

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 4: Biologie, geografie a geologie

Návrh studia etologie mořských želv pomocí DIY trackeru za účelem zefektivnění jejich ochrany

Barbora Milfaitová, Pavel Teplý
Pardubický kraj

Pardubice 2025

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 4: Biologie, geografie a geologie

Návrh studia etologie mořských želv pomocí DIY trackeru za účelem zefektivnění jejich ochrany

Suggestion to study the ethology of sea turtles using a DIY tracker to make their conservation more effective

Autoři: Barbora Milfaitová, Pavel Teplý

Škola: AGYS – Anglické gymnázium a Střední odborná škola, s.r.o.,
Gorkého 867, 530 02 Pardubice, SPŠE a VOŠ Pardubice, Karla IV.
13, 530 02 Pardubice

Kraj: Pardubický

Konzultant: Mgr. Lenka Příplatová, Ph.D., Mgr. Alexandr Prokop,
Mgr. Hana Svobodová, Ing. Jan Pidanič, Ph.D.

Pardubice 2025

Prohlášení

Prohlašujeme, že jsme svou práci SOČ vypracovali samostatně a použili jsme pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašujeme, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemáme závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Pardubicích dne 04. 03. 2025.....

Barbora Milfaitová, Pavel Teplý

Poděkování

Na tomto místě bychom srdečně chtěli poděkovat našim konzultantům, bez kterých by provedení této práce nebylo možné. Mgr. Alexandr Prokop a Mgr. Lenka Příplatová, Ph.D. nám velice pomohli s psaním a formátováním naší práce. Široký odborný záměr nám poskytli Mgr. Hana Svobodová a Ing. Jan Pidanič, Ph.D.

Dále bychom chtěli poděkovat Danuši Kubátové za natočení a sestříhání videa s prezentací a Paulovi Charles Hooperovi, BA., Dip. Ed. Za poskytnutí kontaktů a podpory. Také děkujeme našim skvělým přátelům a rodině za jejich neustávající podporu a našim učitelům za jejich ohleduplnost.

Moc Vám děkujeme.

Anotace

Tato práce se zabývá návrhem nízkonákladového DIY trackeru pro studium etologie mořských želv s cílem zefektivnit jejich ochranu. Autoři shrnují ekologii mořských želv, analyzují současné metody biomonitoringu a navrhují vlastní řešení založené na technologii LoRaWAN. Práce kombinuje teoretický výzkum s praktickým vývojem prototypu trackeru, který splňuje požadavky na cenu (<175 \$), nízkou spotřebu energie a funkčnost v náročných podmínkách. Projekt je zaměřen na porovnání vitality želv z volné přírody a záchranných stanic na Srí Lance, přičemž terénní testování je plánováno na jaro 2026.

Klíčová slova

mořské želvy; biomonitoring; DIY tracker; LoRaWAN; ochrana přírody

Annotation

This thesis focuses on the design of a low-cost DIY tracker for studying the ethology of sea turtles so as to improve their conservation. The authors summarise the ecology of sea turtles, analyze current biomonitoring methods, and propose their own solution based on LoRaWAN technology. The project aims to compare the fitness of turtles from the wild with those from rescue centers in Sri Lanka. Field testing planned for spring 2026. The work combines theoretical research with the practical development of a prototype tracker that meets requirements for cost (<\$175). The tracker must also have low energy consumption and function efficiently in challenging conditions.

Keywords

sea turtles; biomonitoring; DIY tracker; LoRaWAN; conservation

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Mořské želvy a jejich ekologie	8
2.1	Životní cyklus	12
2.2	Ohrožení a ochrana mořských želv	13
3	Monitoring mořských želv a jiných živočichů	15
3.1	Možnosti využití monitoringu u mořských želv a jiných mořských živočichů.....	16
3.1.1	Individuální pohyb	18
3.1.2	Vnitřní stav	19
3.1.3	Predátor–kořist interakce	19
3.1.4	Sociální interakce.....	20
3.1.5	Oceánografické rozměry	20
3.1.6	Vliv změny klimatu	20
3.1.7	Vliv člověka a ochrana	20
3.2	Přehled nejpoužívanějších metod a technologií.....	21
3.2.1	Global Positioning System (GPS).....	21
3.2.2	Collect Localisation satellite (CLS).....	21
3.2.3	Geolokační Systém (GLS)	21
3.2.4	Akustické polohovací systémy	22
3.2.5	Videokamery	22
3.2.6	Akcelerometry a gyroskopy	22
3.2.7	TDR – Time-Depth Recorders.....	22
3.2.8	Elektrokardiogramy (ECG) a elektroencefalogramy (EEG)	22
3.3	Přenos dat.....	23
3.3.1	SigFox.....	23
3.3.2	SymphonyLink (Semtech)	24
3.3.3	LoRa a LoRaWAN Technologie	24
4	Vyhodnocování dat	24
5	Praktická část	25
5.1	Metodika	25
5.1.1	Vyhledávání relevantní literatury	25
5.1.2	Omezení a vliv dostupnosti literatury	25
5.1.3	Analýza a zpracování informací	26

5.1.4	Metodika vývoje DIY biomonitorovacího zařízení	27
5.2	Výsledky rešerše odborné literatury monitoringu mořských želv	28
5.3	Výsledky vývoje DIY monitorovacího systému (tzv. Turtle Trackeru Tc1 dále 3Tc1) 29	
5.3.1	GNSS Lora tracker - 3Tc1_želva (Lora End Node)	30
	Komunikace jednotlivých modulů a napájení trackeru	31
5.3.2	LoRaWAN brána – 3Tc1_brána (Lora Gateway).....	32
5.3.3	Testování.....	34
5.3.4	Další vývoj DIY monitorovacího systému	34
6	Závěr a diskuze	35
	Použitá literatura	36
	Seznam obrázků a tabulek	41
7	přílohy.....	42
7.1	Podrobnosti k použitému softwaru a hardwaru	42
7.1.1	Arduino IDE	42
7.1.2	LoRa Gateway project	42
7.1.3	Platforma Akenza	42
7.2	Důvody vybraného HW	43
7.2.1	GPS tracker: LilyGO TTGO T-Beam v1.2.....	43
	Zařízení obsahuje:.....	43
7.2.2	HW-290 (IMU)	43
	Zařízení obsahuje:.....	43
7.2.3	Raspberry Pi 4B	44
7.2.4	SX1302 LoRaWAN Gateway HAT	44
7.2.5	PMU jednotka (Power Management Unit)	45
7.2.6	LTE 4G modul A7670E.....	45
7.2.7	Detektor hladiny (na bázi TDS senzoru)	45
7.3	Podrobné Shrnutí klíčových parametrů monitorovacího zařízení 3Tc1_želva (Lora End Node).....	46

1 ÚVOD

Příroda je naším domovem, vše, co je kolem nás, i my sami, z ní pochází. A proto je ji potřeba chránit. Důležitou součástí přírody je biodiverzita, každé zvíře, rostlina i organismus má svou důležitou roli a ta se jen zřídka dá nahradit. Harmonie a rovnováha jsou stěžejními prvky pro celý systém, a když je tato rovnováha nepřírozeně narušena, může to mít až hrozné následky. Mořské želvy jsou základním kamenem oceánské biodiverzity, a na jejich přežití závisí vitalita celého oceánu.

V hinduistické víře, běžné v oblastech na želvy zaměřených ochranných projektů, existuje přesvědčení, že svět spočívá na zádech želvy, která proplová vesmírem. V některých verzích této legendy dokonce želva nese na svém krunýři čtyři slony, kteří drží svět. Mořské želvy jsou navíc považovány za posvátné, neboť jsou vnímány jako druhé vtělení boha Višnu. Tato víra ukazuje, jak hluboce jsou želvy spojeny s lidským chápáním světa a přírody (Rajagopalan, 1984).

My, jako lidé jsme velkým faktorem ovlivňujícím jejich život, v mnoha směrech. Jsme hlavní příčinou úpadku jejich populace, ale také právě díky vědcům, ochranářům, dobrovolníkům, i běžným lidem se podařilo zachránit jejich populaci před celkovým vyhynutím. Avšak nastal čas, abychom se zamysleli nad efektivitou kroků, jež podnikáme pro záchranu těchto krásných tvorů. Projekt, kterému tato práce slouží jako podklad, se zaměřuje na tuto problematiku, konkrétně na záchranné stanice na Srí Lance, které fungují spíše jako zisková turistická centra. Hlavní obavou je, že tato centra neposkytují želvám zcela adekvátní péči, kterou potřebují k správnému začlenění do oceánského koloběhu.

Cílem této práce je představit a přiblížit životy mořských želv a dále na základě důkladné rešerše a odborného porovnání zjistit možnosti a vybrat nebo navrhnout sestavení co nejlepšího zařízení na trackování želv pro navazující projekt. Ten se bude zabývat porovnáním vitality mořských želv z volné přírody a z již zmíněných záchranných stanic pomocí monitorování jejich stavu ve volné přírodě.

2 MOŘSKÉ ŽELVY A JEJICH EKOLOGIE

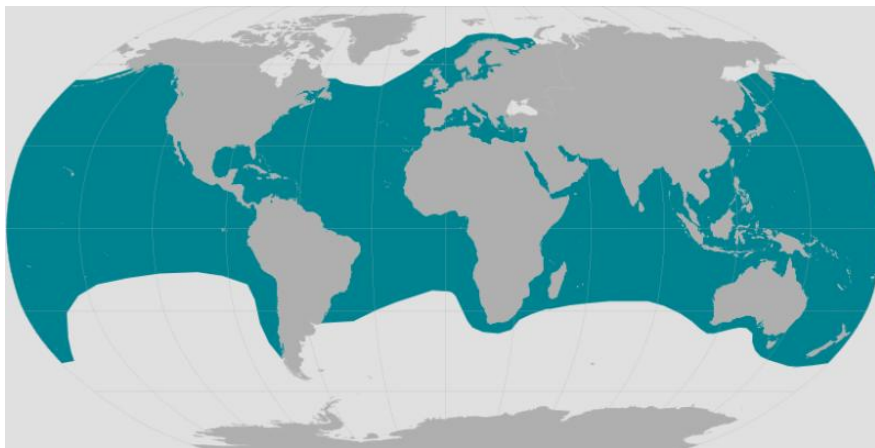
Mořské želvy jsou fascinující skupinou plazů, která Zemi obývá více než 100 milionů let. Tito ušlechtilí tvorové jsou známí pro své výjimečné navigační schopnosti a periodické migrace. V současnosti známe sedm druhů a dělíme je do dvou čeledí.

První čeledí, a to s pouze jedním zástupcem, je čeleď Dermochelyiidae. Je jím kožatka velká (*Dermochelys coricea*), která je také i největším zástupcem z obou čeledí.

V druhé čeledi s názvem Cheloniidae najdeme šest zbylých druhů: kareta obrovská (*Chelonia mydas*), kareta pravá (*Eretmochelys imbricata*), kareta obecná (*Caretta caretta*), kareta australská (*Natador depressus*), kareta zelenavá (*Lepidochelys olivacea*) a kareta menší (*Lepidochelys kempii*) (Bowen and Karl, 2007).

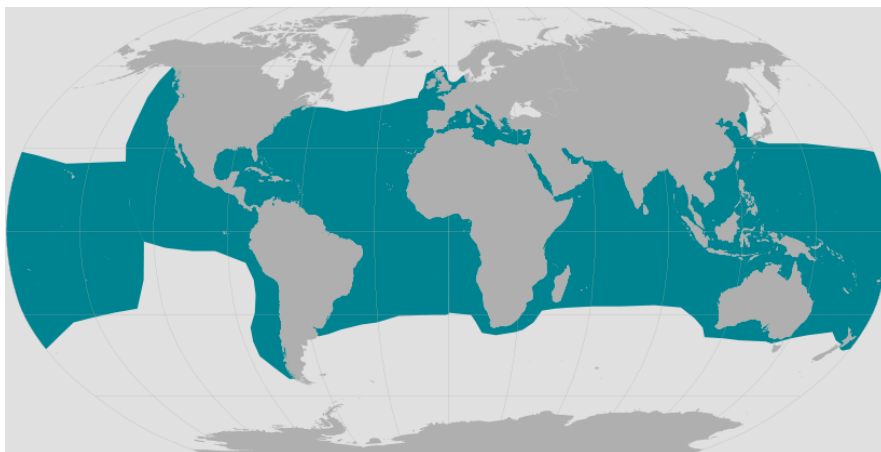
Kožatka velká (*Dermochelys coricea*) – Jak už bylo zmíněno, tento druh mořské želvy patří mezi giganty a je největší želvou na světě. Samci mohou dosáhnout délky až 198 cm

a hmotnosti 907 kg. Čím se liší tato želva z čeledi Dermochelyiidae, je její krunýř, který je pokryt tenkou vrstvou elastické kůže. Její strava je převážně založená na požívání medúz a dalších hlubokomořských, bezobratlých organismů. Hloubka ponoru těchto želv se může srovnávat s ponornou hloubkou plejtváků obrovských (*Balaenoptera musculus*). Kožatky velké mají rozsah přes všechny oceány, kromě Arktidy a Antarktidy (Spotila, 2004).



Obrázek č. 1: Světová mapa znázorňující přibližný výskyt kožatky velké. Zdroj: NOAA Fisheries, 2024

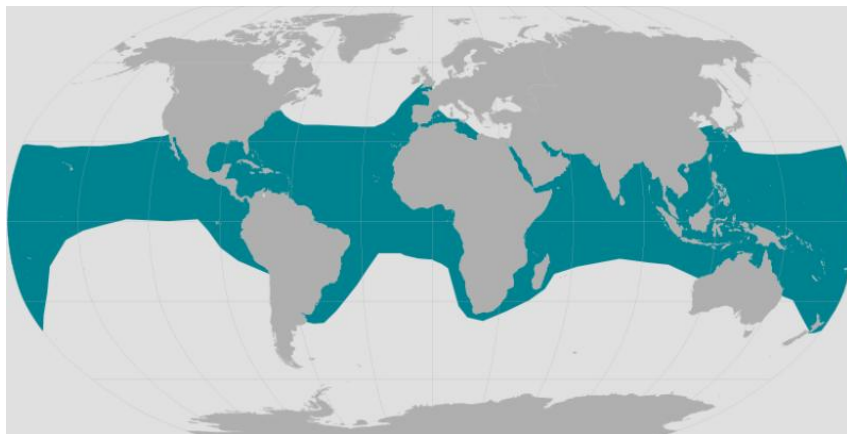
Kareta obrovská (*Chelonia mydas*) – Jedinci tohoto druhu mohou mít délku krunýře od 80 po 122 cm s váhou 65 až 204 kg. Zajímavostí této želvy je barva jejího podkožního tuku, jenž je zelený (Spotila, 2004). Díky této charakteristice se v angličtině nazývá green sea turtle. Další nezvyklostí je, že se preference jejího jídelníčku mění, v dospívání jsou spíše všežravé (Chambault et al., 2020), zatímco v dospělosti býložravé a živí se primárně mořskými travinami a chaluhami (Spotila, 2004).



