

MASARYKOVA UNIVERZITA  
FAKULTA INFORMATIKY



# **Nástroj pro hromadné zpracování a vizualizaci telemetrických dat pro systém Baara**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Michal Prokeš**

Brno, jaro 2013

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že tato diplomová práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

Michal Prokeš

**Vedoucí práce:** Mgr. Šimon Řeřucha, Ph.D.

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Mgr. Šimonovi Řeřuchovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování této práce.

Zvláštní dík patří panu Mgr. Tomášovi Bartoničkovi, Ph.D. za přínosné konzultace.

Na závěr bych rád poděkoval rodině a přátelům za jejich podporu a trpělivost.

## Shrnutí

Tato práce se věnuje zpracování dat ze základního zoologického výzkumu, který využívá automatický telemetrický systém Baara pro sledování živočichů. Cílem práce bylo analyzovat požadavky, navrhnout a implementovat informační systém, který umožní přípravu prvotních dat pro jejich další vyhodnocení. Systém zahrnuje automatizované fitrování a třídění vstupních dat, jejich vizualizaci na mapovém podkladě a nástroje pro jejich interaktivní úpravy. Výstupem systému jsou poziční informace jedinců v čase, která lze uložit ve formátu vhodném pro další zpracování pomocí nástrojů GIS. Implementovaný systém BaaraIS, který již byl v testovacím režimu nasazen při terénním výjezdu, vhodně doplňuje technické vybavení systému Baara a umožňuje snadné zpracování pořízených dat z probíhajícího výzkumu.

## **Klíčová slova**

rádiová telemetrie, systém BAARA, lokalizace vysílače v terénu, informační systém

## Obsah

1	Úvod . . . . .	1
2	Popis problémové oblasti . . . . .	3
2.1	Lokalizace živočichů s využitím rádiové telemetrie . . . . .	3
2.1.1	Rádiové sledování s ručním přijímačem . . . . .	4
2.1.2	Satelitní sledování . . . . .	4
2.1.2.1	Systémy satelitního přesného určení polohy (GPS a GLONASS) . . . . .	5
2.1.2.2	Systém satelitního přenosu dat (Argos) . . . . .	5
2.1.3	Automatická rádiová telemetrie . . . . .	6
2.2	Telemetrický systém Baara . . . . .	6
2.2.1	Princip systému . . . . .	6
2.2.2	Zaměření systémem Baara . . . . .	7
2.2.3	Systém GTAG . . . . .	7
2.2.4	Zaměření ručním přístrojem . . . . .	7
2.2.5	Zpracování získaných dat . . . . .	8
2.3	Terénní výzkum se systémem Baara . . . . .	8
2.3.1	Metodologie výzkumu . . . . .	8
2.3.2	Terénní výjezd . . . . .	9
2.3.3	Kvantitativní požadavky na získaná data . . . . .	10
2.3.4	Projekt evoluční biogeografie kaloně egyptského ( <i>Rousettus aegyptiacus</i> ) . . . . .	10
3	Specifikace systému . . . . .	12
3.1	Specifikace systému . . . . .	12
3.2	Funkční požadavky . . . . .	12
3.3	Nefunkční požadavky . . . . .	13
4	Analýza a návrh systému . . . . .	15
4.1	Metodika vývoje . . . . .	15
4.2	Aktéři systému . . . . .	15
4.3	Případy užití . . . . .	16
4.4	Architektura aplikace . . . . .	21
4.4.1	Členění na vrstvy a části . . . . .	21
4.5	Aplikační vrstva (Business Tier) . . . . .	23
4.5.1	Servisní vrstva . . . . .	23
4.5.2	Import . . . . .	24
4.5.3	Export . . . . .	24
4.5.4	Filtrace a modifikace . . . . .	25
4.5.5	Repozitář . . . . .	25

4.6	Doménový model aplikace . . . . .	25
4.7	Návrh úprav systému Baara . . . . .	26
4.8	Formáty vstupních dat . . . . .	28
4.8.1	XLS s ručními záznamy . . . . .	28
4.8.2	Záznamy systému Baara . . . . .	28
5	<b>Implementace a validace</b> . . . . .	29
5.1	Platforma . . . . .	29
5.1.1	Správce projektu Maven . . . . .	29
5.1.2	Java EE . . . . .	30
5.2	Aplikační logika . . . . .	30
5.3	Prezentační webová vrstva . . . . .	30
5.3.1	Prezentační rámec Stripes . . . . .	31
5.3.2	Tomcat 7 embedded . . . . .	31
5.3.3	Front-end framework Twitter Bootstrap . . . . .	31
5.3.4	Mapová knihovna Leaflet . . . . .	32
5.4	Trvalé uchování dat . . . . .	32
5.5	Návrh UI . . . . .	32
5.6	Popis implementovaných iterací . . . . .	33
5.6.1	Přírůstek I - sběr dat v terénu . . . . .	33
5.6.2	Přírůstek II - zpracování nasbíraných dat . . . . .	33
5.7	Ukázka aplikace . . . . .	33
5.8	Testování a validace . . . . .	34
6	<b>Diskuze</b> . . . . .	36
7	<b>Závěr</b> . . . . .	38
	Literatura . . . . .	38
A	<b>Obsah CD</b> . . . . .	43
B	<b>Návod k použití</b> . . . . .	44
B.1	Spuštění na MS Windows . . . . .	44
B.2	Spuštění na Linuxu . . . . .	44
B.3	Po prvním spuštění aplikace . . . . .	44
B.4	Práce s mapovým rozhraním . . . . .	45
B.4.1	Nástrojová lišta . . . . .	45
B.4.2	Boční panel . . . . .	46
B.4.3	Stavová lišta . . . . .	46
C	<b>Postup kompilace ze zdrojového kódu</b> . . . . .	47

# 1 Úvod

Tato práce se věnuje oblasti hromadného zpracování dat během základního zoologického výzkumu. Typickou úlohou takového výzkumu je co nejpodrobněji zaznamenat pohyb jedinců modelové skupiny v průběhu dne a následnou analýzou získat nové poznatky o jejich chování. Historicky nejjednodušší metodou bylo přímé pozorování jedinců, které je přirozeně velmi náročné a navíc interferuje s přirozeným chováním zvířat. Později se pro sledování začalo využívat radiových vysílačů, upevněných na zvířata, což umožnilo vyloučit přímý kontakt a zvětšilo akční dosah metody. S rozvojem elektroniky pak vzniklo několik systémů, které umožňují odhadnout pozici vysílače automatizovaně.

