

Robotická ponorka

Jakub Pollák

Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology
Institute of Automation and Computer Science
Technická 2896/2, Brno 616 69, Czech Republic
211025@vutbr.cz

Abstract: *Tato práca sa zaoberá problematikou ponoriek a aplikovaním nadobudnutých poznatkov na zostrojenie káblom ovládanej ponorky na prieskum Hranickej priepasti.*

Keywords: *ROV, AUV, robot, Hranická priepať, podvodné, prieskum, ponorka, prieskumné podvodné vozidlo.*

1 Úvod

[7] [4] Hranická priepať je zaujímavou a unikátnou lokalitou v celosvetovej miere. Je to druhá najhlbšia zatopená priepať s oficiálnou hĺbkou 404m[3]. Jej konečná hĺbka nie je známa.[1] Priezkumné ponory sú evidované už od roku 1961. *Česká speleologická společnost* vyhlásila projekt s cieľom:

- Poznanie chemických a fyzikálnych vlastností vody a jej zmien v priestoroch priepaste
- Popis dynamiky prúdenia podzemnej vody v priepasti
- Oboznámiť sa s procesmi vzniku a ďalšieho vývoja priepasti
- Štúdium živej zložky Hranickej priepasti
- Posúdiť vplyv a druhy faktorov, ktoré môžu ovplyvniť kvalitatívne a kvantitatívne zmeny vody v priepasti

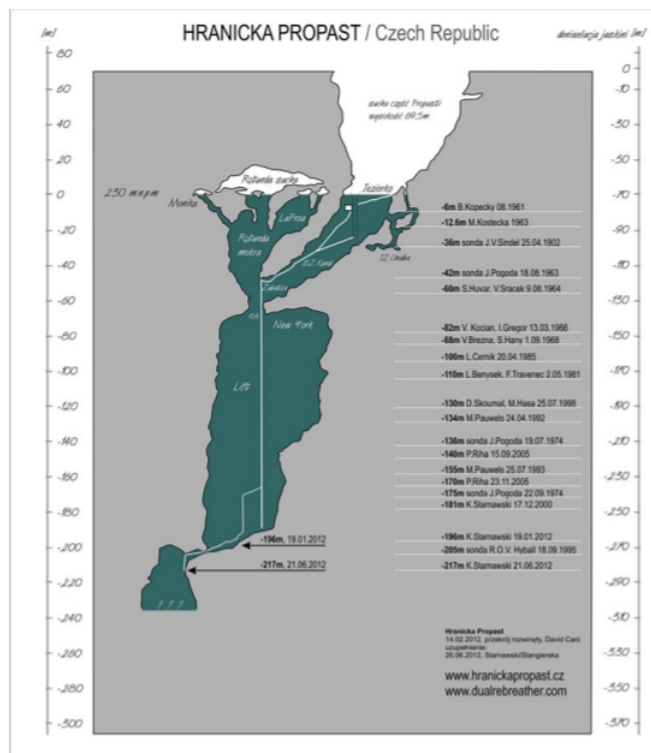


Figure 1: Tvar priepasti a rekordy ponorov [9]

2 Tvar ponorky

2.1 Prova

Plášť ponorky musí vydržať obrovský tlak a nevhodný tvar by mohol spôsobovať lokálne oslabenie, ktoré by viedlo k implózií. Sférické a oblé tvary pomáhajú tlak preniesť rovnomerne na celý trup, preto sa vo väčšine prípadov používa valcový trup, alebo sférická pretlaková miestnosť (v prípade menších ponoriek). Oblé tvary síce odolávajú tlaku, no problémom je vnútorné usporiadanie komponentov a zariadenia pre posádku. Väčšina senzorov je umiestnených v nose ponorky a jeho tvar ovplyvňuje aj hydrodynamické vlastnosti.