Obrázek č. 2: Světová mapa znázorňující přibližný výskyt karety obrovské. Zdroj: NOAA Fisheries, 2024

Kareta pravá (*Eretmochelys imbricata*) – Životem v blízkosti korálových útesů si tento druh vyvinul silně zahnutý zobák, jenž slouží k usnadnění konzumace mořských hub. Mnoho korálových útesů je přímo závislých na stravovacích návycích karety pravé, která hraje esenciální roli v udržování zdraví těchto unikátních ekosystémů. Kareta pravá s váhou 43–75 kg obývá oceány tropického pásu (Spotila, 2004) a byla u ní pozorována lehká teritoriálnost

(Wood et al., 2017). S neobyčejně krásným krunýřem dosahujícím délky až 88 cm byly tyto želvy loveny, a leckde stále jsou, převážně právě kvůli želvovině, což zavinilo silný pokles počtu jedinců v populaci (Spotila, 2004), která je teď v kritickém ohrožení (The IUCN Red List of Threatened Species™, 2024-2).



Obrázek č. 3: Světová mapa znázorňující přibližný výskyt karety pravé. Zdroj: NOAA Fisheries, 2024

Kareta obecná (*Caretta caretta*) – S délkou krunýře 85–88 cm a váhou do 75 kg, převážně dravá kareta obecná je nenahraditelnou součástí subtropických a tropických oceánů. Slouží jako “převozník” mnoha živočichů a také jako stálý plovoucí domov mnoha organismů žijících na útesech. Tyto želvy se pyšní mohutnými čelistmi, které používají k rozdrčení například koryšů, surmovkovitých a škeblí (Spotila, 2004), další jejich oblíbenou stravou jsou také pérovníci (Plotkin et al, 1993). Své silné čelisti se nebojí použít ani ke svojí obranně (Spotila, 2004).



Obrázek č. 4: Světová mapa znázorňující přibližný výskyt karety obecné. Zdroj: NOAA Fisheries, 2024

Kareta australská (*Natador depressus*) – O této želvě je nám pravděpodobně známo nejméně informací ze všech druhů, a to zejména kvůli odlehlosti jejího přirozeného prostředí. Vyskytují se v tropických vodách Austrálie a většina jejich hnízdišť je vzdálená a neprozkoumaná. Živí se medúzami, pérovníky a dalšími benthickými bezobratlými organismy. Je to nejrychleji rostoucí druh mořských želv dosahující 99 cm a 90 kg, v porovnání s ostatními má největší velikost vajec však nejmenší počet (Spotila, 2004).



Obrázek č. 5: Světová mapa znázorňující přibližný výskyt karety australské. Zdroj: Úprava mapy Eliškou Rydlovou pro získání výskytu karety australské z NOAA Fisheries, 2024

Kareta zelenavá (*Lepidochelys olivacea*) – Fenomén přírody, který jen potvrzuje výjimečnost těchto plazů. Tyto želvy dosahují velikosti 55–76 cm a váhy 36–43 kg, jejich hlavní strava se skládá z korýšů, měkkýšů a řas (Spotila, 2004). Dospělé samice karety zelenavé se v období hnízdění vydávají na souš ve velkých skupinách. Těmto skupinám se přezdívá *arribada*, španělsky příchod. Tento druh je jeden ze dvou na světě, u kterých bylo toto neobvyklé chování zaznamenáno. Je to nádherný úkaz, při němž se pláž začne hemžit životem. Bohužel zvířata a lidé zde většinou nejsou, aby se pokochali neobyčejnou podívanou. Arribady jsou otevřenou hostinou pro predátory všeho druhu, kteří využívají zranitelné pozice samic i vajec. Mezi tyto predátory patří i lidé, již nadměrným lovem samic a sběrem vajec narušují přírodní rovnováhu. Předpokládá se, že původně byly arribady vyvinuty jako obranná strategie proti predátorům. Vzhledem k velkému počtu želv se predátoři nasytí a pořád zbyde dost vajíček na zajištění nové generace. Rapidní vzrůst lidské populace však učinil tuto strategii neúčinnou (SWOT Report, Vol. XVI., 2021). I přes všechny různé překážky jsou tyto želvy nejpočetnějším druhem mořských želv, to ovšem neznamená, že je jejich počet velký.



Obrázek č. 6: Světová mapa znázorňující přibližný výskyt karety zelenavé. Zdroj: NOAA Fisheries, 2024

Kareta menší (*Lepidochelys kempii*) – Primárně se vyskytující v Mexickém zálivu je nejmenším zástupcem mořských želv. Jedná se o kriticky ohrožený druh, který, jako kareta zelenavá, hnízdí v arribadách. Délka jejich krunýře dosahuje až 76 cm a vážit mohou až 45 kg. Živí se převážně korýši, škeblemi a surmovkovitými. Populace karet menších výrazně klesla od roku 1947, kdy byla pořízena nahrávka mladým pilotem Andrésem Herrerou, který se vydal za pověstmi o “mýtických” arribadách v Rancho Nuevo. Na nahrávce je zachycena arribada v Rancho Nuevo, kde je odhadovaný počet hnízdících karet menších 40 000. V roce 1960 byla nahrávka spatřena někým jiným než pouze Herrerovou rodinou a jeho přáteli, byl to mořský biolog Dr. Henry Hildebrand, který později, roku 1961, promítl video na každoročním letním setkání Americké společnosti ichtyologů a herpetologů na Texaské univerzitě v Austinu (Spotila, 2004). Bohužel, i přes všechny snahy tamní vlády je kareta menší jedním z nejohroženějších druhů želv na světě (The IUCN Red List of Threatened Species™, 2024-2) (Spotila, 2004).



Obrázek č. 7: Světová mapa znázorňující přibližný výskyt karety menší. Zdroj: NOAA Fisheries, 2024

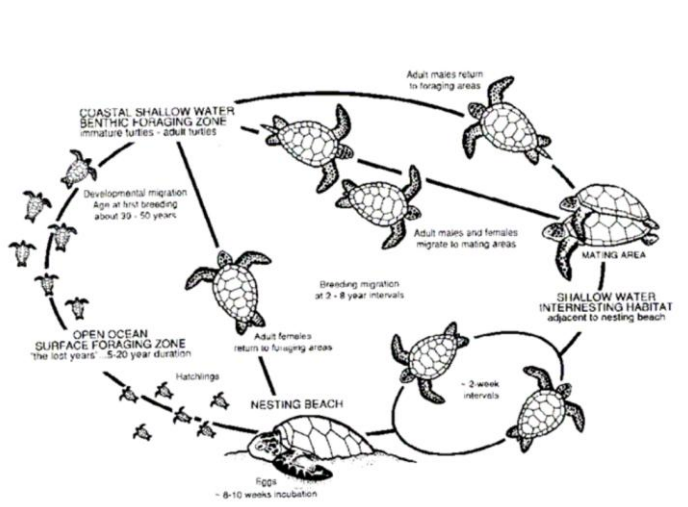
V této práci se zaměřuji pouze na čtyři druhy mořských želv z čeledi Cheloniidae, které se vyskytují v oblasti Indo-Pacifiku, konkrétně v oblasti Srí Lanky, což jsou: kareta obrovská, kareta pravá, kareta obecná a kareta zelenavá. Důvod vyčlenění kožatky velké z výběru, přesto, že se částečně pohybuje v dané lokaci, je nízký výskyt jejího druhu a také to, že její mláďata nejsou uchovávaná v záchranných centrech, na která se zaměřujeme.

2.1 Životní cyklus

Želvy, jako vejcorodý druh, kladou kožovitá vajíčka o velikosti golfového míčku do hlubokých písčitých jam. Inkubační doba se pohybuje od 45 dní na slunci při minimálním počtu dešťů až do 70 dní ve stínu nebo v období dešťů. Teplota ovládá více než jen dobu trvání inkubace, ovlivňuje také pohlaví mláděte. Např. při 28 °C se u mláďat karet obrovských z vajíček vylíhnou samci a při 31 °C samice (Spotila, 2004).

Cyklus mořských želv zahrnuje dvě období mezi vylíhnutím a pohlavní dospělostí; ta můžeme popsat jako juvenilní a subadultní (Bowen and Karl, 2007). Po vylíhnutí se želvy usilovně snaží dostat ven z písku na povrch, pokud se ale vylíhnou za denního světla, vycítí, že je okolí příliš horké a tak musí vyčkat zahrabané do večera, aby je horký písek nespálil. Když jsou připraveny, čeká je důležitá cesta z hnízda do moře; ta je však velice nebezpečná. Musí se co nejrychleji dostat do moře, než je spatří predátoři, jimiž mohou být prasata, divocí psi, krabi, nosáli nebo také kvakoši (Spotila, 2004). Po rychlé, avšak náročné cestě do oceánu želvy započnou své juvenilní období, které se také nazývá jako ztracená léta (Bowen and Karl, 2007). Takto toto období nazval Archie Carr, který je považován za otce biologie mořských želv a jejich ochrany (Spotila, 2004). Poté následuje subadultní období, které želvy tráví v neritické zóně (Bowen and Karl, 2007) spíše u dna (Meylan et al., 2011). Tam zůstávají přibližně deset let, než dosáhnou dospělosti.

Výjimkou pro tento životní cyklus mořských želv je kožatka velká, o jejím dospívajícím stádiu toho však není tolik známo, a kareta australská, která, jak už bylo zmíněno, se pohybuje pouze v okolí Austrálie. Je všeobecně známo, že se samice želv vrací na pláž svého vylíhnutí naklást vajíčka po dosažení své dospělosti každých 2-4 let (Bowen and Karl, 2007). Tento fenomén byl jeden z prvních poznatků studií na počátku tagování mořských želv z let 1950–1960 průkopníkem ochrany životního prostředí Archiem Carrem, jehož specializací byly karety obrovské (Davis, 2007).



Obrázek č. 8: Obecný životní cyklus mořských želv – podrobný popis viz text. Zdroj: Miller 1996 ex Storch 2003

2.2 Ohrožení a ochrana mořských želv

Dříve, v roce 1503, když Kryštof Kolumbus objevil Kajmanské ostrovy, předpokládaný počet mořských želv byl v řádech stovek milionů. Bohužel díky následkům častého a frekventovaného lovu želv a rybolovu jejich populace výrazně klesla (Spotila, 2004). Momentálně jsou mořské želvy zapsány na Červeném seznamu ohrožených druhů IUCN jako zranitelné nebo až kriticky ohrožené s klesající populací (The IUCN Red List of Threatened Species™, 2024-2).

Situace je pro želvy nejpriznivější v Atlantském oceánu, kde již probíhá ochrana na plážích. V Tichém oceánu populace exponenciálně klesají a v Indickém oceánu na mnoha místech již zcela vymizely (Svobodová, 2008). Mezi hlavní příčiny úbytku populace mořských želv patří komerční rybolov, znečištění oceánů, ztráta hnízdišť a změny klimatu. Komerční rybolov představuje významnou hrozbu, zejména tzv. nechtěným odlovem (bycatch), kdy jsou želvy nechtěně chyceny do rybářských sítí a na rybářské háky. Tento jev je obzvláště častý při lovu tuňáků a krevet (Stašová, 2020). Metody pro snížení tohoto rizika, které účinně pomáhají záchraně želv jsou zařízení pro uvolnění želv z rybářských sítí (TEDs), které významně snižují bycatch (Spotila, 2004). Tyto technologické inovace jsou již v mnoha zemích a zachraňují tím značné množství želv (Bhowmik et al, 2025) a to převážně díky legislativě USA (Rakotoson, 2007). Bohužel ne vždy jsou tato opatření dodržována (Seaspiracy, 2021). Znečištění oceánů, zejména plasty, je také závažným problémem. Želvy si často zaměňují plasty za medúzy, což vede k obturaci trávicího traktu a následné podvýživě, případně smrti. Ropné skvrny a chemické znečištění také poškozují jejich zdraví a reprodukční schopnosti (Svobodová, 2008).

Ztráta hnízdišť je dalším kritickým faktorem. Urbanizace pobřežních oblastí, výstavba hotelů a turistická infrastruktura ničí přirozená hnízdiště želv. Eroze pláží způsobená změnami klimatu dále zhoršuje dostupnost vhodných míst pro kladení vajec (Stašová, 2020). Zvyšování hladiny moří a častější bouře ničí hnízdní pláže, to ohrožuje úspěšné rozmnožování želv. Z tohoto důvodu je potřeba zvýšení monitorování hnízdišť a ochrany hnízd před predátory, stejně jako regulaci umělého osvětlení na plážích, aby nedocházelo k dezorientaci mláďat (Svobodová, 2008). Mláďata se totiž po vylíhnutí primárně orientují podle světla, obzor nad mořem bývá světlejší (Spotila, 2004). Klimatické změny mají také přímý dopad na pohlavní rovnováhu u mořských želv. Jak už bylo zmíněno teplota písku na hnízdních plážích určuje pohlaví embryí, a vyšší teploty vedou k převaze samic. Mgr. Hana Svobodová (2008) také upozorňuje, že změny v teplotě vody ovlivňují migrační vzorce a dostupnost potravy, což dále komplikuje přežití želv.

Vzdělávání hraje klíčovou roli v ochraně mořských želv. Vzdělávací kampaně zaměřené na místní komunity a turisty jsou důležité pro snížení negativního dopadu lidské činnosti. Programy zaměřené na děti a školy jsou obzvláště účinné (Stašová, 2020). Mgr. Hana Svobodová (2008) dodává, že zapojení veřejnosti do ochrannářských aktivit, jako je monitoring hnízd a účast na záchranných operacích, zvyšuje povědomí o ohrožení želv.

Mezinárodní spolupráce je nezbytná pro efektivní ochranu mořských želv. Jedním z velice důležitých opatření je vytváření mořských chráněných oblastí (MPAs), které omezují rybolov a další lidské aktivity, což umožňuje obnovu populací. Úmluva o mezinárodním obchodu s ohroženými druhy (CITES) a další mezinárodní dohody regulují obchod se želvami a jejich produkty, jako jsou vejce, maso a krunýře (Stašová, 2020). Ovšem je důležité zmínit, že i přes tato opatření, nelegální lov a obchod se želvami, jejich vejci a krunýři stále přetrvává, což dále zhoršuje situaci. Je také potřebné zdůraznit význam vědeckého výzkumu a satelitního sledování, které pomáhají pochopit migrační trasy a chování želv, což je klíčové pro správně mířenou ochranu (Svobodová, 2008).