Běžně využívané automatizované způsoby sběru pozičních dat často nejsou kvůli fyzickým omezením aplikovatelné na malé živočichy. Pro tyto modelové skupiny vyvíjí tým z Ústavu přístrojové techniky Akademie věd ve spolupráci se zoology z univerzit systém automatických zaměřovacích stanic Baara, který snižuje nároky na hmotnost sledovaného jedince za cenu náročnějšího zpracování získaných dat. První nasazení v terénním výzkumu ukázalo, že objem nasbíraných dat je až řádově větší oproti ručním metodám a že zpracování tohoto množství dosud používanými postupy je z časového hlediska velmi obtížné. Proto je vhodné vyvinout a nasadit nástroj na podporu jejich zpracování.

Cílem práce je pro systém Baara vyvinout informační systém, který umožní zpracovat změřená data a transformovat je na informace o pohybu využitelné pro další výzkum. Základními funkčními prvky bude automatizované předzpracování dat, jejich vizualizace na mapovém podkladě a nástroje pro jejich úpravy. Na systém je kladeno i několik nefunkčních požadavků, například ergonomie a logika ovládání musí být přizpůsobena pro netechnický personál, který jej bude využívat v terénních podmínkách. V práci bude provedena analýza požadavků na tento systém, jeho návrh a implementace. Výsledkem práce bude informační systém, který doplní technické vybavení systému Baara, umožní zpracování dat z probíhajícího výzkumu a bude připraven na další rozvoj.

Pro snadnou orientaci je práce rozdělena do tematických kapitol. První kapitola se zabývá problematikou telemetrického sledování pohybu živočichů, technologickými možnostmi takového sledování, včetně omezujících faktorů u malých živočichů a dále se věnuje principu fungování automatického telemetrického systému Baara a stručně také popisuje, jak funguje výzkum s jeho využitím. Třetí kapitola se věnuje požadavkům na informační



system, jehož vývoj je předmětem této práce. Následuje čtvrtá kapitola, ve které je požadovaný systém důkladně zanalyzován a je navržena jeho budoucí struktura tak, aby splnil dříve specifikované požadavky. V páté kapitole jsou popsány využívané technologie při implementaci tohoto systému a také způsob ověření funkčnosti a splnění požadavků. Předposlední kapitola je věnována diskusi nad vývojem systému a v závěrečné kapitole zhodnotím výsledek této práce a nastíním, jak by měl vývoj systému dále pokračovat.

## 2 Popis problémové oblasti

Monitorování pohybu živočichů je běžnou součástí zoologických výzkumů a vědcům slouží k pochopení chování jednotlivých druhů. Aby byly informace ucelené, je třeba získat a zpracovat velké množství pozičních dat, k čemuž je zapotřebí nejen měřicí technika, ale také vhodný informační systém, který data pomůže dát do souvislostí a zpracovat.

V této kapitole budou popsány současné technologie umožňující monitorování pohybu živočichů včetně jejich omezení. Dále bude představen nově vyvíjený systém Baara, který umožní automaticky sledovat mnohem menší živočichy, než bylo dosud možné, a stručně bude popsán také výzkum, na němž je tento systém v současnosti experimentálně testován. Tyto informace poskytnou dostatečný základ pro orientaci v problematice, kterou bude řešit informační systém vyvíjený v rámci této práce.

### 2.1 Lokalizace živočichů s využitím rádiové telemetrie

*Telemetrie* je obecný pojem užívaný pro jakékoli vzdálené měření dat nezávisle na přenosovém médiu. Při sledování živočichů nelze omezit jejich pohyb, proto se využívá bezdrátová *rádiová telemetrie*, což je speciální případ telemetrie využívající pro přenos dat rádiové vlny. Sledování pohybu pomocí rádiové telemetrie se označuje jako *rádiové sledování* (radio tracking). Rádiová telemetrie umožní získávat údaje o pozici jedince na dálku a výrazně tak snížit vliv pozorovatele na jeho chování. Možnost zaměřovat jedince i na větší vzdálenosti navíc umožňuje získat větší množství dat pro výzkum.

Princip zoologického výzkumu rádiovým sledováním je takový, že sledovaní jedinci jsou odchyceni a na tělo je jim připevněn vysílač, dále označovaný jako *tag*, který je uzpůsoben danému druhu nejen velikostí, ale i způsobem uchycení. Sledovaný jedinec je pak vrácen do přírody a pozorovatelé mohou jeho pozici monitorovat na dálku. Způsob sběru, ale i přesnost a množství získaných dat pak závisí na zvolených systémech, které budou rozebrány podrobněji v jednotlivých podkapitolách. U menších živočichů, jimiž se tato práce zabývá, je limitujícím faktorem pro výběr vhodného systému, případně kombinace systémů, váha *tagu*, který mohou nést, aniž by je významně zatěžoval či mohl mít významný vliv na jejich chování. Dalšími faktory je pak prostředí ve kterém žijí, denní či noční aktivita, délka a samozřejmě cíl výzkumu.

### 2.1.1 Rádiové sledování s ručním přijímačem

Nejdéle využívaná tradiční metoda pro sledování pohybu živočichů je rádiové sledování, kdy je každý pozorovaný jedinec vybaven *tagem* vysílajícím na unikátní frekvenci. Výzkumník se pohybuje přímo v terénu s ručním přijímačem rádiového signálu naladěného na frekvenci hledaného jedince a pomocí směrové antény jej vyhledává. Přijímač je vybaven signalizací síly signálu a dle ní pozorovatel odhadne směr, odkud je signál přijímán. Výstupem měření v terénu je seznam udávající pozici pozorovatele, sílu signálu na předem definované škále a azimut obvykle odečtený z buzoly. Požadovaný poziční údaj se získá až následujícím výpočtem.

Výhodou tohoto systému je při sledování malých živočichů zejména fakt, že může pracovat s velmi malými *tagy*, jejichž hmotnost začíná již na 0,3 g. Příkladem může být TXA-000G od firmy Telenax [1].

