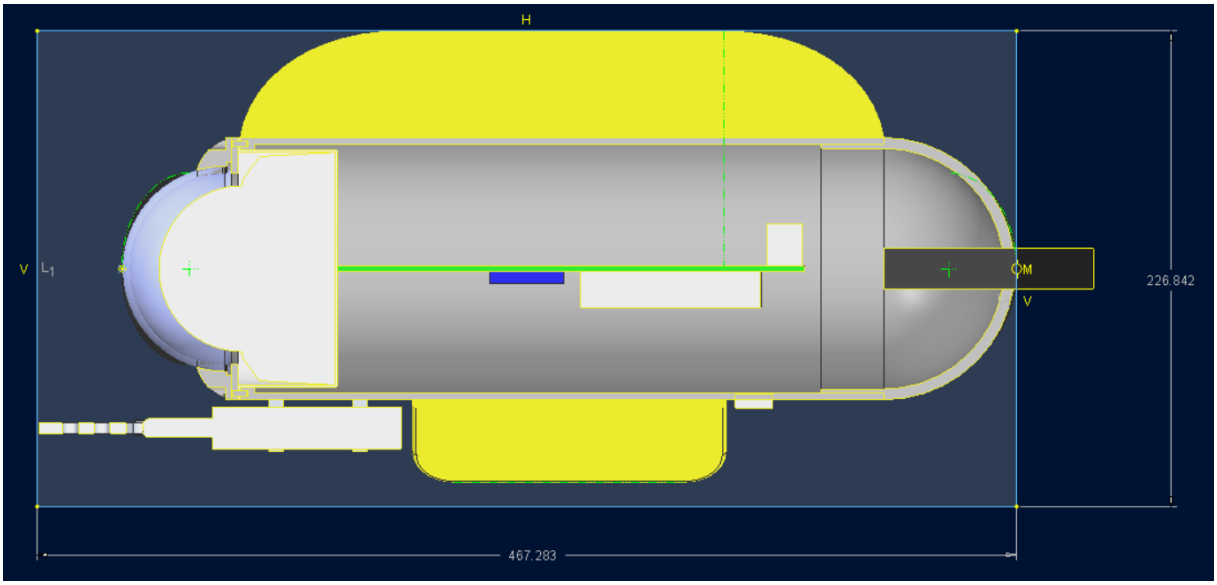
PŘÍLOHY



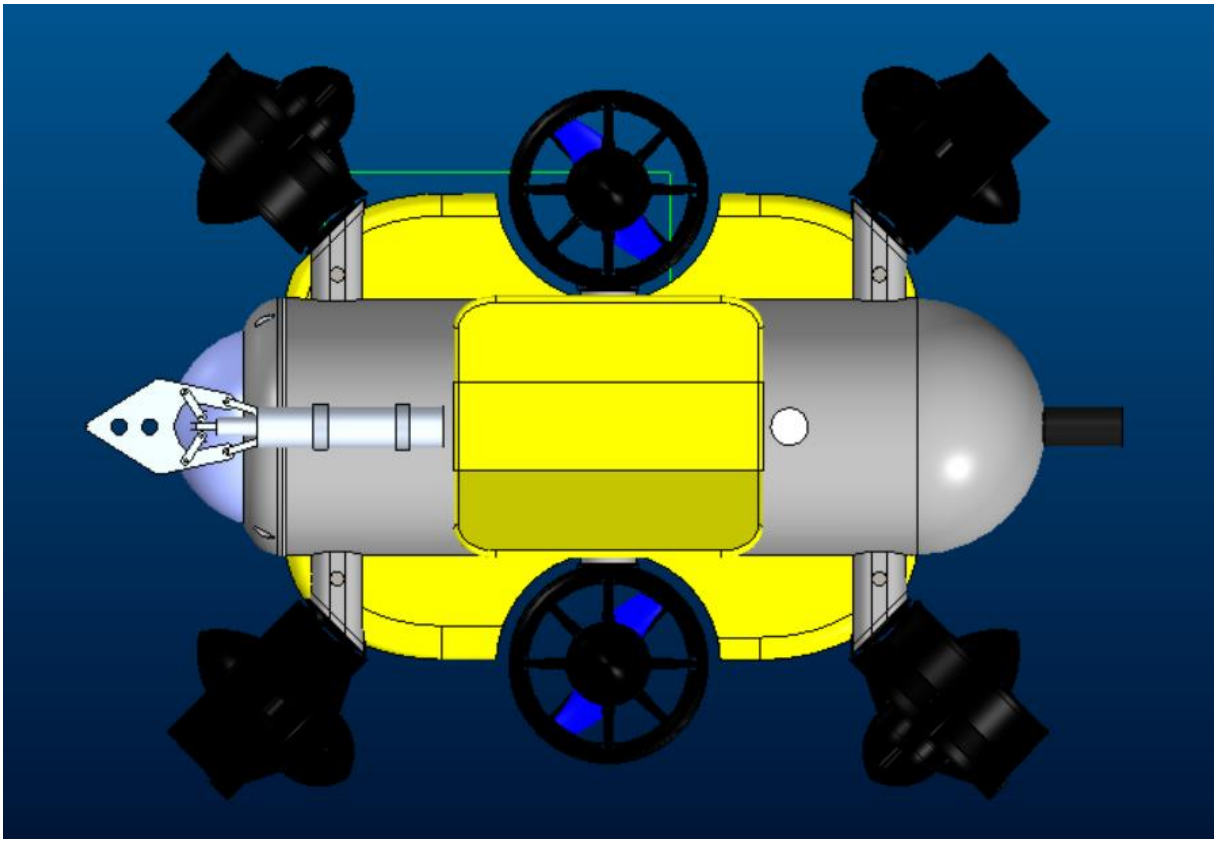
Obr. 15) 3D model



Obr. 16) Pohled zepředu



Obr. 17) Řez robotu



Obr. 18) Pohled zespodu