Záchranné programy a rehabilitační centra, která poskytují péči zraněným nebo nemocným želvám a po uzdravení je vracejí do volné přírody, také velice napomáhají udržování želví populace (Svobodová, 2008). Existují záchranné programy, které používají metodu headstartingu. Tato metoda funguje na principu sběru vajec z hnízdních pláží, které nejsou chráněné a vejce jsou pak přemístěna do líhní, kde jsou chráněna před predátory a zaplavením (Stašová, 2020). Postupem let, jak počet těchto záchranných stanic roste, se z některých líhní stal spíše lukrativní obchod se zaměřením na turismus. Některé z nich fungují pouze v době turistické sezóny (Tisdell and Wilson, 2003). Mláďata by měla být vypuštěna ihned po vylihnutí, za což si turisté mohou zaplatit, bohužel se to koná většinou za horkého dne, a to může mít pro želvičky i fatální následky. Avšak ani okamžité vypuštění po vylihnutí není pravidlem. Stává se, že si centra želvy nechávají déle, v malých bazénech po dobu 9 až 12 měsíců, jako atrakci pro turisty. To může výrazně ovlivnit jejich zdravotní stav. Předpokládané následky jsou: nedovyvinutí svalů a plic z důvodu malé velikosti a hloubky bazénků. Také se předpokládá, že když jsou v bazénech déle než 48 h, ztrácejí instinkt migrovat a vracet se na rodnou pláž. Želvy si také mohou zafixovat člověka jako zdroj potravy, nemluvě o tom, že v centrech jim většinou není ani podávána jejich přirozená strava (Stašová, 2020). Hlavně z tohoto důvodu se snažíme upozornit na tento problém a potvrdit, či vyvrátit následky tohoto zacházení.

Druh	Stupeň ohrožení
kareta pravá	CR – kriticky ohrožená
kareta menší	CR – kriticky ohrožená
kareta obrovská	EN – ohrožená
kareta obecná	VU – zranitelná
kožatka velká	VU – zranitelná
kareta zelenavá	VU – zranitelná
kareta australská	DD – chybí údaje

Tabulka č. 1: Stupně ohroženosti želv. Kategorie ohroženosti podle IUCN mořských želv v roce 2024.

„Mořské želvy jsou jako kanárek v důlní šachtě: jak mizí želvy, tak i zdraví oceánu“ - James R. Spotila (2004)

3 MONITORING MOŘSKÝCH ŽELV A JINÝCH ŽIVOČICHŮ

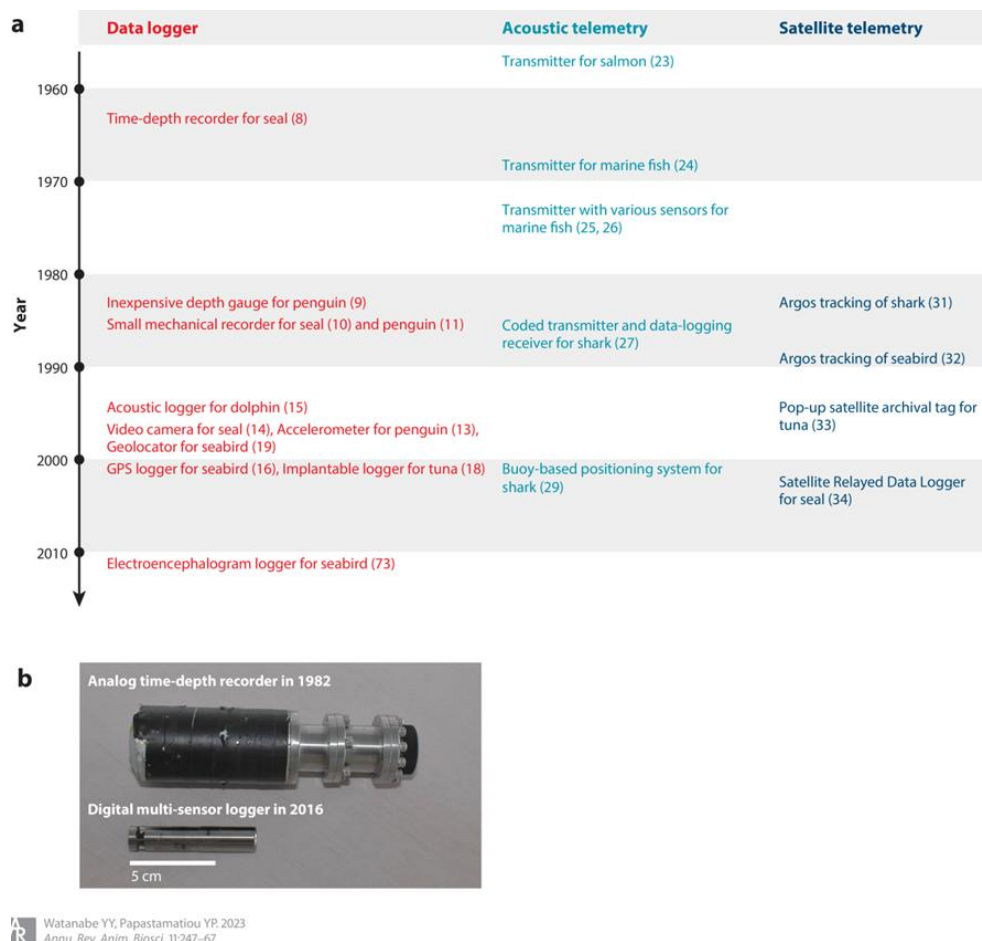
Počáteční studie založené na monitoringu mořských živočichů ve volné přírodě byly schopné zpracovat pouze jednoduché údaje o jejich pohybu. Nyní, díky biotelemetrii a biologgingu jsme

schopni zjistit mnoho informací o jejich kolektivním chování, vnitřním stavu, pohybu etc. Díky více sofistikovaným technologiím získáváme více informací o mořském životě, tyto metody pomáhají vědcům zjistit přirozené chování, pohyb, mezidruhové vztahy a mnoho dalších informací o mořských živočiších (Watanabe and Papastamatiou, 2023).

3.1 Možnosti využití monitoringu u mořských želv a jiných mořských živočichů

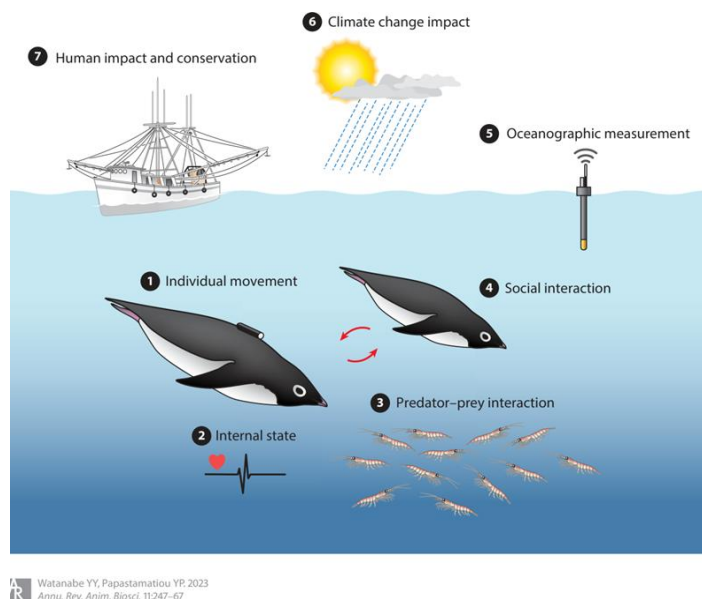
Biologging je metoda, při které jsou data získána pomocí zařízení připevněných na zvířatech, musí však být fyzicky vyzvednuta pro zpracování dat (např. GPS záznamníky). Biotelemetrie se liší tím, že umožňuje vzdálené získávání dat, například pomocí akustické nebo satelitní telemetrie. Existují také hybridní zařízení, jako jsou pop-up satelitní archivační značky, která kombinují oba přístupy. V rámci biologgingu se rozvíjí i fyziologging, jenž sleduje fyziologické procesy. Například spektroskopické záznamníky pro blízkou infračervenou oblast (NIRS) monitorují objem krve a okysličení, zatímco termální fyziologie se zaměřuje na teplotu těla. Pro studium spánku se používají akcelerometry a EEG záznamníky, které měří celkovou dynamickou akceleraci těla, energetický výdej, rychlost metabolismu a srdeční frekvenci. Pro analýzu aktivního sběru potravy se využívají senzory měřící teplotu žaludku, akceleraci hlavy nebo čelistí, často jsou používány i videozáznamy. Mezinárodní organizace The International Bio-logging Society se zabývá rozvojem této vědní oblasti.

Do budoucna je v plánu využití senzorů s přísavkami, které by umožnily sledovat srdeční frekvenci a monitoring sběru potravy bez nutnosti invazivního zásahu (Watanabe and Papastamatiou, 2023).



Obrázek č. 9: (a) Souhrnná historie data záznamníků, akustické telemetrie a satelitní telemetrie. (b) Rychlý technologický pokrok, doložen analogový záznamník času a hloubky vyvinutý v roce 1982 (nahore) a digitální multisenzorový záznamník (měření hloubky, teploty, rychlosti, tříosého zrychlení a tříosého geomagnetismu) vyvinutý v roce 2016 (dole). Copyright obrázku Watanabe in Watanabe and Papastamatiou, 2023. Zdroj: Watanabe and Papastamatiou, 2023

Podle tohoto článku (Watanabe and Papastamatiou, 2023) můžeme využití monitoringu rozdělit do sedmi hlavních kategorií: 1. Individuální pohyb 2. Vnitřní stav 3. Predátor–kořist interakce 4. Sociální interakce 5. Oceánografické rozměry 6. Vliv změny klimatu 7. Vliv člověka a ochrana



Obrázek č. 10: Diagram biologgingu a biotelemetrie, ukazující sedm hlavních kategorií. Zdroj: Watanabe and Papastamatiou, 2023

3.1.1 Individuální pohyb

Zaznamenávání pohybu jedince je klasickou metodikou biologgingu, tyto data se dají zpracovat z ekologického i fyziologického hlediska (Watanabe and Papastamatiou, 2023). Příkladem jsou extrémní hloubky ponoru u velryb řádu vorvaňovcovitých, které se rutinně potápí do hloubky až 1 000 m na 47–58 min pro hledání potravy (Tyack et al., 2006), zaznamenané maximum je 2 992 m a 137.5 min (Schorr et al., 2014). Biologging a biotelemetrie odhalili také horizontální pohyb se zaměřením na migrace u létajících i plovoucích mořských živočichů. Například u mnoha mořských letců byly zaznamenány “nekonečně letní” migrace, při kterých ročně uletí 60 000 km přes obě polokoule (Kopp et al., 2011). Transoceanické migrace byly také zaznamenány u mořských plavců jako jsou želvy, mořští savci a ryby žijící na otevřeném oceánu (Block et al., 2011). Pro ukázkou, kožatky velké migrují po celém Severním Atlantiku s velkými individuálními rozdíly v cestovních trasách (Hays et al., 2004). U mnoha migrujících druhů se nachází jev, který se nazývá částečná migrace, což znamená, že někteří jedinci migrujících druhů jsou rezidenční a jiní migrují. Tento jev může souviset s reprodukčním stavem jedince, jeho tělesné kondice a predace (Watanabe and Papastamatiou, 2023). U karety obrovské bylo také zjištěno, že se hloubka jejich ponoru mění v závislosti na ročním období a denní době. V zimě mívají delší ponory nežli v létě a ve dne preferují kratší a méně hluboké ponory v porovnání s ponory v noci. Nejčastější byly denní ponory; mělké a krátké s hloubkou 2.0 ± 0.0 m a délkou 6.0 ± 0.0 min, ty byly zpozorovány nejčastěji jako výprava za potravou (Ballorain et al., 2013).

3.1.2 Vnitřní stav

Typ monitoringu vnitřního stavu jedince se nazývá fyziologging. Tato technika pomáhá studovat živočichy v jejich přirozeném prostředí. Například u tuleňů a velryb bylo zjištěno, že při potápění se zpomaluje jejich srdeční frekvence (bradykardie), což šetří kyslík. V přírodě je tento efekt slabší než v nucených podmínkách v laboratoři. Některé druhy, jako tučňáci a tuleni, jsou schopni snášet extrémně nízkou hladinu kyslíku, která by u lidí vedla k bezvědomí. Nové metody, jako blízká infračervená spektroskopie (NIRS), umožňují měřit okysličení krve bez většího zásahu do oběhové soustavy (Watanabe and Papastamatiou, 2023). Fyziologging také ukázal, že někteří živočichové (tuňáci, žraloci, mořské želvy) si udržují tělesnou teplotu vyšší než okolní voda (Holland et al., 1992) (Carey et al., 1982) (Casey et al., 2014). Mají totiž dobře vyvinuté cévní protiproudé výměníky tepla a mohou šetřit teplo generované pohybovými svaly (Grady et al., 2014). To jim pomáhá být aktivnější a lépe se potápět. Ryby a mořské želvy velkého vzrůstu si udržují stabilní teplotu díky své velikosti, což jim umožňuje se potápět do velkých hloubek (Watanabe and Papastamatiou, 2023). Studie spánku odhalily, jak mořští živočichové spí v náročných podmínkách. Například fregatky spí za letu s jednou hemisférou nebo oběma současně, zatímco tuleni spí na hladině s jednou aktivní polovinou, aby mohli plavat a hlídat predátory (Rattenborg et al., 2016). Fyziologging také umožňuje měřit, kolik energie živočichové spotřebují, pomocí srdeční frekvence nebo pohybu. To pomáhá pochopit, jak zvířata využívají energii v přírodě.

3.1.3 Predátor–kořist interakce

Studium stravování mořských živočichů se tradičně opíralo o analýzy obsahu žaludku nebo trusu a později o chemické analýzy. Díky mnoha studiím již víme, že použitím biologgingu jsme schopni určit stravovací návyky monitoringem teploty žaludku, akcelerace hlavy nebo čelisti, a video záznamů. Tyto údaje poskytují i časové informace, které jsou důležité k porozumění stravovacích návyků, nejen u mořských živočichů. Následné informace umožňují vědcům velké rozšíření povědomosti o predaci a ekosystému pod hladinou (Watanabe and Papastamatiou, 2023). Studie z roku 2014 (Lingard et al.) například vybavila tuleně (predátory) akustickými přijímači a GPS značkami, zatímco několik druhů ryb (kořist) bylo označeno akustickými vysílači. Bylo zaznamenáno několik případů, kdy označení tuleni ulovili označené ryby, což potvrdilo možnost studia prostorově-časových vzorců interakcí predátorů a kořisti v otevřených vodách. V jiném příkladu byly vyvinuty speciální značky, které vysílají data po smrti zvířete, a testovány u volně žijících lachtanů (Horning and Mellish, 2009). Tyto značky poskytly informace o lokalizaci, míře a možných příčinách přirozené úmrtnosti, včetně predace (Watanabe and Papastamatiou, 2023). Nověji byly vyvinuty akustické predací značky, které se implantují do kořisti a sledují její pohyb (Halfyard et al., 2017). Když predátor kořist pozře, žaludeční kyseliny způsobí změnu v přenosu značky, což poskytuje důkaz o predací události. Porozumění míře a příčinám přirozené úmrtnosti je klíčové pro populační ekologii a ochranu přírody. Tyto metody poskytují jedinečné informace, které nelze získat jinými způsoby (Watanabe and Papastamatiou, 2023).