Nevýhodou je nízká přesnost lokalizace vysílače daná vlastnostmi rádiových vln, které se v terénu různě odráží a lomí a které jsou využity pro výpočet směru a vzdálenosti od přijímače. Další významnou nevýhodou je náročnost výzkumu na lidské zdroje a čas potřebný na jedno zaměření, což se projeví zejména malým množstvím získaných dat.

### 2.1.2 Satelitní sledování

V posledních desetiletích se stále více prosazují systémy využívající komunikaci se satelity. Výhodou těchto systémů je možnost přesné lokalizace, ale i globální sledování bez nákladného zaměřování v terénu. Nevýhodou je zejména hmotnost *tagů*, které musí sledovaný jedinec unést, která i přes úspěšnou miniaturizaci neklesá pod 10 g. U těch nejlehčích *tagů* dochází z energetických důvodů k prodloužení intervalu lokalizace z jednotek minut i na desítky hodin, což je sice dostatečné pro sledování migrace stěhovavých ptáků, ale působí zásadní překážku při sledování živočicha žijícího na malém území.

V současnosti lze využít dvou typů satelitních systémů. Systémy přesného určení polohy vysílající z orbitu na zem údaje, z nichž lze vypočítat polohu přijímače, a systém satelitního přenosu dat (Argos) naopak naměřená data přijímá prostřednictvím satelitů a přeposílá zpět na Zem. Tyto systémy pracují na jiném principu, a jsou tak spíše vhodným doplňkem než konkurencí.

### 2.1.2.1 Systémy satelitního přesného určení polohy (GPS a GLONASS)

Systémy přesného určení polohy využívají satelity, které se pohybují po definovaných trasách na orbitě tak, aby pozemní přijímač vždy viděl více satelitů. Satelity vysílají na zem signál se zakódovanou aktuální pozicí a časem odeslání a pozemní přijímače po dekodování určí porovnáním údajů ze zachycených satelitů svou pozici na zemi. Přesnost se odvíjí od počtu satelitů, jejichž data se podařilo přijmout, a pro správné určení polohy je třeba zachytit alespoň tři, respektive čtyři satelity pokud požadujeme i údaj o výšce. Kódovou metodou lze dosáhnout přesnosti na metry až decimetry.

Nejvyužívanějším systémem je GPS (Global Positioning System) provozovaný americkou armádou od roku 1960. Z počátku byl využíván výhradně americkým námořnictvem, ale uvolnění systému pro civilní potřeby v 90. letech a zejména zrušení záměrné chyby v roce 2000 přineslo velké možnosti nejen pro výzkum.

Konkurenčním systémem je ruský armádní systém GLONASS (Global Navigation Satellite System), který dosáhl globálního pokrytí teprve v roce 2011 a plánovaných 31 satelitů má na orbitě až od ledna 2012. Tento systém pracuje na obdobném principu a přestože je využitelný samostatně, přístroje pracující s tímto systémem obvykle podporují i americký GPS a předpokládá se spíše využití přesnější lokalizace díky propočtům vůči satelitům obou systémů [2]. Ve výstavbě jsou další obdobné systémy: evropský civilně řízený projekt Galileo a čínský COMPASS.

*Tagy* využívající satelitní systém přesného určení polohy jsou vybaveny přijímačem satelitního signálu a v daných intervalech vypočítávají a ukládají svoji pozici. Zaznamenané údaje je třeba z *tagu* získat jinou technikou, což může být fyzické stažení údajů nebo i vzdálený přenos s využitím jiné technologie.

### 2.1.2.2 Systém satelitního přenosu dat (Argos)

Argos je satelitní systém vyvinutý pro globální sběr a následnou distribuci naměřených dat. Umožňuje přenos dat z pozemních přijímačů k satelitům a jejich přeposlání zpět do pozemních operačních center, odkud se po internetu dostanou k uživatelům v reálném čase. Pokud není *tag* vybaven přijímačem GPS/GLONASS pro přesnější určení polohy, vypočte operační centrum polohu pomocí Dopplerova posunu s přesností v ideálním případě 150 m, ale mnohdy i s přesností v řádu jednotek kilometrů [3].

*Tagy* využívající Argos jsou vybaveny vysílačem a posílají data v daných intervalech k satelitu. Nová platforma Argos 3 přichází dokonce s obou-

směrnou komunikací, a je tak možné *tagy* vybavené i přijímačem vzdáleně ovládat či programovat. Pro přesné určení polohy lze využít přijímač systému GPS/GLONASS a naměřená data zaslat prostřednictvím Argos spolu s ostatními údaji.

### 2.1.3 Automatická rádiová telemetrie

Sledování ručními přístroji je náročné na lidské zdroje přímo v terénu, což v důsledku znamená malé množství dat a využití spíše pro krátkodobější výzkumy. Sledování s využitím satelitní techniky sice umožňuje získat dostatečné množství přesných výzkumných dat, ale není dostupné pro malé živočichy, kteří neunesou 10g zátěž. Tento fakt vylučuje z výzkumu tři čtvrtiny všech žijících savců a ptáků.

S alternativou pro malé živočichy přišel tým Wikelski et al. [4], který vybudoval v roce 2003 systém ARTS (The Automated Radio Telemetry System), což byla síť automatických stanic sbírajících telemetrická data klasické rádiové telemetrie bez nutnosti využít ruční přístroje v terénu. Tento systém byl pevně spjat s panamským tropickým ostrovem Barro Colorado a skončil svou činnost v roce 2010. Jediným známým komerčním systémem je Encounternet, jehož stanice nezaznamenávají směr k sledovanému *tagu*, ale jen jeho přítomnost v dosahu stanice [5].

V současnosti je vyvíjen automatický systém *Baara*, kterému je vzhledem k důležitosti pro tuto práci věnována následující podkapitola 2.2.

## 2.2 Telemetrický systém Baara

Automatizovaný telemetrický systém Baara vyvíjí tým z Ústavu přístrojové techniky AV ČR, Masarykovy univerzity a Karlovy. Tento systém využívá klasické rádiové telemetrie pro sledování malých zvířat, ale výzkumníky s ručními přístroji nahrazuje sítí přenositelných automatických stanic, které data sbírají automaticky. Snaží se tak poskytnout maximum z automatizovaného sledování s využitím miniaturních *tagů* [6].