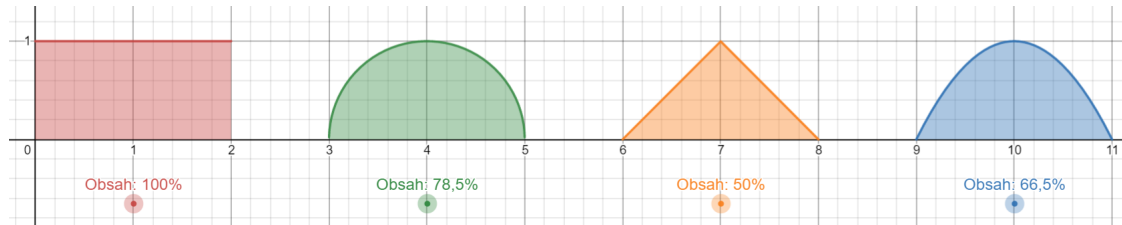


Figure 2: Na obrázku vyššie sú vyobrazené rôzne tvary provy v priereze a ich využitie obsahu

Hranatý tvar provy je nevhodný kvôli ostrým hranám, koncentrátorom napätia, ale poskytuje maximálny využiteľný objem.

Sférický (guľatý) tvar provy je ideálny voči tlaku, pričom využíva väčšinu objemu.

Kónický tvar provy je ideálny pre minimalizáciu odporu pri pohybe, čo znižuje prúdenie okolo trupu, ale má najhoršie využitie objemu a špička je geometrickou slabinou.

Paraboloidný tvar provy je kompromis medzi efektívnym využitím priestoru, minimalizáciou odporu a odolnosťou voči tlaku, preto je najpoužívanejší pri ponorkách ktoré sa pohybujú vyššími rýchlosťami.

Integrál použitý pre výpočet hranatého (1), sférického (2), kónického (3) a paraboloidného (1), obsahu prierezu provy ponorky.¹

$$\int_0^2 1 \, dx \quad (1)$$

$$\int_0^2 \sqrt{1-x^2} \, dx \quad (2)$$

$$\int_0^2 |1-x| \, dx \quad (3)$$

$$\int_0^2 1 - (x-1)^2 \, dx \quad (4)$$

2.2 Trup

[9] Prova je zložená z rotačných útvarov vďaka čomu je trup možné v prípade potreby predĺžiť valcovitou časťou. Ako boli zmienené v predchádzajúcom odstavci, kruhový tvar najlepšie odoláva tlaku a poskytuje dostatok priestoru, ktorý je však limitovaný hrúbkou plášťa. Tá záleží na maximálnej hĺbke do ktorej smie ponorka zostúpiť. Plášť je možné vystúžiť rebrami pre vyššiu tuhosť. Hmotnosť trupu a hmotnosť vody vytlačenej jeho objemom by mala byť čo naviac podobná, aby bola ponorka schopná vznášania sa v rovnakej hĺbke bez použitia motorov. V praxi to nie je možné, pretože hustota vody sa mení v závislosti na teplote, salinite ktorá je v priekope premenlivá.[8] Dĺžka kábla bude taktiež meniť hmotnosť ponorky, čo bude negatívne vplývať na pomer vztlaku a hmotnosti. Z bezpečnostného hľadiska bude mať ponorka kladný vztlak a na plášť sa pripevnia dodatočné závažia ktoré sa odhodia v prípade straty kontroly nad ponorkou. Odľahčená ponorka vypláva vyššie, do hĺbky z ktorej sa vyloví za pomoci potápačov.

¹Vypočítané a vykreslené online grafickou kalkulačkou Desmos, dostupné na: <https://www.desmos.com/calculator/ftxdgjditi>

2.3 Riadenie

Ponorká má 6 stupňov voľnosti, 3 možnosti translácie a 3 rotácie. Umiestnenie motorov vyplýva na možné pohyby a rotácie. Rotácia bude z časti obmedzená káblom, ktorý ju spája zo stanicou. Rýchlosť nie je až tak dôležitá, dôraz sa kladie na presnosť motorov pre presné pohyby, natočenie pri prieskume a na ťah v prípade zaklínienia či potreby prekonania prúdu vody.