3.1.4 Sociální interakce

Biologging a biotelemetrie, původně určené pro sledování jednotlivých zvířat, nyní umožňují díky technologickému pokroku monitorovat více jedinců najednou. To přináší nové poznatky o skupinovém chování, socialitě a vnitrodruhových interakcích mořských živočichů. Například akustické transceivery zaznamenávají setkání označených jedinců. Kombinace senzorů (akcelerometry, kamery) navíc umožňuje sledovat i povahu interakcí. Pro překonání limitu fyzického vyzvednutí zařízení byl vyvinut systém kombinující transceiver a satelitní vysílač. Data se přenášejí přes Bluetooth a odesílají satelitům, když jsou zvířata na hladině. Jednodušší zařízení, jako GPS záznamníky, umožňují sledovat větší populace a poskytovat robustní výsledky (Watanabe and Papastamatiou, 2023). Mořské želvy jsou známí solitéři a cíleně se potkávají pouze v době rozmnožování, a dokonce u nich bylo zpozorováno teritoriální až agresivní chování při vnitrodruhovém setkání (Schofield et al., 2007) (Diggins et al., 2022).

3.1.5 Oceánografické rozměry

Zde vysílače poskytují data o prostředí, ve kterém se označená zvířata pohybují, což doplňuje informace z družic, autonomních plováků a lodních měření. Tento koncept je zvláště užitečný v polárních oblastech, kde led komplikuje získávání dat. Například tuleni a velryby vybavení senzory měří teplotu, salinitu a další parametry vodního sloupce, což pomohlo odhalit zdroje hlubokomořských antarktických proudů. Nově vyvinuté senzory také měří koncentraci chlorofylu a rozpuštěného kyslíku, což je klíčové pro biologickou oceánografii. Mořští ptáci, jako jsou albatrosi a buřňáci, slouží jako platformy pro pozorování povrchu oceánu. Jsou na nich umístěné GPS záznamníky poskytující data o vlnách, proudech a větru. Tato data mají vyšší prostorové a časové rozlišení než družicové snímky, což pomáhá upřesnit meteorologické modely a pochopit, jak zvířata reagují na změny prostředí (Watanabe and Papastamatiou, 2023).

3.1.6 Vliv změny klimatu

Díky biotelemetrii a biologingu můžeme sledovat, jak klimatické změny ovlivňují chování zvířat ve volné přírodě. V Jižním oceánu například zesílily větry a posunuly se směrem k pólu, což vedlo ke zvýšení rychlosti cestování albatrosů a jejich vyššímu rozmnožovacímu úspěchu. Dále můžeme předvídat budoucí změnu lovišť či změny v rozšíření množství druhů (Watanabe and Papastamatiou, 2023).

3.1.7 Vliv člověka a ochrana

Biologging a biotelemetrie hrají klíčovou roli v pochopení dopadů lidské činnosti na mořské živočichy a v navrhování ochranných opatření. Díky jim víme, že rybolov přímo ovlivňuje populace mořských druhů cíleným i nechtěným odlovem (bycatch). Chráněné mořské oblasti (MPA) jsou jedním z typů ochrany, ale jejich efektivita u vysoce mobilních druhů, jako jsou mořské želvy, je často nejistá. Data ze sledování zvířat pomáhají vyhodnotit účinnost stávajících MPA, určit jejich optimální velikost a navrhnout lepší rozmístění. Velké

mezinárodní projekty shromáždily tisíce záznamů o pohybu mořských živočichů, což pomohlo identifikovat oblasti, kde jsou ochranná opatření nejpotřebnější. Nové technologie, jako biologgíngová zařízení schopná detekovat radarové emise z lodí, umožňují sledovat riziko nechtěného odlovu u albatrosů a odhalit nelegální rybolov. Přesto existuje mezera mezi vědeckými poznatky a jejich aplikací v reálné ochraně přírody. Studie doporučují, aby vědci sdíleli data prostřednictvím veřejných databází (např. MoveBank) a přímo komunikovali s tvůrci politik. Tím se zvýší šance, že data ze sledování zvířat povedou k efektivním ochranným opatřením. Také je výhodné se spojovat s mezinárodními organizacemi jako je např. the International Bio-logging Society s více než 1 000 členy z mnoha zemí za účelem sdílení dat a rozšíření ochrany (Watanabe and Papastamatiou, 2023).

Naše zaměření obecně spadá do kategorie č. 7, ale určitě jsou pro nás velice podstatné kategorie č. 1, 2, 3, 4. Tam bychom mohli být schopni zaznamenat rozdíly v chování jedinců z volné přírody a ze záchranných stanic.

3.2 Přehled nepoužívanějších metod a technologií

Z důvodu malého počtu studií na monitoring fyzické kondice mořských želv a jejich chování jsem se musela více zaměřit na metody sledování mořských živočichů. Studie z roku 2021, Chung et al. nám nabízí shrnutí těchto metod.

3.2.1 Global Positioning System (GPS)

Určuje polohu zvířete pomocí signálů z družic. Tento systém se skládá ze tří částí: vesmírného segmentu s 24 satelity, řídicího segmentu s pozemními stanicemi a uživatelského segmentu, kterým je GPS přijímač připevněný na zvířeti. Je vhodný pro sledování migrací a pohybu mořských živočichů během dlouhého období. GPS je prostorově velice přesný (s chybou do 10 m), ale s touto výhodou ho spojuje vysoká spotřeba energie a to, že není schopen fungovat pod vodou, většinou bývají zařízení i těžká.

3.2.2 Collect Localisation satellite (CLS)

Nebo-li také satelitní systém Argos určuje polohu pomocí Dopplerova jevu na základě signálů vysílaných ze zařízení na zvířeti. Výhodou tohoto systému je možnost přenosu dat v reálném čase bez nutnosti zpětného získání zařízení, což umožňuje kontinuální sledování zvířat v odlehlých oblastech. Nevýhodami však jsou nižší přesnost než u GPS (s chybou až 150 metrů) a vysoká spotřeba energie.

3.2.3 Geolokační Systém (GLS)

Tyto senzory měří intenzitu slunečního světla a čas východu a západu slunce, na jejichž základě dopočítávají zeměpisnou šířku a délku. GLS senzory mají velmi nízkou spotřebu energie a jsou extrémně lehké, což je činí ideálními pro malé druhy, jako jsou mořští ptáci. Na druhou stranu mají velkou chybu v určení polohy (až 200 km) a jsou závislé na počasí a přístupu ke

slunečnímu světlu, což také znamená, že jsou schopny zaznamenávat informace pouze na hladině. Použito na želvách např. ve studii Fuller et al., 2008.

3.2.4 Akustické polohovací systémy

Umožňují podvodní lokalizaci za pomoci ultrazvuku. Bohužel jsou prostorově omezené, protože k fungování potřebují pevně umístěné přijímače.

3.2.5 Videokamery

Připevňují se na tělo zvířete a zaznamenávají jeho pohyb, interakce s ostatními jedinci nebo prostředí, ve kterém se pohybuje. Tyto kamery poskytují cenné informace například o způsobu lovu tuleňů, velryb nebo žraloků. Nevýhodou je vysoká spotřeba energie a velký objem získaných dat, který je obtížné přenášet.

3.2.6 Akcelerometry a gyroskopy

Akcelerometry se používají pro detailní analýzu pohybu zvířete, měří zrychlení těla a gravitační síly, zatímco gyroskopy zaznamenávají úhly natočení a rotaci. Díky těmto senzorům lze rekonstruovat konkrétní pohyby zvířete, jako je například frekvence úderů ploutví při plavání nebo pohyby hlavy při lovu. Tyto senzory umožňují i odhad energetického výdeje, což pomáhá pochopit strategii lovu u predátorů. Nevýhodou je velké množství dat, které vyžaduje pokročilé zpracování, a nutnost zpětného získání zařízení pro jejich vyhodnocení.

3.2.7 TDR – Time-Depth Recorders

Měří vodní tlak a tím určují hloubku ponoru v čase. Tyto senzory se používají u druhů, které se pravidelně potápějí, například u tuleňů, želv, tučňáků nebo velryb. Pomáhají pochopit, jak dlouho a jak hluboko se zvířata potápějí při hledání potravy. Výhodou TDR je nízká spotřeba energie, což umožňuje jejich dlouhodobé využití. Na druhou stranu neposkytují informace o horizontálním pohybu a pro jejich analýzu je často nutné kombinovat je s dalšími senzory, například s GPS.

3.2.8 Elektrokardiogramy (ECG) a elektroencefalogramy (EEG)

ECG snímá elektrickou aktivitu srdce a umožňuje sledovat srdeční tep během potápění, což pomáhá pochopit adaptace mořských živočichů na dlouhé ponory. EEG zaznamenává mozkovou aktivitu a umožňuje studium spánkových vzorců mořských savců a ptáků. Tato zařízení pomáhají monitorovat stres a únavu mořských živočichů. Nevýhodou těchto senzorů je nutnost připevnění elektrod přímo na kůži nebo do lebky, což je technicky náročné. Doposud se z těchto dvou metod podařilo na mořských želvách zrealizovat jen ECG, a to v roce 2021, Sakamoto et al. v Japonsku. Zde se jim podařilo úspěšně změřit srdeční tep karety obecné a karety zelenavé ECG záznamníkem a dvěma elektrodami přilepenými na krunýř želvy.

Všechny tyto technologie byly použity k monitoringu želv, kromě elektroencefalogramu, viz. tabulka č. 3 na straně 28. Technologie GLS není zmíněna v tabulce, protože se zaměřuje pouze na sledování polohy.

3.3 Přenos dat

Z důvodu finanční náročnosti satelitních systémů jsme byli nuceni najít jiné komunikační technologie, které odpovídají našim požadavkům viz. Tabulka č. 2.

Komunikační modul u těchto senzorů monitorujících životní funkce atd. je zpravidla zabudován v senzoru, a to z důvodu, aby byl senzor co nejmenší. Vhodná technologie musí umožňovat komunikaci na dlouhé vzdálenosti, mít nízkou spotřebu energie a fungovat v náročných podmínkách oceánu.

	Rychlost přenosu dat	Průměrná propustnost	Dosah	Frekvence	Spektrum	MIMO	Latence
NarrowBand IoT (NB-IoT)	250kbit/s downlink, 20–250kbit/s uplink	1–50kbit/s	nad 10 km	GSM/LTE pásmo	Licencováno	n.a.	1,6–10s
LoRaWAN	0.3–50 kbit/s	3–500kbit/s	do 20 km	ISM pásmo (868MHz)	Nelicencováno	n.a.	4–120 s
UNB/Sigfox	0.1–1 kbit/s	10–100bit/s	50 km	ISM pásmo (868MHz)	Licencováno	n.a.	1,6–10s
Symphony Link	10–250 kbit/s	0,1–50 kbit/s	do 50 km	ISM pásmo (868MHz)	Nelicencováno	n.a.	100 ms–120 s
EnOcean	125 kbit/s for ISM	0.5–1.5 kbit/s	30–100 m indoor (300 m outdoor)	ISM pásmo (868MHz)	Veřejné	n.a.	30 ms

Tabulka č. 2: Tabulka s technologiemi s nejdelším dosahem (mimo satelitní komunikace). GSM/LTE jsou standardy pro mobilní telefonní sítě, které využívají specifická frekvenční pásma. ISM pásma jsou určena pro širokou škálu komunikačních aplikací, které nejsou spojeny s mobilními operátory. Zprostředkoval Ing. Jan Pidanič, Ph.D.

Na základě tabulky č. 2 můžeme vyřadit technologie EnOcean, která má příliš malý dosah a NB-IoT, jež má frekvenci v GSM/LTE pásmu. To znamená, že je závislá na mobilní síti operátora a mimo pobřežní oblasti nemusí být signál dostupný. Ačkoliv má nižší spotřebu energie, než běžné mobilní technologie, stále není tak úsporná jako LoRaWAN nebo Sigfox.

Technologie LoRa, SigFox, SymphonyLink jsou různé bezdrátové komunikační technologie, které se používají v oblasti Internetu věcí (IoT). Lze je používat bez nutnosti získat licenci nebo platit za přístup, na rozdíl od GSM/LTE pásem.

3.3.1 SigFox

Tento komunikační systém je charakterizován velmi nízkou šířkou pásma, která dosahuje maximálně 100 bps. Díky tomu je ideální pro aplikace, které vyžadují pouze malé objemy dat, jako je měření teploty, sledování zásob nebo monitorování stavu zařízení. Tento systém má také velmi nízkou spotřebu energie a využívá hvězdicovou topologii, kde každé zařízení komunikuje

přímo se základnovou stanicí. Mezi jeho výhody patří nízké náklady na zařízení, nízká spotřeba energie a vysoký dosah. Na druhou stranu, jeho nevýhodou je omezená šířka pásma, která je vhodná pouze pro malé množství dat, a závislost na SigFox síti.

3.3.2 SymphonyLink (Semtech)

SymphonyLink je charakterizován nízkou spotřebou energie a nabízí flexibilitu v topologii, podobně jako LoRa, kde je možné využít buď mesh (možnost vytváření sítí, kde zařízení mohou přeposílat data), nebo hvězdicovou topologii. Je vhodný pro aplikace, které mají vyšší požadavky na šířku pásma než SigFox, například pro monitoring průmyslových procesů. Mezi jeho výhody patří vysoký dosah a možnost vytváření mesh sítí, což zajišťuje větší flexibilitu a spolehlivost komunikace. Nevýhodou je potřeba infrastruktury a vyšší náklady na zařízení a síť.

3.3.3 LoRa a LoRaWAN Technologie

LoRa (Long Range) je navržena pro přenos dat na dlouhé vzdálenosti při velmi nízké spotřebě energie. LoRa je ideální pro aplikace Internetu věcí (IoT), kde zařízení potřebují komunikovat na velké vzdálenosti (až 15–20 km v otevřeném prostoru) a zároveň mají omezený přístup k napájení, jako jsou senzory, měřicí přístroje nebo zařízení pro sledování zvířat.

Je charakterizována velmi nízkou spotřebou energie, což je ideální pro zařízení napájená bateriemi. Používá mesh topologii, která umožňuje vytváření sítí, v nichž zařízení mohou přeposílat data mezi sebou. Je vhodná pro aplikace, které vyžadují dlouhý dosah a nízkou spotřebu energie, jako je sledování majetku, chytrá měření nebo měření prostředí. Mezi výhody patří velký dosah, nízká spotřeba energie a flexibilita v nasazení, například díky otevřenému standardu a možnosti použití vlastní infrastruktury. Nevýhodou je nižší rychlost přenosu dat a omezená šířka pásma.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) je síťový protokol postavený na technologii LoRa, který umožňuje komunikaci mezi zařízeními (např. senzory, měřiče) a centrálními servery prostřednictvím základnových stanic. Zatímco LoRa se stará o fyzický přenos dat na dlouhé vzdálenosti, LoRaWAN definuje, jak data protékají sítí.

Na Srí Lance je dostupné pokrytí sítí LoRa, zejména v oblasti Kolomba. Komunita The Things Network Colombo využívá technologii LoRaWAN k vytvoření bezdrátové sítě pro Internet věcí (IoT) s dosahem až 30 km v otevřeném prostoru. Tato síť umožňuje zařízením připojit se k internetu bez použití 3G nebo Wi-Fi. Komunita aktivně vyzývá vládní i soukromé organizace a jednotlivce, aby se podíleli na rozvoji této bezplatné IoT datové sítě po celé zemi.

4 VYHODNOCOVÁNÍ DAT

Biologging umožňuje vědcům sledovat pohyb a interakce mořských želv s prostředím, což přináší cenné poznatky pro ochranu těchto ohrožených druhů.