### 2.2.1 Princip systému

Systém sestává ze stanic, které se rozmístí v terénu a automatizovaně lokalizují pozici *tagů* přilepených na odchycených jedincích zkoumaného druhu. Stacionární stanice je vybavena čtyřmi směrovými anténami a porovnáním síly signálu na jednotlivých anténách určí směr, odkud byl signál zachycen, a ze síly signálu odhadne vzdálenost. Toto automatizované měření umož-

ňuje daleko častější zaměření jedinců, než se v praxi podaří ruční telemetrií, a poskytuje tak podrobnější informace o sledovaném pohybu.

Odhad vzdálenosti je prováděn na základě síly zachyceného signálu (dále jen *RSSI*) a vzhledem k chování rádiových vln v terénu je, stejně jako u ruční telemetrie, zatížen významnou chybou okolo 15°. Pro zpřesnění pozičních údajů se u systému Baara počítá s jejich dalším zpřesňováním na základě paralelního zaměření z více stanic, ale i srovnáním s dalšími typy pozorování, jako například pomocí přímého dohledání jedince v terénu prostřednictvím ručního přístroje.

### 2.2.2 Zaměření systémem Baara

Sledovaný jedinec je opatřen miniaturním *tagem*, který má přidělen jedinečný frekvenční kanál. Monitorovací stanice Baara v časových úsecích poslouchají na dané frekvenci (skoky po 25 kHz) a zaznamenávají čas, frekvenci a sílu zachyceného signálu na jednotlivých anténách. Naměřené hodnoty jsou silně ovlivněné prostředím. Nerovnosti terénu, povrch, překážky, ale i letová výška jedince mají velký vliv na získané hodnoty, z kterých se následně vypočte odhadovaný směr a vzdálenost od stanice.

### 2.2.3 Systém GTAG

Pro sledování kaloně egyptského byl vyvinut systém GTAG [7], který využívá lokace pomocí GPS a který svou váhou 9 g umožňuje sledovat živočichy již od 130 g tělesné hmotnosti.

Důsledkem snížené hmotnosti je možnost zaznamenat pohyb během maximálně tří nocí. Ve dne je u tohoto nočního živočicha *tag* přepnut do režimu úspory energie. Záznamy lze získat vzdáleně jen na malou vzdálenost (60 m laboratorně, 25 m ověřeno v reálných podmínkách). Tento GTAG je mimo přijímače GPS vybaven také vysílačem rádiové telemetrie kompatibilního se systémem Baara, což nejenže umožní dohledání *tagu* pro stažení dat, ale také souběžné sledování téhož jedince systémem Baara a následné porovnání záměrů.

### 2.2.4 Zaměření ručním přístrojem

Automatický sběr dat stanicemi Baara a systémem GTAG je doplněn prací výzkumníků v terénu s klasickým ručním zaměřovačem. Výzkumníci dohledávají sledované jedince a jejich pozici zaznamenávají včetně informace o potravní nabídce v místě a dalších datech relevantních k výzkumu.

Zapíše se síla signálu z měřicího přístroje (několik stupňů intenzity), směr odečtený z buzoly, geografické souřadnice odečtené z GPS zařízení a poznámky. Do poznámek se v případě bezprostřední blízkosti jedince zaznamenává zejména právě požídaná potrava či potravní možnosti v okolí, jeho chování a další poznámky, které výzkumník považuje za zajímavé pro pozdější zkoumání. Za noc jsou zaznamenány řádově desítky záznamů o měření (cca 20–150).

Ruční měření je časově náročné a závislé na lidských zdrojích v terénu. Získaných dat je tak řádově méně než z automatických stanic a jejich přesnost není příliš vysoká až na výjimku zaměřování z bezprostřední blízkosti po dohledání jedince. Tyto záměry, často potvrzené vizuálním pozorováním, jsou velmi přesné a lze je tak následně využít k verifikaci a zpřesnění automaticky zaznamenaných dat.

### 2.2.5 Zpracování získaných dat

Data ze systému Baara, GTAG a z ručního dohledání budou následně zkombinována, odfiltrována a zpřesněna za pomoci vyvíjeného podpůrného informačního systému, jehož vývoj je předmětem této práce a je popisován v následujících kapitolách.

## 2.3 Terénní výzkum se systémem Baara

V předchozí sekci byl popsán princip systému Baara. Nyní bude představen průběh typického výzkumu využívajícího tento systém a stručně představen konkrétní výzkum kaloně egyptského, na kterém je v současnosti systém Baara experimentálně testován.

### 2.3.1 Metodologie výzkumu

Typický výzkum využívající systém Baara sestává z přípravné fáze, kdy je na základě oblasti, živočišného druhu, jehož pohyb chceme monitorovat, ale samozřejmě také s ohledem na cíle výzkumu a tedy množství a přesnost dat, která potřebujeme získat, určen počet stanic Baara, které monitorování budou provádět, typy *tagů*, které budou využity, ale také počet a délka terénních výjezdů (sessions), které je třeba podniknout, například z důvodu porovnání jednotlivých ročních období, případně délka dlouhodobého pozorování.

Druhou fází je fáze monitorovací, neboli terénní, při které dochází k monitorování jedinců v terénu. Díky relativně snadné mobilitě stanic Baara je

možné dlouhodobé projekty rozdělit na více kratších terénních výjezdů, jejichž průběh rozebereme v následující sekci 2.3.2. Na závěr každého terénního výjezdu je třeba nasbíraná data zpracovat, zejména vyfiltrovat a zpřesnit.

Teprve odfiltrovaná a zpřesněná data zkombinovaná z různých zdrojů lze zpracovat v komplexních GIS nástrojích a provádět na nich například statistické analýzy vedoucí k novým poznatkům o chování sledovaného druhu.

### 2.3.2 Terénní výjezd

Terénní část výzkumu využívajícího systém Baara se soustředí na získání pozičních údajů o sledovaných jedincích.

Nejprve je třeba vytipovat lokalitu, ve které budeme chtít získávat lokalizační údaje, a vybrat vhodné umístění stanic Baara. Následně je provedeno kalibrační měření. Stejný *tag*, kterým budou monitorována zvířata, je přemístěn v rámci dané lokality a jeho přesná pozice je zaznamenávána GPS přijímačem. Ze získaných dat jsou následně vypočteny kalibrační konstanty, které budou využity pro výpočet pozičních údajů z dat naměřených systémem Baara.