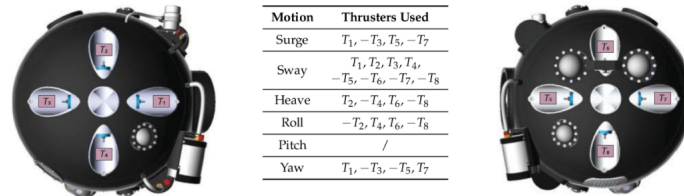


Figure 3: Schéma ovládania motorov a vplyv na ponorku [6]

8 motorov integrovaných do plášťa guľovitého tvaru umožňuje transláciu do všetkých smerov a rotáciu v dvoch osiach.²

2.4 Pohon

[10] Pohon ponorky musí byť dostatočne silný aby bol schopný ponorkou pohnúť do všetkých strán, pričom ponorka bude zo sebou ťahať kábel. Zároveň nesmú víriť vodu, čo by malo za následok uvoľnenie jemných častí podkladu a stien, čo by znížilo účinnosť sonaru a kamery. Motory samotné môže nasáť uvoľnené častíčky a zaseknúť pohon. Možné riešenie je použiť prstencové vrtule, ktoré nemajú centrálné ložisko. Vďaka tomu je menšia šanca zablokovania vrtule.³

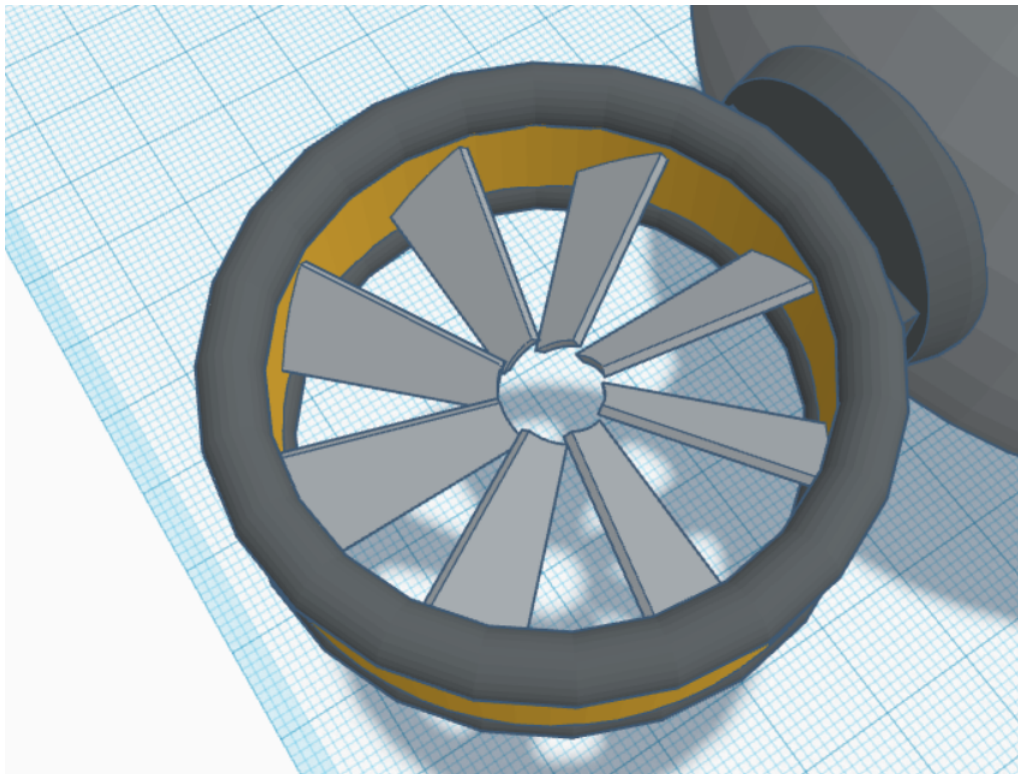


Figure 4: Rim-driver thruster

²Obrázok je z práce uverejnenej na stránke *Semantic Scholar*, ktorá má voľný prístup ku dokumentom pokiaľ sú citované: <https://www.semanticscholar.org/faq>

³Vlastný model dostupný na *TinkerCad*: <https://www.tinkercad.com/things/019E7wBMLfd-brilliant-esboo>

2.5 Senzory

Zber dát je hlavným cieľom projektu. Mnohé senzory sú relatívne malé a ich odolnosť im dovoľuje umiestnenie na vonkajšej strane trupu. Navrhované senzory:

- tlakomer pre určovanie hĺbky
- gyroskop pre určovanie natočenia a stabilizáciu
- akcelerometer pre detekciu pohybu
- sonar pre navigáciu a zber dát
- kamera pre vizuálnu navigáciu
- tachometer pre každý motor pre detekciu poruchy
- tenzometrický senzor pre meranie pnutia v lane
- teplomer a iné senzory pre určovanie kvality vody

3 Stanica

3.1 Navijak

Navijak bude spĺňať dve funkcie:

- Niešť hmotnosť káblu, čím bude napomáhať držaniu hĺbky ponorky
- V prípade nutnosti musí byť dostatočne silný aby dokázal zdvihnúť celú ponorku a s plne odvinutým káblom. Prepokladaný navijak *Marine Geophysical Winch LG-350*⁴, dokáže vytiahnuť hmotnosť až 330kg, samotný váži 150kg (bez lana) a má 4kW motor.