Pro náš projekt by bylo důležité se zaměřit na pohyb, rychlost a hloubku ponoru. U pohybu je očekávaný rozdíl v trase, želvy ze záchranných stanic totiž mohou být delší dobu dezorientované, a dokonce i bez instinktu migrovat nebo se vracet na svoji rodnou pláž. Rychlost by mohla být ovlivněna množstvím svalové hmoty. Předpokladem je, že želvy, které trávily velkou část svého života v nedostatečně velkých bazénech nebudou mít náležitě vyvinuté svaly v porovnání se želvami z volné přírody. Toto také může mít za následek méně hluboké ponory, což může vyústit k nenalezení požadované potravy, a to by mohlo vést i k podvýživě jedince. K ponorům se také váže kapacita plic, která může být ovlivněna podobným způsobem jako svalstvo želv, může to vést ke kratším a méně hlubokým ponorům. Případně by želvy ze stanic mohly zažívat vyšší míru stresu.

5 PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 Metodika

5.1.1 Vyhledávání relevantní literatury

Tato studie představuje sekundární analýzu literatury zaměřenou na porovnání fyzikálních parametrů zařízení využívaných k monitorování mořských želv. Volba metodiky byla dána omezeným počtem dostupných empirických studií v této oblasti a nutností využít dosavadní odborné poznatky, aby bylo možné posoudit technické možnosti a limitace jednotlivých zařízení.

Data získaná z odborné literatury a konzultací byla analyzována kvalitativním přístupem, konkrétně srovnáním fyzikálních možností jednotlivých zařízení a identifikací jejich limitací, jak jsou uvedeny v publikovaných studiích. Vzhledem k omezenému počtu dostupných kvantitativních dat nebylo možné aplikovat statistické metody, což činí tento přístup nejvhodnějším pro zajištění hloubkové a detailní analýzy.

Rešerše byla provedena pomocí databáze Google Scholar, kde byly použity následující klíčové pojmy: sea turtles, Biologging, Tagging, Biotelemetry, green sea turtle, hawksbill sea turtle, loggerhead sea turtle, olive ridley sea turtle, vitality.

Výběr studií byl zaměřen na co nejsoučasnější publikace, přičemž primární kritéria pro jejich zařazení byla: relevance k tématu výzkumu, důležitost (citovanost, významnost výsledků), novost přístupu nebo metodologie.

Dále byly analyzovány citace v relevantních člancích, čímž byl rozšířen rozsah rešerše.

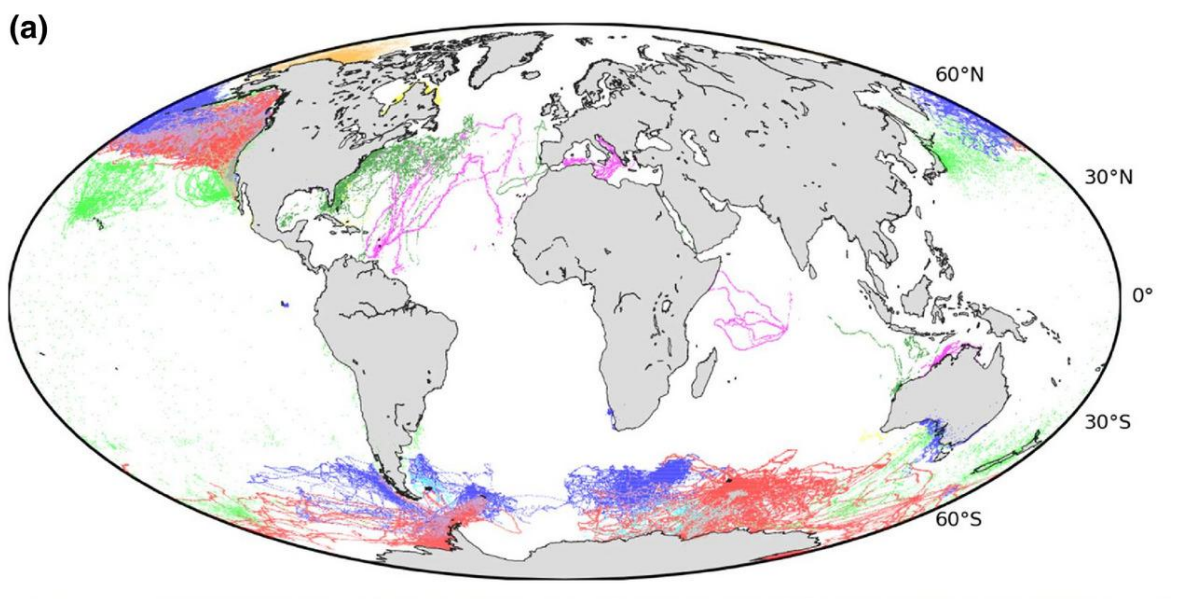
5.1.2 Omezení a vliv dostupnosti literatury

Hlavní omezení spočívalo v tom, že monitorování vitality mořských želv nebylo v dosavadní literatuře přímo zkoumáno. Většina studií se zaměřovala spíše na obecné monitorování pohybu a chování želv pomocí biotelemetrických metod. Kromě toho byl celkový počet studií

o monitoringu chování mořských želv relativně nízký, což omezovalo možnosti srovnání různých přístupů a zařízení. Počet studií a další důležité informace můžete najít v tabulce č. 3 na straně 28.

Je třeba poznamenat, že dostupná literatura týkající se monitorování mořských želv, která se nezabývá pouze lokačními daty je omezená. Aby bylo možné získat širší kontext, byly do analýzy zahrnuty i studie zaměřené na monitorování jiných vodních organismů, zejména savců.

Na obrázku můžete vidět oblasti, kde jsou mořští živočichové monitorováni:



Obrázek č. 11: Výsledky sledování > 2 600 jedinců napříč 50 mořskými druhy v globálním měřítku ukázaly podobnosti ve vzorcích globálního pohybu napříč taxony spojenými s biotopem. Každá barva představuje různé taxony: modrá = tuleni, růžová = mořské želvy, světle zelená = mořští ptáci, tmavě zelená = žraloci. Čerpáno ze studie Sequeira et al. (2021)

5.1.3 Analýza a zpracování informací

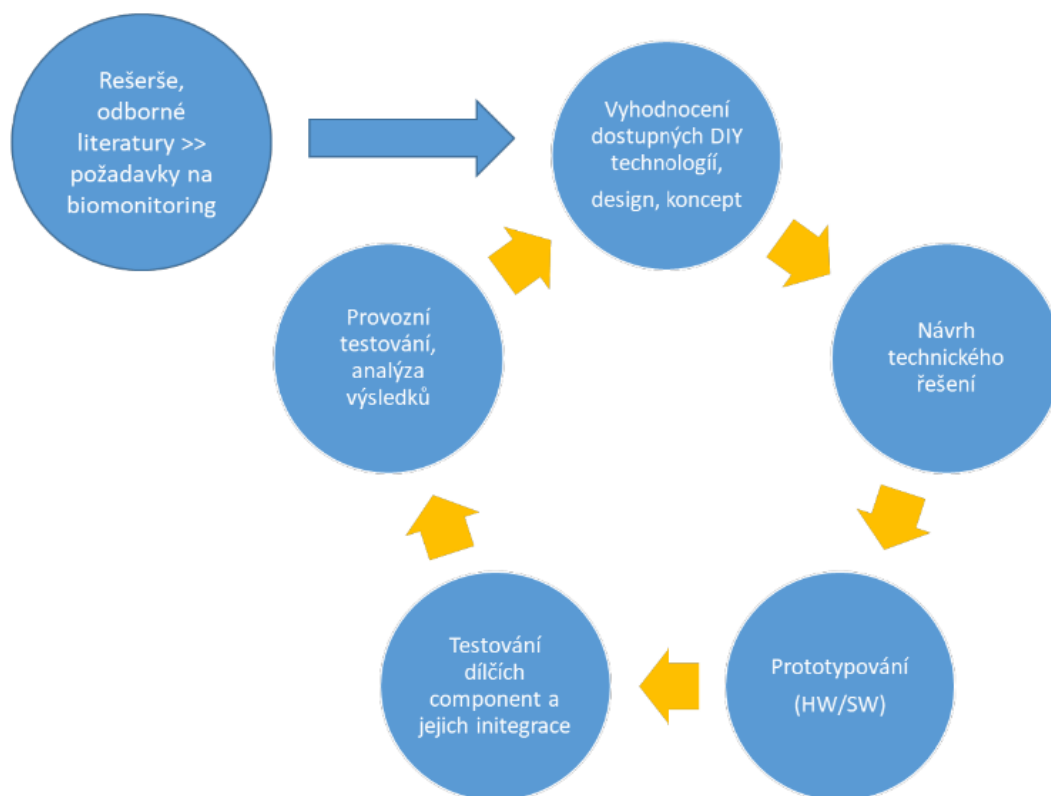
Pro praktickou část byla vytvořena tabulka s parametry zařízení použitých k monitorování mořských želv. Byly vybrány studie, které se zabývaly měřením více parametrů, než jen polohy.

V rámci komparativní analýzy zařízení byly vybrány následující kritéria: jakými technologiemi je záznamník vybaven (kamera, gyroskop, akcelerometr, tlakoměr/hloubkoměr, teploměr, čím je zjišťována pozice), velikost, váha, doba záznamu, typ získávání dat (biotelemetrie, biologging) a metoda sdílení dat (u biologgingu šlo jen o polohu).

Na základě těchto parametrů a konzultací s odborníky byla navržena technická specifikace pro DIY biomonitorovacího zařízení, které bude odpovídat potřebám plánovaného výzkumu efektivity záchranných programů pro mořské želvy v záchranných centrech na Srí Lance.

5.1.4 Metodika vývoje DIY biomonitorovacího zařízení

Vývoj zařízení byl navržen v několika krocích, jak ukazuje obrázek níže:



Obrázek č. 12: Metodika vývoje

V rámci vývoje byly použity následující SW nástroje:

Arduino IDE je oblíbené vývojové prostředí pro programování mikrokontrolerů Arduino.

LoRa Gateway project byl vyvinut společností Semtech, pro vývoj a implementaci LoRa gateway řešení.

The Things Network (TTN) je otevřená a globální síť, využívající LoRaWAN technologii umožňující sledovat polohu trackeru.

Akenza je platforma umožňující real-time vizualizaci dat z TTN.

Použité technologie při vývoji hardware:

Konstrukce trackeru vychází z dostupné vývojové desky kombinující Lora komunikační modul, GPS pozicovací modul, a řídicí mikrokontroler, kterou doplňuje jednoduchý datalogger (SD karta) a integrovaný senzorový modul s akcelerometrem, gyroskopem, kompasem, teploměrem, a tlakoměrem. Gateway která umožňuje propojovat zařízení s LoRaWAN zařízeními a sítí The Things Network(internet) se skládá z jednodeskového počítače například Raspberry Pi a dedikovaného LoRa gateway modulu a gps.

5.2 Výsledky rešerše odborné literatury monitoringu mořských želv

Studie	záznamník	velikost	váha	kamera	gyroskop	akcelerometr	tlakoměr/ hloubkoměr	teploměr	pozicování	dobu záznamu	typ získání dat	sdílení dat
Hounslow et al., 2022	CATS Diary	190 × 110 × 45 mm	622 g	0	1	1	1	1	GPS	24h - 7 d	biologging	Sat. Com.
Hounslow et al., 2022	CATS Camera	250 × 140 × 50 mm	758 g	1	1	1	1	1	GPS	24h - 7 d	biologging	Sat. Com.
Jeantet et al., 2020	CATS	233 × 135 × 40 mm	785 g	1	1	1	1	0	CLS	hodiny až dny	biologging	Sat. Com.
Okuyama et al., 2013	multisenzorní data záznamníky	15 × 53 mm	500 g	1	0	1	1	1	GPS	8-168 h	biologging	pozemní RF
Ballorain et al., 2013	TDR	114 × 21 mm	70 g	0	0	0	1	1	fa-GPS	3 - 24 d	biologging	Sat. Com.
Chambault et al., 2020	Satelitní tagger	-	-	0	0	0	0	0	fa-GPS	136 ± 104 d	biotelemetrie	Sat. Com.
Ghevis et al., 2017	Vemco V16-6H 69 kHz	16 mm diameter	17.3 g weight in water	0	0	0	0	0	sonar	570 ± 484 d	biotelemetrie	pozemní RF
Wood et al., 2017	linked multisensor satelitní vysílač	-	-	0	0	0	0	0	fa-GPS	286 ± 121 d	biologging	Sat. Com.
Arkwright et al., 2020	DD záznamníky	54 × 29 × 22 mm	22 g	0	1	1	1	1	-	1-6 dnů	-	-
Richardson et al., 2013	Satelitní tagger Kiwisat	-	-	0	0	0	0	0	CLS	62 -166 d	biotelemetrie	Sat. Com.
McClellan and Read, 2007	Satelitní tagger	-	-	0	0	0	0	0	CLS	až 660 d	biotelemetrie	Sat. Com.
Dalleau et al., 2014	Satelitní tagger	677 ± 54 mm	-	0	0	0	1	0	CLS	158 ± 112 d	biotelemetrie	Sat. Com.
Swimmer et al., 2006	Satelitní tagger	-	-	0	0	0	1	1	CLS	54 ± 10 d	biologging	Sat. Com.

Tabulka č. 3: Tabulka znázorňující parametry zařízení použitých k monitorování mořských želv. CATS (Customized Animal Tracking Solutions), TDR - Temperature-Time-Depth Recorder, DD - "Daily Diaries", CLS - Collect localisation satellite, fa-GPS - fast GPS

V tabulce můžete vidět, že ve většině studií byly použity k pozicování GPS (GNSS) nebo CLS (Argos/Kinéis). V jedné ze studií byl pro zajímavost i sonar. Tyto senzory umožňují sledování individuálního pohybu, který, jak už bylo zmíněno, nám ve studiu etologie umožňuje náhled do migračních vzorců želv, jejich rozmnožování a sběru potravy.

Nejhojněji používanými senzorickými technologiemi kromě pozicování jsou IMU (gyroskop a akcelerometr), jež se využívají pro zjištění dynamiky pohybu želv a jejich vzorce chování. V případě připevnění na čelist želvy se jimi dá i monitorovat frekvence krmení želv.

Dále potom hloubkoměr a teploměr, používají se ke zjištění hloubky v oceánu, ale teplota nám může poskytnout i nahlédnutí do problematiky globálního oteplování.

Kamera byla použita jen u tří studií, a to pravděpodobně kvůli její váze a náročnosti na data, ale právě díky záběrům z kamer byli vědci schopni odvodit jejich denní aktivitu a dobu krmení. Váha kamery a uložení dat významně ovlivnila hmotnost celého záznamníku.

Váha záznamníku (pro terénní in situ měření) se pohybuje v rozmezí 100-800 g. Tomu odpovídá i velikost trackerů, které jsou obvykle umísťovány na dospělé želvy, tak aby na želvu měli minimální dopad a neovlivňovali její pohyb ani životní funkce. Tracker je vyvážen na mírně pozitivní vztlak, který by neměl překročit cca 4% hmotnosti želvy, na kterou je umístěn.