Následně jsou odchyceni jedinci daného druhu a vybráni ti, kteří budou sledováni. Výběr závisí na daném výzkumném projektu, obvykle se jedná o reprezentativní vzorek celé populace, tedy zástupci obou pohlaví i každé generace. Jedinci vybraní pro sledování jsou očíslováni a jsou zaznamenány údaje, jako je pohlaví a odhadované stáří. Následně jsou jedinci opatřeni *tagem*, díky němuž budou moci být sledováni. Před propuštěním je k identifikačním údajům jedince zaznamenán unikátní kanál přiděleného *tagu*.

Pro zoologický výzkum obvykle nejsou samotné poziční údaje dostačující, proto nejsou jedinci sledováni jen pomocí automatického systému Baara, ale vědci je dohledávají pomocí kompatibilních ručních přístrojů a po jejich dohledání prozkoumají místo, aby mohli poziční údaje doplnit o potravní nabídku a další zajímavé pozorování. Zaměření sledovaných jedinců z jejich ručních přístrojů je rovněž zaznamenáno a zejména zaměření na krátké vzdálenosti bude moci sloužit k zpřesnění pozičních dat získaných ze systému Baara.

Během sledování jsou ze systému Baara stahována naměřená data a je třeba je za pomoci vyvíjeného informačního systému nejen přepočítat na pozice jedinců v čase, ale rovněž zkombinovat s daty naměřenými jinou technikou než systémem Baara. V této fázi výzkumu jsou podstatné informace o počtu validních záznamů jednotlivými technikami u všech jedinců,



aby vědci věděli, jaká data je třeba ještě získat, aby bylo sledování validní. V této fázi se rovněž zkoumá, zda jsou záznamy ze systému Baara ověřitelné s dalšími technikami a zda se některé záznamy nejeví jako nedůvěryhodné. V takovém případě by bylo třeba důkladně ověřit případné rušení, které by mohlo měření zneplatnit. Rovněž se během tohoto zpracování vytipovávají místa, která je třeba prozkoumat, protože se na nich vyskytují sledování jedinci často nebo dlouho a dá se předpokládat že se jedná o úkryty či místa s dobrou potravní nabídkou.

Po skončení terénních prací je nutné získaná data pomocí vyvíjeného systému zkombinovat a co možné nejvíce zpřesnit. Jde tedy o vyřazení nedůvěryhodných pozičních záznamů a zpřesnění pozic zejména na základě porovnání s dalšími záznamy v malém časovém okně.

### 2.3.3 Kvantitativní požadavky na získaná data

Aby bylo možné získaná data statisticky zpracovat, musejí vzorky splňovat i dostatečné kvantitativní parametry, které je třeba sledovat již během terénních prací, aby se výzkumníci mohli zaměřit na získání chybějících dat. Důležité je zejména mít dostatek záznamů každého jedince, a to alespoň z definovaného počtu dnů. Za účelem ověření korektnosti dat je pak zásadní také dohledání každého jedince na velmi malou vzdálenost pomocí ručního přístroje, v ideálním případě ho přímo spatřit, a to v průběhu více dní.

### 2.3.4 Projekt evoluční biogeografie kaloně egyptského (*Rousettus aegyptiacus*)

Systém Baara je experimentálně testován na projektu evoluční biogeografie kaloně egyptského, na kterém bude experimentálně testován i vyvíjený informační systém.

Kalon egyptský je býložravec živící se převážně ovocem. Na sběr plodů se vydává v noci, zatímco přes den vyhledává úkryt v jeskyních či budovách. Zemědělci ho považují za velkého škůdce, který ničí úrodu, a tak jsou často kolonie kalon cílem útoků. Hmotnost kaloně dosahuje maximálně 180 g.

Kritériem pro úspěšně zmapovaného jedince ruční dohledávkou jsou lokační údaje alespoň ze třech nocí. Sleduje se zhruba 5–30 zvířat zároveň během každého výjezdu do terénu. Výjezdy je více, aby bylo možné porovnat chování mezi různými ročními obdobími. Cílem výjezdu je splnit kritéria měření pro 30 jedinců s dostatečným zastoupením obou pohlaví. Pro

všechny výjezdy je snaha provádět měření za co nejpodobnějších podmínek (zejména stejné rozmístění monitorovacích stanic, stejné *tagy*). Smyslem opakování výjezdů je sledování rozdílů v chování v různých ročních obdobích či v závislosti na sezónní potravní nabídce.

### 3 Specifikace systému

V předchozí kapitole byla rozebrána problematika sledování živočichů prostřednictvím rádiové telemetrie, nastíněn právě probíhající výzkum kaloně egyptského a popsán systém Baara, který umožňuje automatické rádiové sledování. Ukázalo se, že systém produkuje velké množství dat, která je třeba před vlastním výzkumem profiltrovat, porovnat data získaná různými technikami a v neposlední řadě také upravit na základě znalostí terénu a dalších specifik ovlivňujících věrohodnost i přesnost dat. Množství naměřených dat, souvislost mezi nimi a složitost operací, které je třeba pro jejich zpracování vykonat, přináší potřebu informačního systému pro jejich zpracování.

Tato kapitola specifikuje informační systém, který umožní potřebné zpracování dat souvisejících se systémem Baara. Specifikace systému probíhá dle metodiky unifikovaného vývoje software v prvotní fázi vývoje a jejím úkolem je definovat, k čemu má systém sloužit, jaké funkce má poskytovat a jaká jsou omezení pro jeho nasazení [8]. Konečně definujeme konkrétní požadavky na systém, které rozdělíme na funkční a nefunkční.

#### 3.1 Specifikace systému

Cílem je vyvinout informační systém pro automatický telemetrický systém Baara popsáný v sekci 2.2. Úkolem vyvíjeného systému je podpořit terénní výzkum se systémem Baara a zpracovat naměřená data do takové podoby, aby na nich bylo možno provádět výzkum, zejména sjednotit formát lokalizačních údajů získaných různými telemetrickými metodami v rámci výzkumu, odfiltrovat nevalidní záznamy, zpřesnit odhad pozice sledovaného objektu matematickými výpočty, vizualizovat údaje za účelem dofiltrování a zpřesnění odhadu pozice výzkumníkem na základě jeho pozorování. Výstupem systému jsou pak data pro geografický informační systém, ve kterém se v rámci výzkumu dále zpracovávají.