3.2 Kábel

Limitujúcim faktorom prieskume je aj dĺžka kábla. Ponorka bude celý čas riadená a napájaná pomocou kábla s dĺžkou 560m pri priemere \varnothing 9.3 mm. Max sila v ťahu je 10kN. Váha kábla by nemala prekročiť 100kg.

3.3 Zdroj energie

Zdrojom energie by mohla byť dostatočne výkonná centrála: mobilný spaľovací generátor⁵. Generátor je schopný produkovať 5kW nepretržite a 5.5kW maximálne po obmedzenú dobu. Tento výkon by mal zaručovať plnú silu navijaku a používanie motorov na ponorke v prípade pokusu o uvoľnenie zaklínenej ponorky.

3.4 Dodatočná výbava

Do tejto kategórie patria všetky komponenty nutné ku chodu všetkých systémov ponorky a funkcie riadiacej stanice:

- meniče napätia
- regulátory pre motory
- elektronika pre senzory
- vozík pre transport vybavenia
- a iné

⁴<http://www.marinegeoservice.com/Winches-LG-350.html>

⁵<https://cz.hecht.cz/jednofazovy-generator-elektriny-hecht-gg-6500>

4 Transport

Všetku výbavu, personál a ponorku samotnú je treba na miesto doniesť. Všetky komponenty by malo byť možné preniesť a rozložiť za pomoci ľudskej sily.

Table 1: Celková predpokladaná hmotnosť

Názov	hmotnosť
Ponorka	max 100 kg
Lano	max 100 kg
Navijak	150 kg
Generátor	90 kg
Dodatočná výbava	60 kg
Celkovo	500 kg

5 Zhrnutie

Projekt ponorky je vo fáze plánovania a zháňania pracovnej sily a prostriedkov. Táto práca slúži ako ukážka projektu. [2][5] Zatiaľ sa môžeme inšpirovať a poučiť s pokroku a chýb ostatných tímov ktorý sa pokúsili o prieskum. Je dostupná aj online galéria: <https://www.idnes.cz/olomouc/zpravy>

References

- [1] IDNES.CZ. Hranická propast je kilometr hluboká. nový výzkum zpochybnil, jak vznikla, Sep 2020.
- [2] IDNES.CZ. Pet let od rekordu se do hranické propasti znovu chystá robot, Sep 2021.
- [3] JORDÁNOVÁ, A. Hranická propast. lidstvo se na její dno nedokázalo potopit, Dec 2021.
- [4] KLANICA, R. Jak vznikla a jak je hluboká hranická propast? - geofyzikální ústav akademie věd ČR, v.v.i., May 2021.
- [5] KOUBEK, V. Dno hranické propasti je stále vněhlednu: Změní to polský robot?, Jan 2022.
- [6] MILOVSEVIĆ, Z., FERNÁNDEZ, R. A. S., DOMINGUEZ, S., AND ROSSI, C. Guidance for autonomous underwater vehicles in confined semistructured environments †. *Sensors (Basel, Switzerland)* 20 (2020).
- [7] VYSOKÁ, H. Speleo.
- [8] VYSOKÁ, H., BRUTHANS, J., FALTEISEK, L., ŽÁK, K., RUKAVIČKOVÁ, L., HOLEČEK, J., SCHWEIGSTILLOVÁ, J., AND OSTER, H. Hydrogeology of the deepest underwater cave in the world: Hranice abyss, czechia. *Hydrogeology journal* 27, 7 (2019), 2325–2345.
- [9] VÁLEK, Z. Návrh robotu pro průzkum pod vodou, 2009.
- [10] VÁLEK, Z. Řízení robotu pro průzkum pod vodou, 2013.