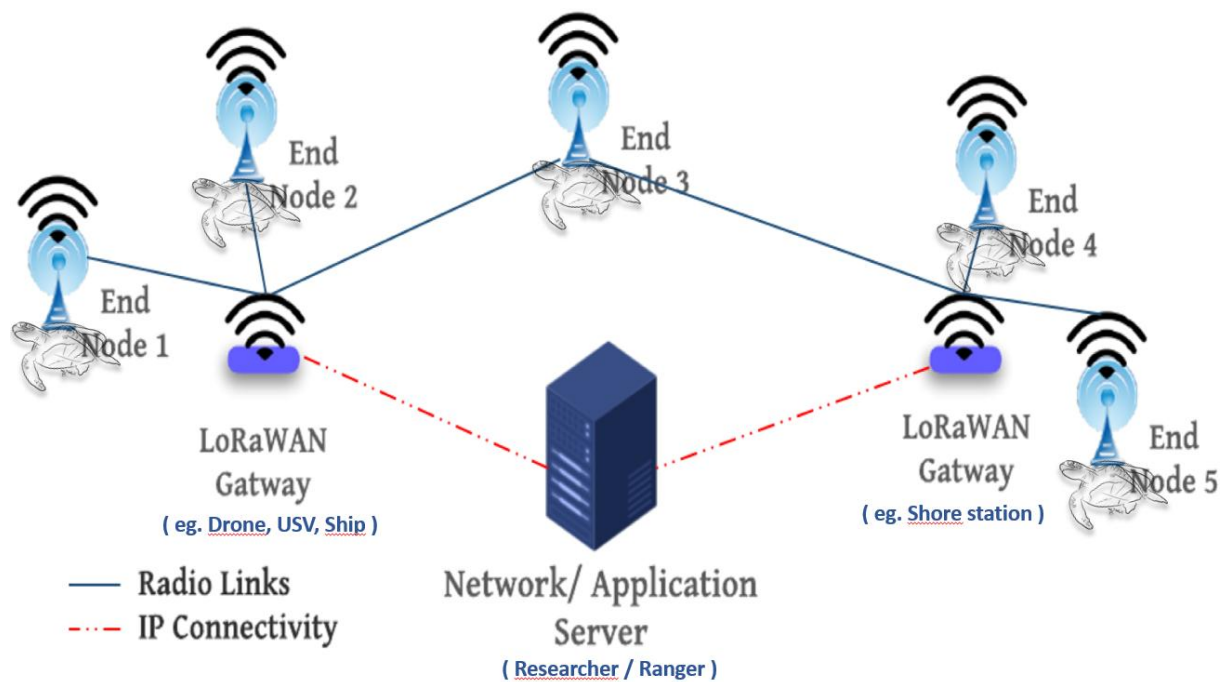
Měření v laboratorních podmínkách bylo zahrnuto pouze jednou, a to v případě DD záznamníku, kde bylo monitorování zdraví zprostředkováno i pomocí magnetometru a navrhuje nový náhled na monitoring vitality pomocí softwaru “Daily Diary Multi Trace”. Následkem absence technologie pozicování a ukládání dat měl záznamník pouze 22 g.

Doba záznamu u studií se pohybuje podle cílů misí od 8 h do 660 dní. Většina zařízení vyhovuje potřebám našeho projektu, předpokládaná doba našeho záznamu je ~7 dní.

Dálkový přenos dat s využitím satelitní komunikace je obvykle limitován z hlediska objemu přenášených dat. U zařízení, která používají lokální ukládání dat obvykle klesá s rostoucí délkou monitorování frekvence záznamu a sběru dat.

5.3 Výsledky vývoje DIY monitorovacího systému (tzv. Turtle Trackeru Tc1 dále 3Tc1)

Pro svoji jednoduchost, robustnost a dobrou škálovatelnost, byla pro realizaci systému na monitorování želv u pobřeží Srí Lanky zvolena koncepce IoT zařízení využívajícího síť Lora WAN. Schéma fungování celého monitorovacího systému ukazuje níže uvedený obrázek.



Obrázek č. 13 Schéma fungování monitorovacího systému mořských želv

Hlavními kritérii při výběru konkrétního vývojového HW byla dostupnost, aplikační univerzálnost a kompatibilita, a v neposlední řadě i technická podpora a velikost DIY komunity, která HW k prototypování IoT řešení využívá.

5.3.1 GNSS Lora tracker - 3Tc1_želva (Lora End Node)

Pro vytvoření prototypu GNSS Lora tracku byly vybrány níže uvedené komponenty:

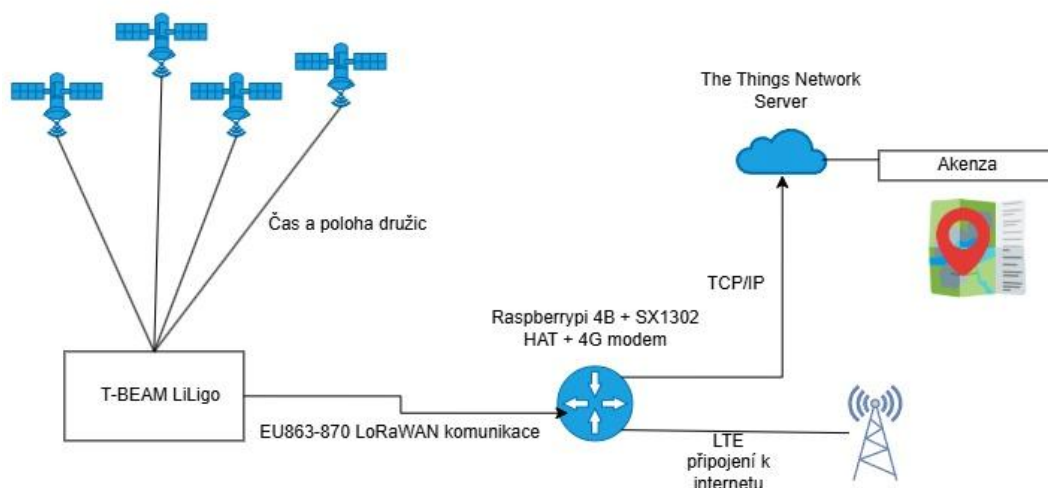
LilyGO TTGO T-Beam v1.2

Vývojová deska pro IoT projekty používající LoRa komunikaci, kombinující GPS, LoRa komunikační modul a ESP32 mikrokontroler k řízení celé desky, umožňuje vytvořit energeticky úsporné řešení pro sledování polohy a bezdrátovou LoRaWAN komunikaci.

T-Beam je tudíž ideální volba pro tuto implementaci.



Obrázek č. 14 vývojová deska T-Beam, funkční základ LoRa trackeru



Obrázek č. 15 schéma implementace trackeru na bázi vývojové platformy T-BEAM a platformy Akenza

HW-290 (IMU)

IMU (Inertial Measurement Unit) je senzorová jednotka, která obsahuje akcelerometr pro měření zrychlení, gyroskop pro sledování rotace, magnetometr pro určení směru podle magnetického pole, a tlakoměr ke sledování tlaku.

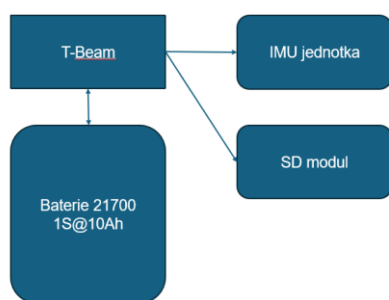
SD modul HW-125

Tento modul je navržen pro práci s microSD kartami a umožňuje ukládání dat, jako jsou záznamy senzorů nebo jiné informace, které přesahují kapacitu paměti mikrokontroléru.

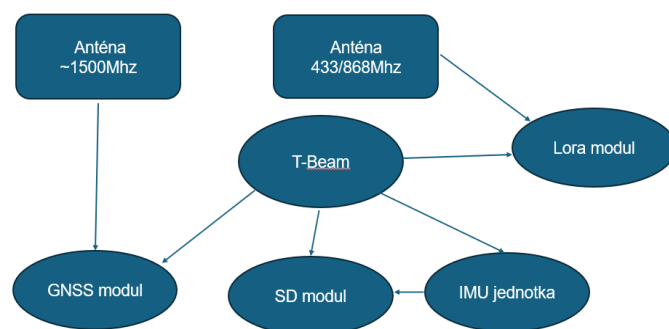
Detektor hladiny (na bázi TDS senzoru)

Tento modul bude sloužit k detekci ponoru želvy.

Komunikace jednotlivých modulů a napájení trackeru

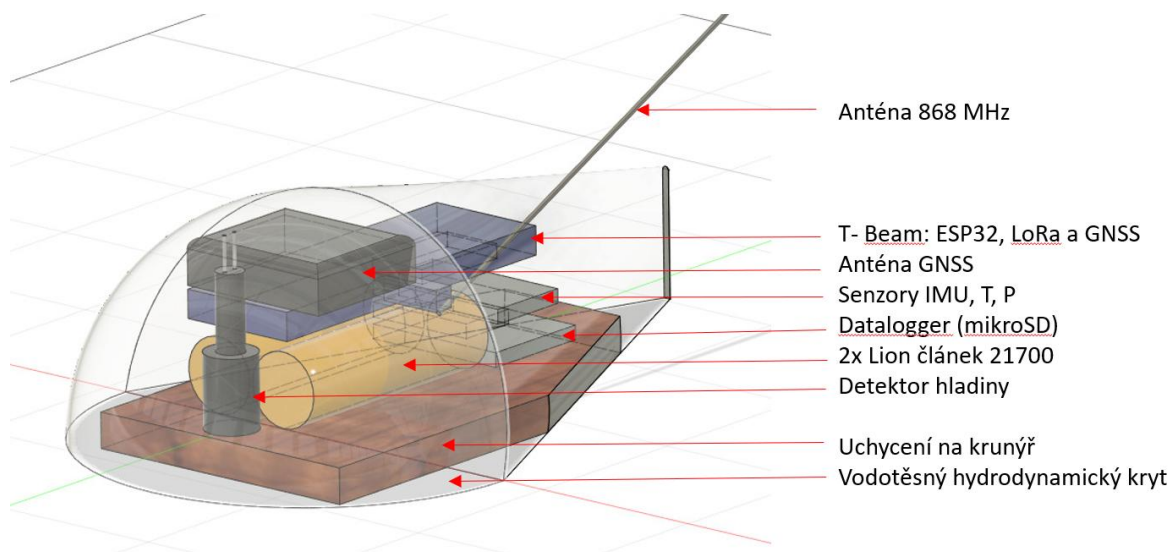


Obrázek č. 16 schéma napájení trackeru



Obrázek č. 17 schéma komunikace trackeru

3D model sestaveného trackeru pro želvu 3Tc1_želva (Lora End Node)



Obrázek č. 18 Vizualizace dílčích komponentů

Shrnutí klíčových parametrů monitorovacího zařízení 3Tc1_želva (Lora End Node)

Shrnutí klíčových parametrů trackeru 3Tc1_želva	
Velikost trackeru bez vnějšího obalu (DxŠxV):	110 x 55 x 45 mm
Max. hloubka ponoření:	300 m
Suchá hmotnost vč. baterií:	230 g
Vztlak s hydrodynamickým krytem:	130 - 400 g
Dosah Lora telemetrie :	10 -30 km,
Průměrná / max. spotřeba:	55 / 180 mA
Délka biomonitingu:	> 7 dní
* podle vyvážení na optimální vztlak s ohledem na velikost / hmotnost želvy	
**dle použité antény	

Tabulka č. 4 Shrnutí klíčových parametrů trackeru 3Tc1_želva

Spotřeba 180 mA byla naměřena při testování, kde se GPS data společně s ostatními daty z barometru, akcelerometru, gyroskopu a tlakoměru ukládala každou sekundu do SD karty, a zpráva do sítě The Things Network se odesílala každou minutu. S ohledem na známou etologii želv je jisté, že v režimu s odběrem kolem 180 mA (tj. čas na hladině) poběží zařízení nejvýše 25 % času a mezitím budou mít spotřebu méně než 50 mA, jsme dosáhli použitím senzoru, který dokáže detekovat, jestli se želva nachází pod vodou, nebo na hladině.

V současné konfiguraci je zařízení schopné nepřetržitého monitorování po dobu více než 7 dní.

5.3.2 LoRaWAN brána – 3Tc1_brána (Lora Gateway)

Pro vytvoření prototypu společné LoRaWAN brány byly vybrány níže uvedené komponenty:

Raspberry Pi 4B

Zařízení fungující jako minipočítač, s operačním systémem linux, které je použito jako řídicí jednotka brány do sítě The Things Network.

SX1302 LoRaWAN Gateway HAT

Osazení pro Raspberry Pi, které umožňuje připojení modulu pro LoRa komunikaci. Obsahuje GPS modul pro zjištění polohy brány.



Obrázek č. 19 Raspberry Pi osazené hardwarem pro komunikaci LoRa

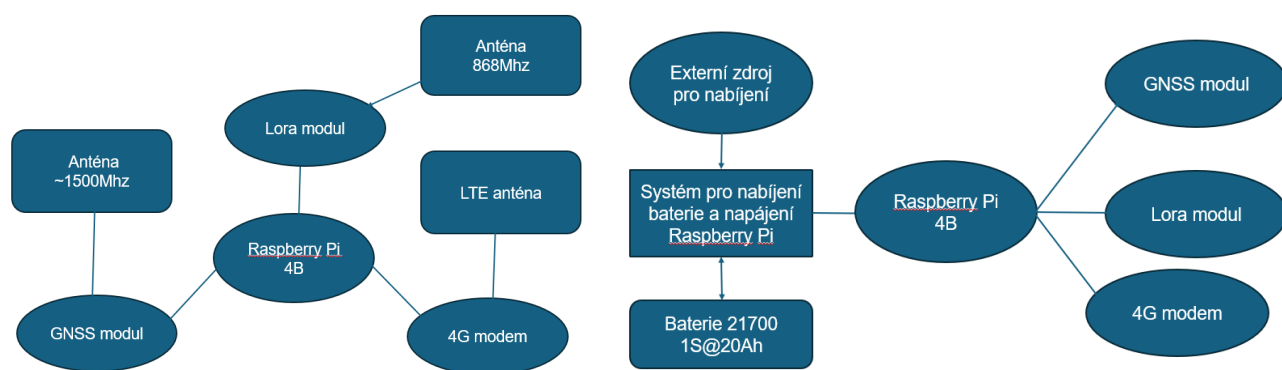
PMU jednotka

Tento obvod bude sloužit k napájení Raspberry Pi z baterií a zároveň ke snadnému nabíjení baterií.

LTE 4G modul A7670E

Modul zajistí příjem internetu pro Bránu přes mobilní datové připojení.