#### 3.2 Funkční požadavky

Funkční požadavky definují služby, které bude systém poskytovat, jak bude reagovat na vstupy a jak se zachová v konkrétních situacích. Můžeme je rozdělit na uživatelské, psané v přirozeném jazyce, a systémové detailně rozepsané, které slouží obvykle jako příloha kontraktu mezi vývojáři a kupujícími. Tato sekce se bude věnovat pouze uživatelským funkčním požadav-

kům, které budou podrobněji rozepsány během analýzy systému v sekci 4.3.

1. **Import dat.** Systém umožní vložit do systému data z automatického systému *Baara* popsaného v sekci 2.2, záznamy pořízené klasickou rádiovou telemetrií a ze systému GTAG, popsaného v sekci 2.2.3.
2. **Vizualizace dat.** Zobrazení dat v systému na mapě, s možností odlišit jednotlivé typy telemetrických dat, zvýraznit shluky zaměřených pozic a trasovat pohyb jednotlivce. Systém umožní ovládat samostatně jednotlivé mapové vrstvy.
3. **Automatické úpravy dat systému Baara.** Systém provede automatickou filtraci záznamů pořízených systémem Baara a také triangulaci pozic jedince, který byl v malém časovém okně zachycen více stanicemi.
4. **Ruční úpravy dat.** Systém umožní výzkumníkovi zneplatnit záměry, které se pozorováním ukáží jako chybné. Může se jednat například o rušení rádiového spektra v některých místech a časech, případně zpřesnění pozic na základě výzkumných pozorování. Systém umožní jak zneplatnění záznamu, tak změnu jeho pozice.
5. **Správa metadat.** Systém umožní spravovat údaje potřebné ke zpracování dat, jako jsou zejména údaje o sledovaných jedincích či výpočetní konstanty pro stanice Baara.
6. **Validace získaných dat.** Systém ověří dle konstant evidovaných v projektu, kteří jedinci naplnili plán a pro které je třeba ještě získat více údajů, aby splnili kritéria a mohli být využiti ve výzkumu.
7. **Export dat pro další zpracování.** Systém umožní export dat ve formátu, který umožní jejich další výzkumné zpracování pomocí GIS softwaru ArcGIS.

#### 3.3 Nefunkční požadavky

Nefunkční požadavky jsou obecnějšího charakteru než funkční a mezi nejčastější patří požadavky na způsob ovládání systému, výkonové požadavky, nároky na hardware, jaké standardy má dodržovat, ale také škálovatelnost či udržitelnost.

1. **Nízké nároky.** Systém musí být schopen provozu na běžných notebookích a měl by mít co nejméně požadavků na provozovaný hardware i software.
2. **Intuitivní ovládání.** Systém musí být intuitivní a snadno ovladatelný i netechnickým uživatelem, bude užíván především biologickými výzkumníky.
3. **Snadno rozšiřitelný.** Systém musí být snadno rozšiřitelný zejména o další algoritmy pro filtraci a zpřesnění naměřených dat a nové formáty vstupních i výstupních dat.
4. **Použitelný offline.** Systém musí být snadno instalovatelný a použitelný na přenosných počítačích v terénu, a to i bez přístupu k internetu.

## 4 Analýza a návrh systému

Předchozí kapitola specifikuje základní požadavky na informační systém pro podporu zpracování dat pořízených systémem Baara. Úkolem systému je přijmout telemetrická data různých typů a umožnit jejich jednotné zpracování, jako filtraci, zpřesnění matematickými výpočty, ale i vizualizaci dat výzkumníkovi a následné ruční úpravy. Výstupem ze systému jsou data využitelná pro výzkum chování sledovaného živočišného druhu.

V této kapitole budou dosud stručně specifikované požadavky na systém zanalyzovány a následně bude navržena struktura vyvíjeného informačního systému popsána s pomocí standardizovaného modelovacího jazyka Unified Modeling Language, dále jen *UML* [8].

### 4.1 Metodika vývoje

Pro vývoj systému byla zvolena metodika přírůstkového vývoje [9], která nejvíce odpovídá potřebám projektu. Přírůstkový model začíná základní specifikací systému, následují fáze specifikace, vývoje a validace jednotlivých přírůstků, které probíhají souběžně, respektive je možno mezi nimi přecházet a jejich výstupem jsou jednotlivé funkční iterace programu.

Přírůstkový model byl zvolen s ohledem na možné změny v požadavcích, které se vzhledem k užití pro zpracování dat základního výzkumu očekávají. Díky možnosti použití první iterace programu při terénním výjezdu budou získané praktické poznatky využity pro jeho druhou iteraci. Takto nastavený model vývoje bude možné využít i pro vývoj dalších iterací systému.

Pro přehlednost nebude tato kapitola dělena na jednotlivé iterace, v kterých je systém vyvíjen.

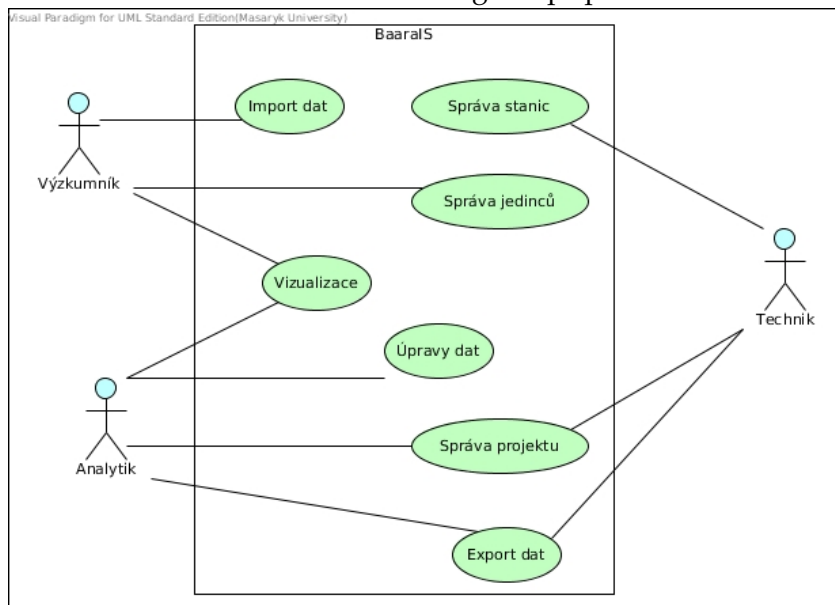
### 4.2 Aktéři systému

Aktér je externí entita zastávající roli v systému a se systémem bezprostředně komunikuje. Obvykle je to osoba, která může zastávat i více rolí, ale také to může být jiný informační systém nebo i čas v případě pravidelných úloh [8].