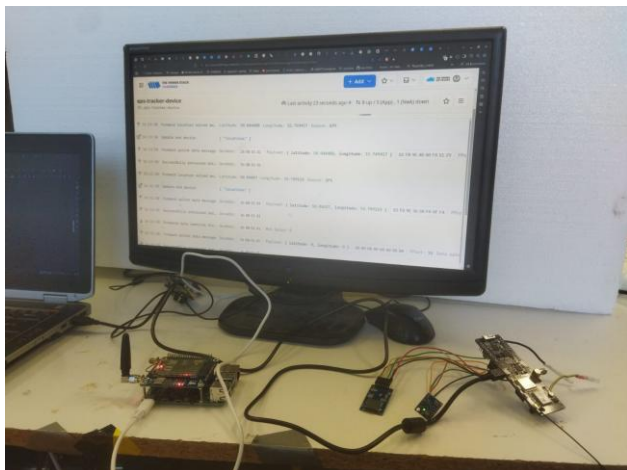
Komunikace a napájení LoRaWAN brány



Obrázek č. 20 Schéma komunikace a napájení mobilní LoRaWAN brány

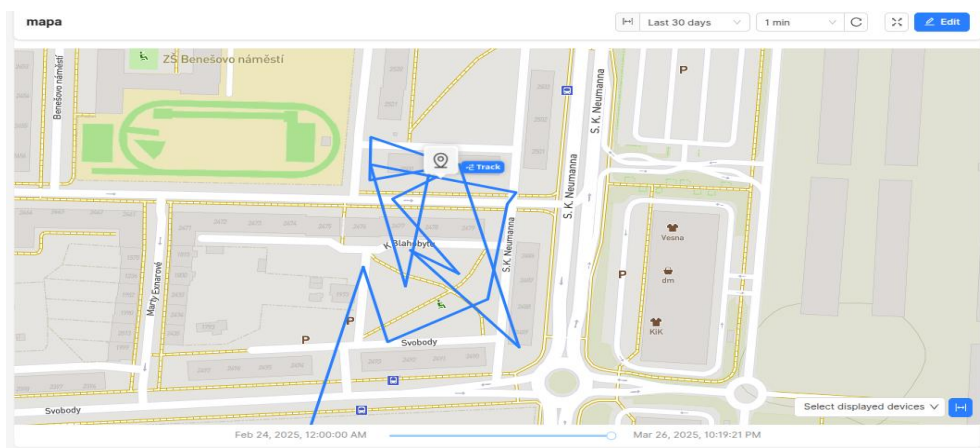
5.3.3 Testování

Dosud proběhlo 5 testů. Část z nich probíhala v otevřené dílně Technecia v rámci testování ukládání dat a přenosu telemetrie mezi zařízením a The Things Network pomocí mobilní LoRaWAN brány.



Obrázek č. 21 Testování přenosu dat v dílně Technecia.

Další část testování probíhala také v městském prostředí Pardubic. Během testu se zařízení pohybovalo rychlostí chůze, a odesílalo data o poloze do sítě každou minutu. GPS souřadnice z trackeru se ukládaly a zobrazovali v cloudové platformě Akenza. V Akenze uložené záznamy byly následně úspěšně importovány do programu QGIS pro další zpracování např. fúzi s daty z IMU jednotky a dalších senzorů 3Tc1_želva trackeru, které se během testu ukládali lokálně na SD kartu.



Obrázek č. 22 Vizualizace pilotního testování v prostředí Akenza

5.3.4 Další vývoj DIY monitorovacího systému

Během vývoje projektu jsme narazili na několik problémů. Síť TTN (The Things Network), kterou využívám pro přenos dat, má určité limity, zejména **omezení duty cycle** (zařízení je

omezeno na 10 příchozích zpráv za den, a za celkový čas vysílání zařízení nesmí nepřekročit 30 sekund za den). Dále je tracker závislý na **nejbližší LoRaWAN bráně**, což může být nevýhodné v odlehlých oblastech s řídkým pokrytím.

Aby tento problém byl překonán, plánujeme přechod na **LoRa Mesh síť**, která umožňuje komunikaci mezi více zařízeními bez nutnosti přímého připojení ke gateway. To znamená, že zařízení mohou předávat data mezi sebou, dokud nedosáhnou brány připojené k internetu. Díky tomu by bylo možné rozšířit pokrytí i v místech, kde nejsou dostupné klasické LoRaWAN brány. Dalším plánovaným vylepšením trackeru bude kamera.

6 ZÁVĚR A DISKUZE

V této práci byly shromážděny a analyzovány relevantní studie z oblasti terénní biologie obratlovců, týkající se biomonitoringu mořských živočichů, zejména želv a metodiky pro vyhodnocení dat z pohledu studia etologie mořských želv se zaměřením na vyhodnocení jejich celkového zdravotního stavu.

Na základě výše zmíněných výsledků odborné rešerše a s ohledem na specifické potřeby plánovaného monitorování želv byl navržen tracker. Jehož cílem je na jaře 2026 vyhodnotit jejich zdravotní stav ve vazbě na postupy záchranných programů na Srí Lance za účelem zlepšení jejich ochrany. Pro tento projekt byly formulovány konkrétní technické požadavky na vyvíjení DIY trackeru.

Na základě zmíněných požadavků byl zkonstruován a úspěšně otestován prototyp tohoto zařízení. Jenž splnil všechny základní požadavky, které na něj byly kladené včetně ceny <175\$. Ten je dále vyvíjen, vylepšován a připravován (v rovině HW i SW) k malosériové výrobě a terénnímu testování v 3Q/2025. Spolu s tím projektový tým připravuje další podpůrné technologie například antény, retranslátory, vodní a létající drony.

Tato práce pokračuje výzkumem zaměřeným na zpracování podrobné metodiky biomonitoringu s využitím navrženého DIY trackeru v terénních podmínkách na Srí Lance na jaře 2026.

Tento přístup, inspirovaný osvědčenými postupy z aktuálního výzkumu, představuje ucelené řešení pro hodnocení efektivity ochrannářských programů a přispěje k vytvoření otevřené databáze pro další výzkum mořských ekosystémů, jež nabízí studie „A standardisation framework for bio-logging data to advance ecological research and conservation“ (Sequeira et al., 2022).

Naše spolupráce byla záměrně rozdělena, Barbora se věnovala části rešerše a vyhodnocování dat, a Pavel návrhu zařízení a následnému sestavení. Právě díky této spolupráci se podařilo vybrat vhodnou metodiku pro plánovaný výzkum. A jsme rádi, že naše SOČ bude prakticky využita a pomůže zjistit potřebné informace, a tím zlepšit přímou ochranu želv na Sri Lance.

POUŽITÁ LITERATURA

1947 Kemp's Ridley Sea Turtle Nesting. Online. In: Youtube. 2007. Dostupné z: <https://youtu.be/W4u3GL9SyyM?si=awXpvLWbFWgbjqSZ>. [cit. 2025-02-03].

AKENZA AG. Akenza documentacion. Online. Dostupné z: <https://docs.akenza.io/akenza.io>. [cit. 2025-03-28].

Arduino Docs. Online. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment/>. [cit. 2025-03-28].

Arkwright, A. C., Archibald, E., Fahlman, A., Holton, M. D., Crespo-Picazo, J. L., Cabedo, V. M., ... & Wilson, R. P. (2020). Behavioral biomarkers for animal health: a case study using animal-attached technology on loggerhead turtles. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 504.

Ballorain, K., Bourjea, J., Ciccione, S., Kato, A., Hanuise, N., Enstipp, M., ... & Georges, J. Y. (2013). Seasonal diving behaviour and feeding rhythms of green turtles at Mayotte Island. *Marine Ecology Progress Series*, 483, 289-302.

Berube, M. D., Dunbar, S. G., Rützler, K., & Hayes, W. K. (2012). Home range and foraging ecology of juvenile hawksbill sea turtles (*Eretmochelys imbricata*) on inshore reefs of Honduras. *Chelonian Conservation and Biology*, 11(1), 33-43.

Bhowmik, A., Motivarash, Y. B., Mohale, H. P., & Sarang, N. (2025). Implementation of TED (Turtle Excluder Device) for Turtle Protection.

Block, B. A., Jonsen, I. D., Jorgensen, S. J., Winship, A. J., Shaffer, S. A., Bograd, S. J., ... & Costa, D. P. (2011). Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. *Nature*, 475(7354), 86-90.

Bowen, Brian W., and S. A. Karl. "Population genetics and phylogeography of sea turtles." *Molecular ecology* 16.23 (2007): 4886-4907.

Carey, F. G., Kanwisher, J. W., Brazier, O., Gabrielson, G., Casey, J. G., & Pratt Jr, H. L. (1982). Temperature and activities of a white shark, *Carcharodon carcharias*. *Copeia*, 254-260.

Casey, J. P., James, M. C., & Williard, A. S. (2014). Behavioral and metabolic contributions to thermoregulation in freely swimming leatherback turtles at high latitudes. *Journal of Experimental Biology*, 217(13), 2331-2337.

Cloud-integrations: Akenza. Online. In: Thethingsindustries.com. Dostupné z: <https://www.thethingsindustries.com/docs/integrations/cloud-integrations/akenza/>. [cit. 2025-03-24].

Davis, F. (2007). *The man who saved sea turtles: Archie Carr and the origins of conservation biology*. Oxford University Press.

Delgado, C., Valente, A., Quaresma, I., Costa, M., & Dellinger, T. (2011). Blood biochemistry reference values for wild juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) from Madeira archipelago. *Journal of Wildlife Diseases*, 47(3), 523-529.

Diggins, R., Burrie, R., Ariel, E., Ridley, J., Olsen, J., Schultz, S., ... & Lloyd, J. (2022). A review of welfare indicators for sea turtles undergoing rehabilitation, with emphasis on environmental enrichment. *Animal Welfare*, 31(2), 219-230.

ECLIPSERA S.R.O. Čtečka karet – MicroSD. Online. Dostupné z: <https://navody.drtek.cz/navody-k-produktum/data-logger-shield.html>. [cit. 2025-03-28].

Grady, J. M., Enquist, B. J., Dettweiler-Robinson, E., Wright, N. A., & Smith, F. A. (2014). Evidence for mesothermy in dinosaurs. *Science*, 344(6189), 1268-1272.

Halfyard, E. A., Webber, D., Del Papa, J., Leadley, T., Kessel, S. T., Colborne, S. F., & Fisk, A. T. (2017). Evaluation of an acoustic telemetry transmitter designed to identify predation events. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(9), 1063-1071.

Hays, G. C., Houghton, J. D., & Myers, A. E. (2004). Pan-Atlantic leatherback turtle movements. *Nature*, 429(6991), 522-522.

Holland, K. N., Brill, R. W., Chang, R. K., Sibert, J. R., & Fournier, D. A. (1992). Physiological and behavioural thermoregulation in bigeye tuna (*Thunnus obesus*). *Nature*, 358(6385), 410-412.

Horning, M., & Mellish, J. A. E. (2009). Spatially explicit detection of predation on individual pinnipeds from implanted post-mortem satellite data transmitters. *Endangered Species Research*, 10, 135-143.

Hounslow, J. L., Fossette, S., Chong, W., Bali, R., Tucker, A. D., Whiting, S. D., & Gleiss, A. C. (2023). Behaviour-specific spatiotemporal patterns of habitat use by sea turtles revealed using biologging and supervised machine learning. *Journal of Applied Ecology*, 60(9), 1828-1840.

Fuller, W. J., Broderick, A. C., Phillips, R. A., Silk, J. R. D., & Godley, B. J. (2008). Utility of geolocating light loggers for indicating at-sea movements in sea turtles. *Endangered Species Research*, 4(1-2), 139-146.

Chambault, P., Dalleau, M., Nicet, J. B., Mouquet, P., Ballorain, K., Jean, C., ... & Bourjea, J. (2020). Contrasted habitats and individual plasticity drive the fine scale movements of juvenile green turtles in coastal ecosystems. *Movement ecology*, 8, 1-15.

- Chevis, M. G., Godley, B. J., Lewis, J. P., Lewis, J. J., Scales, K. L., & Graham, R. T. (2017). Movement patterns of juvenile hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* at a Caribbean coral atoll: long-term tracking using passive acoustic telemetry. *Endangered Species Research*, 32, 309-319.
- Chung, H., Lee, J., & Lee, W. Y. (2021). A review: marine bio-logging of animal behaviour and ocean environments. *Ocean Science Journal*, 56, 117-131.
- Jeantet, L., Planas-Bielsa, V., Benhamou, S., Geiger, S., Martin, J., Siegwalt, F., ... & Chevallier, D. (2020). Behavioural inference from signal processing using animal-borne multi-sensor loggers: a novel solution to extend the knowledge of sea turtle ecology. *Royal Society Open Science*, 7(5), 200139.
- Jeantet, L., Vigon, V., Geiger, S., & Chevallier, D. (2021). Fully convolutional neural network: a solution to infer animal behaviours from multi-sensor data. *Ecological Modelling*, 450, 109555.
- Jones TT, Bostrom B, Carey M, Imlach B, Mickelson J, et al.. (2011) Determining transmitter drag and best-practice attachment procedures for sea turtle biotelemetry studies. NOAA Tech Mem NOAA-NMFS-SWFSC-480.
- Kopp, M., Peter, H. U., Mustafa, O., Lisovski, S., Ritz, M. S., Phillips, R. A., & Hahn, S. (2011). South polar skuas from a single breeding population overwinter in different oceans though show similar migration patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 435, 263-267.
- LASKAKIT. Nabíječka + boost pro USB Powerbank 5V 4,5A, 2x USB, rychlonabíjení. Online. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/nabijecka-boost-pro-usb-powerbank-5v-4-5a--2x-usb--rychlonabijeni/>. [cit. 2025-03-28].
- Lidgard, D. C., Bowen, W. D., Jonsen, I. D., & Iverson, S. J. (2014). Predator-borne acoustic transceivers and GPS tracking reveal spatiotemporal patterns of encounters with acoustically tagged fish in the open ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 501, 157-168.
- LILYGO LoRa Series examples: LilyGo-LoRa-Series. Online. In: Github.com. 2020. Dostupné z: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-LoRa-Series>. [cit. 2025-03-24].
- Meylan, P. A., Meylan, A. B., & Gray, J. A. (2011). The ecology and migrations of sea turtles 8. Tests of the developmental habitat hypothesis. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2011(357), 1-70.
- Miller JD (1996) Reproduction in Sea Turtles. In: Lutz PL, Musick JA (eds) The Biology of Sea Turtles. CRC
- Mortimer, J.A & Donnelly, M. (IUCN SSC Marine Turtle Specialist Group). 2008. *Eretmochelys imbricata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2008*: e.T8005A12881238.

NOAA Fisheries. Online. Dostupné z: <https://www.fisheries.noaa.gov/>. [cit. 2025-02-12].

Okuyama, J., Nakajima, K., Noda, T., Kimura, S., Kamihata, H., Kobayashi, M., ... & Yamada, H. (2013). Ethogram of immature green turtles: behavioral strategies for somatic growth in large marine herbivores. *PLoS One*, 8(6), e65783.

OpenAI. (2023). DeepSeek-V3 [Model jazykové umělé inteligence]. Dostupné na: <https://www.openai.com>

Plotkin, P. T., Wicksten, M. K., & Amos, A. F. (1993). Feeding ecology of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the Northwestern Gulf of Mexico. *Marine Biology*, 115, 1-5.