S vyvíjeným systémem budou komunikovat následující aktéři:

- **Výzkumník** Osoba, která do systému vkládá data pořízená v rámci výzkumu, včetně dat stažených ze stanice a data si vizualizuje.

Obrázek 4.1: Diagram případů užití



- **Analytik** Osoba, která si prohlíží naměřená data, provádí jejich filtraci a zpřesnění, ověřuje, zda jsou získaná data validní a pro které jedince jsou již data validní. Dále pomocí vizualizace vytipovává místa ve kterých se záznamy jeví nereálné, aby bylo možné ověřit případné problémy se stanicí či rušením v daném místě.
- **Technik** Nastavuje konstanty pro výpočet pozice, které získal při kalibraci systému Baara.

### 4.3 Případy užití

V předchozí sekci byly popsány aktéři, kteří komunikují se systémem. Nyní je třeba najít případy užití systému pro tyto aktéry.

Hledání případů užití je základní analytickou technikou při definici požadavků na systém. Případ užití popisuje konkrétní akci iniciovanou vždy aktérem, ne systémem samotným. Pro popis případu užití lze v jednodušších případech použít textový popis, ve složitějších pak jeden či více grafických modelů. Případ užití by měl obsahovat nejen popis posloupností činností, které má systém v reakci na podnět provést, ale také definovat reakci na chyby [8, 9, 10].

Hranice systému a vztahu aktérů k jednotlivým případům užití lze vhodně

popsat pomocí UML diagramu případů užití. Jeho funkcí je přehledně ukázat kdo a co se systémem bude dělat a poskytnout tak čtenáři základní orientaci v systému nutnou k pochopení jednotlivých případů užití. Vzhledem k množství případů užití by diagram obsahující všechny případy neplnil výše uvedené funkce a proto místo konkrétních případů užití uvádí intuitivně pojmenované skupiny souvisejících případů užití, které mohou být následně rozkresleny v poddiagramech a vytvořit tak jejich hierarchickou strukturu.

Diagram na obrázku 4.1 ukazuje první úroveň případů užití analyzovaného systému a vzhledem k intuitivnosti zařazení jednotlivých případů užití do skupin z diagramu nebudou podrobnější diagramy rozkresleny, ale budou přímo rozebrány jednotlivé případy užití.

Pro popis jednotlivých případů užití neexistuje konkrétní UML standard. Obvykle se definuje pomocí strukturovaného scénáře případu užití, který obsahuje název, jedinečný identifikátor, stručný popis, zapojené aktéry, vstupní podmínky, hlavní scénář, výstupní podmínky a případné alternativní scénáře [8]. Složitě případy užití lze doplnit vhodnými standardizovanými diagramy, jako je sekvenční diagram či diagram stavového stroje.

V této sekci jsou případy užití pro přehlednost specifikovány obvykle jen číslem v roli jednoznačného identifikátoru, názvem a popisem.

1. **Úprava konstant projektu** Systém zobrazí evidované konstanty pro daný projekt, Uživatel je upraví a potvrdí, Systém údaje uloží.
2. **Úprava stanic Baara** Systém zobrazí seznam stanic, Uživatel vybere požadovanou stanici a Systém zobrazí nastavení dané stanice. Uživatel změní požadované údaje a potvrdí. Systém uloží nastavení.
3. **Úprava číselníku ruční telemetrie** Systém zobrazí převodní tabulku mezi slovním popisem síly signálu a vzdáleností zaměřeného objektu od pozorovatele. Technik upraví existující hodnoty nebo doplní nové a akci potvrdí. Systém následně uloží údaje a přepočte odhad vzdálenosti u příslušných dat v systému.
4. **Import dat ze systému Baara** Systém zobrazí adresář ze kterého přijímá data ze systému Baara, Výzkumník do něj data nahraje a potvrdí. Systém provede import dat o stanicích a jejich konfiguracích, následně provede import jednotlivých záměrů, vypočte na základě svého nastavení předpokládanou pozici a zneplatní data, která nejsou validní.



5. **Import dat ruční telemetrie** Systém zobrazí adresář, ze kterého přijímá data pořízená ručními přístroji, Výzkumník do něj nahraje data v definovaném formátu popsaném v sekci 4.8.1 a potvrdí import. Systém data importuje a zobrazí Výzkumníkovi která data nebylo možné přijmout a je nutné je opravit.
6. **Import dat systému GTAG** Systém zobrazí adresář, ze kterého přijímá data pořízená systémem GTAG, Výzkumník do něj data nahraje a potvrdí import. Systém data importuje.
7. **Import dat ve formátu GPX** Systém zobrazí adresář, ze kterého přijímá data pořízena GPS přístrojem, Výzkumník do něj data nahraje a potvrdí import. Systém data naimportuje.
8. **Export dat dle jedince** Systém zobrazí adresář, do kterého bude data exportovat, Uživatel potvrdí export a Systém vytvoří převede všechny validní záznamy do formátu CSV a uloží záznamy do souboru, dále vytvoří příslušnou adresářovou strukturu a uloží do jednotlivých souborů záznamy dle jedince a *noci* a souhrnného souboru pro každého jedince.
9. **Export dat systému Baara** Systém zobrazí cestu k souboru, do kterého bude data exportovat, Uživatel potvrdí export, Systém převede všechny záznamy pořízené systémem Baara do formátu CSV a uloží do souboru.
10. **Export dat, které nebylo možné importovat** Systém zobrazí adresář, do kterého bude data exportovat, Uživatel potvrdí export, Systém vytvoří pro každý typ dat, které se nepodařilo importovat soubor a do něj vloží záznamy tak, jak byly do systému vloženy.
11. **Modifikace dat pomocí triangulace** Uživatel vyvolá akci Trianguluj záznamy ze systému Baara a Systém dle algoritmu popsaném v sekci 4.5.4 porovná záměry z jednotlivých stanic a zpřesní odhad pozice zaměřovaného vysílače.
12. **Filtrace nereálných dat** Uživatel vyvolá akci Odfiltruj nereálné záznamy ze systému Baara a Systém dle algoritmu popsaném v sekci 4.5.4 a zneplatní záznamy, které znamenají pohyb rychlostí, kterou daný živočišný druh nebyl schopen vyvinout.
13. **Filtrace nereálné vzdálenosti od stanice Baara** Uživatel vyvolá akci, Systém porovná vypočtenou vzdálenost zaměřeného vysílače od po-

slouchající stanice Baara a pokud vzdálenost překročí stanovenou mez, zneplatní záznam.