Press, Boca Raton, p 51-81 (ex Storch 2003)

Rakotoson, L. N. (2007). The Need for International Legal Protection of Sea Turtles and the Enforcement of Seafood Ecolabelling Standards.

Rattenborg, N. C., Voirin, B., Cruz, S. M., Tisdale, R., Dell’Omo, G., Lipp, H. P., ... & Vyssotski, A. L. (2016). Evidence that birds sleep in mid-flight. *Nature communications*, 7(1), 12468.

Richardson, P. B., Broderick, A. C., Coyne, M. S., Ekanayake, L., Kapurusinghe, T., Premakumara, C., ... & Godley, B. J. (2013). Satellite telemetry reveals behavioural plasticity in a green turtle population nesting in Sri Lanka. *Marine biology*, 160(6), 1415-1426.

ROBOKITS.CO.IN. HW-290/GY-87 10DOF 3axis Gyro, Acceleration, Magnetometer & Air Pressure Sensor. Online. Dostupné z: <https://robokits.co.in/sensors/gyroscope-and-inertial-imu/hw-290-gy-87-10dof-3axis-gyro-acceleration-magnetometer-air-pressure-sensor>. [cit. 2025-03-28].

Sakamoto, K. Q., Miyayama, M., Kinoshita, C., Fukuoka, T., Ishihara, T., & Sato, K. (2021). A non-invasive system to measure heart rate in hard-shelled sea turtles: potential for field applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1830), 20200222.

Sequeira, A. M., O'Toole, M., Keates, T. R., McDonnell, L. H., Braun, C. D., Hoenner, X., ... & Weise, M. (2021). A standardisation framework for bio-logging data to advance ecological research and conservation. *Methods in Ecology and Evolution*, 12(6), 996-1007.

Shaver, D. J., Hart, K. M., Fujisaki, I., Rubio, C., & Sartain, A. R. (2013). Movement mysteries unveiled: spatial ecology of juvenile green sea turtles. *Reptiles in research: investigations of ecology, physiology, and behavior from desert to sea*, 463-484.

Schofield, G., Katselidis, K. A., Pantis, J. D., Dimopoulos, P., & Hays, G. C. (2007). Female–female aggression: structure of interaction and outcome in loggerhead sea turtles. *Marine Ecology Progress Series*, 336, 267-274.

Schorr, G. S., Falcone, E. A., Moretti, D. J., & Andrews, R. D. (2014). First long-term behavioral records from Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*) reveal record-breaking dives. *PloS one*, 9(3), e92633.

Spotila, J. R. (2004). *Sea turtles: a complete guide to their biology, behavior, and conservation*. JHU Press.

Stašová, P. (2020). Monitoring ochrany mořských želv na Sri Lance.

Svobodová, H. (2008). Příčiny ohrožení mořských želv.

SWOT Report, Vol. XVI. Online. In: The State of the World's Sea Turtles (SWOT). 2021. Dostupné z: <https://www.seaturtlestatus.org/articles/olive-ridleys-the-quirky-turtles-that-conquered-the-world>. [cit. 2025-02-27].

SX1302/SX1303 Hardware Abstraction Layer and Tools: sx1302_hal. Online. In: Github.com. 2020. Dostupné z: https://github.com/Lora-net/sx1302_hal. [cit. 2025-03-24].

Tabrizi, A. (Režisér a hlavní role). (2021). *Seaspiracy* [Dokumentární film]. A.U.M. Films, Disrupt Studios; Netflix.

TECHFUN. *LTE 4G modul A7670E s GPS/GNSS*. Online. Dostupné z: <https://techfun.cz/produkt/lte-4g-modul-a7670e-s-gpsgnss/>. [cit. 2025-03-28].

The IUCN Red List of Threatened Species™. Online. 2008, 2024-2. Dostupné z: <https://www.iucnredlist.org/search/grid?query=sea%20turtles&searchType=species>. [cit. 2025-02-02].

THE THINGS NETWORK NEW YORK. Sample code for generating a locally-administered EUI, following the IEEE 802. Online. Github.com. Dostupné z: <https://github.com/things-nyc/random-eui64>. [cit. 2025-03-28].

Tisdell, C. A., & Wilson, C. (2003). Open-cycle hatcheries, tourism and conservation of sea turtles: Economic and ecological analysis.

Tyack, P. L., Johnson, M., Soto, N. A., Sturlese, A., & Madsen, P. T. (2006). Extreme diving of beaked whales. *Journal of Experimental Biology*, 209(21), 4238-4253.

Watanabe, Y. Y., & Papastamatiou, Y. P. (2023). Biologging and biotelemetry: tools for understanding the lives and environments of marine animals. *Annual Review of Animal Biosciences*, 11(1), 247-267.

WAVESHARE ELECTRONICS CO.,LTD. SX1302 868M LoRaWAN Gateway. Online. Dostupné z: https://www.waveshare.com/wiki/SX1302_868M_LoRaWAN_Gateway. [cit. 2025-03-24].

Wood, L. D., Brunnick, B., & Milton, S. L. (2017). Home range and movement patterns of subadult hawksbill sea turtles in Southeast Florida. *Journal of Herpetology*, 51(1), 58-67.

Zhang, F. Y., Li, P. P., Gu, H. X., & Ye, M. B. (2011). Hematology, morphology, and ultrastructure of blood cells of juvenile olive ridley sea turtles (*Lepidochelys olivacea*). *Chelonian Conservation and Biology*, 10(2), 250-256.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek č. 12: Metodika vývoje

Obrázek č. 13: Schéma fungování monitorovacího systému mořských želv

Obrázek č. 14: vývojová deska T-Beam, funkční základ LoRa trackeru

Obrázek č. 15: schéma implementace trackeru na bázi vývojové platformy T-BEAM a platformy Akenza

Obrázek č. 16: schéma napájení trackeru

Obrázek č. 17: schéma komunikace trackeru

Obrázek č. 18: Vizuál dílčích komponentů

Obrázek č. 19: Raspberry Pi osazené hardwarem pro komunikaci LoRa

Obrázek č. 20: Schéma komunikace a napájení mobilní LoRaWAN brány

Obrázek č. 21: Testování přenosu dat v dílně Technecia

Obrázek č. 22: Vizualizace pilotního testování v prostředí Akenza

Tabulka č. 1: Tabulka znázorňující Kategorie ohroženosti podle IUCN mořských želv v roce 2024

Tabulka č. 2: Tabulka s technologiemi s nejdelším dosahem (mimo satelitní komunikace)

Tabulka č. 3: Tabulka znázorňující parametry zařízení použitých k monitorování mořských želv

Tabulka č. 4: Shrnutí klíčových parametrů trackeru 3Tc1_želva

7 PŘÍLOHY

7.1 Podrobnosti k použitému softwaru a hardwaru

7.1.1 Arduino IDE

Arduino IDE je oblíbené vývojové prostředí pro programování mikrokontrolerů Arduino. Jeho hlavní výhodou je jednoduchost a intuitivní uživatelské rozhraní, které umožňuje snadné psaní, kompilaci a nahrávání kódu na Arduino desky. IDE podporuje širokou škálu knihoven a rozšíření, což usnadňuje práci s různými senzory a moduly. Navíc je open-source, což je s kombinací velké komunity uživatelů vždy nejlepší případ.

7.1.2 LoRa Gateway project

Tento software byl vyvinut společností Semtech, která je známá svými inovacemi v oblasti bezdrátových technologií a IoT (Internet of Things). Semtech se specializuje na vývoj a výrobu polovodičových produktů, které umožňují připojení a komunikaci mezi zařízeními. Jejich technologie LoRa je široce používána pro bezdrátové komunikace. Tento software je součástí jejich portfolia a poskytuje hardwarovou abstrakční vrstvu pro moduly SX1302/SX1303, což usnadňuje vývoj a implementaci LoRa gateway řešení.

Projekt obsahuje různé pomocné programy, nejvýznamnější z nich je packet forwarder, který umožňuje přenos MAC rámců mezi SX1302 modulem a serverem přes IP/UDP spojení. To zajišťuje flexibilitu při implementaci různých scénářů použití, projekt je open source.

The Things Network (TTN) je otevřená a globální síť, která poskytuje pokrytí pro zařízení využívající LoRaWAN technologii. Díky tomu je umožněno sledovat polohu trackeru kdekoli v pokrytí sítě.

TTN má velkou a aktivní komunitu uživatelů a vývojářů. Díky tomu je k dispozici mnoho zdrojů, dokumentace a podpory na řešení různých problémů.

Tato síť podporuje integrace s cloudovými platformami pro snadné posílání dat ze zařízení připojených k síti. (Anyviz, Akenza, azure IOT central, Thinger.io, ...), díky kterým je možné data spolehlivě vizualizovat, a ukládat jejich historii.

7.1.3 Platforma Akenza

Integrací platformy Akenza s TTN, dosáhnou jednoduché vizualizace dat, aniž by se musela například vyvíjet webová aplikace. Integrace probíhá pomocí API klíčů, sloužícím k udělování přístupu ke správě zařízení v síti The Things Network, díky kterým získá platforma přístup k zařízením a jejich odesílaným datům.

Na platformě lze následně vytvořit skript na zpracovávání dat ze zařízení, a data vizualizovat pomocí pár kliknutí. Platforma sama začne zaznamenávat data ukládat do databáze, takže jsou dostupná pro statistiku a v mém případě pro historii polohy.

7.2 Důvody vybraného HW

7.2.1 GPS tracker: LilyGO TTGO T-Beam v1.2

Zařízení obsahuje:

ESP32 mikrokontroler – Výkonný dvoujádrový procesor, který nabízí nízkou spotřebu energie, což je ideální pro bateriově napájené aplikace. Díky široké škále periférií, je ESP32 velmi flexibilní a vhodný pro různé projekty a aplikace, od IoT zařízení po komplexní projekty.

SX1276 pro komunikaci na 868/915Mhz, je navržen tak, aby poskytoval dlouhý dosah komunikace při nízké spotřebě energie pro LoRa komunikaci. Je proto ideální pro IoT aplikace a zařízení napájená z baterií.

NEO-6M je GPS modul od firmy U-blox.

AXP2101 je PMU jednotka (Power management unit), která spravuje monitorování a napájení 21700 baterie a napájení komponent na desce přes ní, díky tomu je zařízení připraveno být napájeno z baterie přímo z výroby.

Kombinace SX1276, NEO-6M, a ESP32 umožňuje vytvořit energeticky úsporné řešení pro sledování polohy a bezdrátovou LoRaWAN komunikaci. T-Beam je tudíž ideální volba pro tuto implementaci.

7.2.2 HW-290 (IMU)

Zařízení obsahuje:

MPU6050: čip protřísý gyroskop a tříosý akcelerometr s vestavěným digitálním pohybovým procesorem (DMP) pro zpracování pohybových dat.

HMC5883L: čip pro tříosý užitečný pro kompasování a orientaci

BMP180: Snímač barometrického tlaku který dokáže měřit také nadmořskou výšku.

Zařízení tedy představuje kompaktní řešení pro logování relevantních dat.



7.2.3 Raspberry Pi 4B

Raspberry Pi je relativně výkonné zařízení v poměru s jeho velikostí a odběrem proudu, protože díky použití ARM procesoru celé zařízení odebírá maximálně 15 W. Raspberry Pi používá linuxovou distribuci Rasbian OS, která je založená na distribuci Debian, linux je důvod, proč je zvoleno právě raspberry, protože umožňuje použití softwaru od waveshare na zprovoznění brány do Things Network.

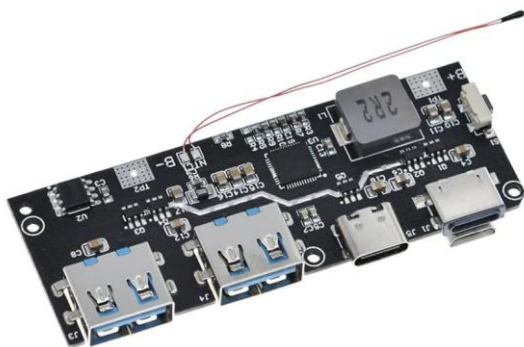
Co se týče jeho velikosti, je srovnatelná s profilem kreditní karty. Díky komunitě jsou na zařízení dostupné takzvané HAT, což jsou desky s moduly, uzpůsobené k připojení do pinů na Raspberry Pi. HAT Jsou téměř plug and play, stačí v nastavení Raspberry Pi povolit sériovou komunikaci a modul je správně zapojen a připraven k interakci.

7.2.4 SX1302 LoRaWAN Gateway HAT

HAT pro Raspberry Pi, který podporuje protokol LoRaWAN. Tento modul integruje jádro LoRa gateway modulu SX1302.

HAT obsahuje mini-pcie sběrnici, do které je připojen modul SX1302 a poskytuje mu propojení s Raspberry Pi, navíc má také GPS modul L76K, díky kterému lze sledovat polohu brány.

7.2.5 PMU jednotka (Power Management Unit)



Tento obvod je navržen pro efektivní řízení napájení systému, zejména Raspberry Pi. Jeho hlavní funkce zahrnují:

Ochrana baterie: Obsahuje obvody pro ochranu před přebíjením, hlubokým vybitím či přetížením, čímž prodlužuje životnost baterií.

Efektivní nabíjení: Nabízí snadný způsob, jak nabíjet Li-ion, LiPo typ baterií.

Stabilizaci napětí: Zajišťuje stabilní výstupní napětí pro Raspberry Pi.

7.2.6 LTE 4G modul A7670E



Umožňuje se připojit k internetu přes LTE signál

7.2.7 Detektor hladiny (na bázi TDS senzoru)

TDS senzor měří koncentraci rozpuštěných látek ve vodě, což umožňuje přesné monitorování kvality vody. V kontextu detekce hladiny může být použit k identifikaci změn v koncentraci rozpuštěných látek při různých úrovních vody. Tento přístup je ideální pro aplikace, kde je důležité sledovat čistotu vody nebo detekovat její hladinu v nádržích.



7.3 Podrobné Shrnutí klíčových parametrů monitorovacího zařízení 3Tc1_želva (Lora End Node)

komponenta	počet	hmotnost (g)	kapacita/odběr
T-Beam ESP32 GNSS modul + LoRa(867Mhz)	1	32	195mA
SD modul	1	5	40mA
HW-290 (IMU) + tlakoměr a teploměr	1	2	15mA
Baterie 21700	2	65	5000mah
Anténa 868	1	8	
Anténa GPS	1	27	
celkem hmotnost		204	
celkem odběr (maximální zátěž)			249,6
reálný odběr			180mAh
celkem kapacita			10000mAh

Shrnutí klíčových parametrů GPS

komponenta	počet	hmotnost (g)	kapacita/doběr
SX1302 HAT+ Raspberry Pi	1	92	Max 1,5 A
868MHz Anténa na dronu	1	8	
GPS anténa	1	27	
LTE anténa	1	8	
LTE modul	1	13	špička více než 2 A
Baterie 21700	4	65	5000mah
PMU jednotka TP4056	1	13	
celkem hmotnost		434	
Maximální odběr			3,5A
reálný odběr			1A
celkem kapacita			20000mAh

Shrnutí klíčových parametrů gateway