14. **Filtrace záměrů mimo daný časoprostor** Uživatel vyvolá akci, Systém porovná záznamy s nastavením projektu a zneplatní záznamy, jejichž čas pořízení či lokalita neodpovídá. Systém dále přehledně zobrazí o jaká data se jedná tak, aby byl Uživatel schopen identifikovat, proč jsou data chybná. Předpokládá se, že tento problém nastane zejména chybně nastavenými souřadnicemi stanice Baara, či chybně zadaným datem pořízení u ručně vyplňovaných údajů.
15. **Statistika projektu** Systém zobrazí souhrnné údaje o evidovaných záměrech a porovná je s nastavením pro validní data jedince tak, aby Uživatel byl schopen snadno identifikovat, pro kterého jedince dosud nebylo pořízeno dostatek validních dat a data jakého typu u něj chybí. Validní jedinec má ( $k, l, n$  jsou konstanty pro projekt): záznamy z alespoň  $k$  nocí, alespoň  $k$  záznamů, alespoň  $k$  záznamů z ručního přístroje s naměřenou vzdáleností maximálně  $l$  m během alespoň  $n$  nocí.
16. **Vizualizace jedince v noci** Uživatel vybere *Jedince* a *Noc* a systém do mapy vykreslí záměry daného *Jedince* v danou *Noc*. Mimo odhadnutého umístění zobrazí také pozici *Stanic Baara* a spojnic mezi zaměřovaným vysílačem a přijímačem. Systém rovněž vizuálně oddělí záznamy různých typů a jasně označí záznamy upravované Uživatelem. Systém zobrazovaná data rozdělí do vrstev a umožní je Uživateli zapínat a vypínat.
17. **Zúžení vizualizovaného časového okna** Uživatel pracující v režimu vizualizace dat vyvolá akci Změň časové okno a udá jeho časový počátek a konec. Systém upraví zobrazená data tak, aby odpovídala nastavenému časovému oknu.
18. **Přehrání pohybu vizualizovaného Jedince** Uživatel nastaví velikost přehrávacího časového okna a vyvolá akci Přehraj pohyb *Jedince*, Systém ponechá začátek zobrazeného časového okna dle aktuálního nastavení a konec nastaví tak, aby odpovídal zvolenému přehrávacímu oknu. V krátkých časových intervalech systém okno posouvá a Uživatel tak sleduje záměry tak, jak byly postupně zaměřeny. Systém dále nabídne možnost dočasného pozastavení přehrávací akce a následně ruční posun na předchozí a následující okno.

19. **Shlukování vizualizovaných záměrů** Uživatel pracující v režimu vizualizace dat vyvolá akci Shluknout záměry a Systém skryje aktuálně zobrazené záznamy a nahradí je vizualizací míst, kde se nachází jejich shluky, které označí číslicí symbolizující počet zastoupených záměrů. Po najetí na shluk zobrazí konvexní obal těchto záměrů a po kliknutí umožní přiblížení, které data přerozdělí do menších shluků.
20. **Přiblížení mapy dle vizualizovaných záměrů** Uživatel vyvolá akci Zoom podle dat a Systém mapu co nejvíce přiblíží a posune tak, aby se na ni vešly všechny odpovídající záměry.
21. **Trasování vizualizovaných záměrů** Uživatel pracující v režimu vizualizace dat vyvolá akci Trasuj záměry a Systém doplní do mapy spojnice bodů tak, jak byly zaznamenány v čase.
22. **Odvolání všech změn dle Jedince a Nocí** Uživatel pracující v režimu vizualizace dat vyvolá akci Smaž všechny změny, Systém se dotáže, zda Uživatel skutečně chce vykonat tuto nevratnou akci. Jestliže Uživatel akci potvrdí, Systém odstraní modifikace záznamů *Jedince* v danou *Noc* provedené v systému a odhadne jejich počet znovu jen na základě dat pořízených do systému.
23. **Zneplatnění záznamů** Uživatel pracující v režimu vizualizace dat vyvolá akci Zneplatnění záznamů, Systém umožní zneplatnit jednotlivé záznamy, nebo označené skupiny zobrazených záznamů a eviduje jejich počet. Uživatel má možnost potvrdit nebo zamítnout provedené změny. Systém na evidovaných záměrech provede požadovanou akci.
24. **Zpřesnění odhadované pozice** Uživatel pracující v režimu vizualizace dat vyvolá akci Úprava dat a Systém následně umožní zobrazené záměry posunovat na jiné pozice. Systém eviduje, které záznamy byly upraveny a zobrazuje jejich počet. Uživatel má možnost akci potvrdit nebo zamítnout a Systém dle zvolené možnosti záměry vrátí na původní místo, nebo uloží jejich novou polohu a označí je jako přesunutě.
25. **Zobrazení detailu záměru** Uživatel pracující v režimu vizualizace dat vyvolá akci Zobraz detail a Systém zobrazí dostupné informace o daném záměru.

#### 4.4 Architektura aplikace

V předchozí sekci byly požadavky na systém převedeny na jednotlivé případy užití, které byly specifikovány tak, aby je bylo možné implementovat. Než to bude možné, je třeba ještě navrhnout architekturu celého systému a rozhodnout, do jakých se bude dělit vrstev.

Po analýze požadavků vycházejících z popisu výzkumu se systémem Baara v sekci 2.3 se nabízí možnost vytvořit tlustou aplikaci, která by obsahovala veškerou funkcionalitu. Vzhledem k tomu, že systém není vyvíjen jen pro účely tohoto výzkumu, ale měl by sloužit jako podpůrný software systému Baara i pro další projekty, bylo nutné se zamyslet nad budoucím vývojem celého systému a zvážit, zda by tato architektura rozvoj systému příliš neomezovala. Vzhledem k připravované možnosti využít GSM síť pro vzdálené stahování dat ze stanic systému Baara, i ke skutečnosti, že výzkumníci v terénu zapisují již nyní své záznamy do PDA zařízení, byla nakonec zvolena architektura klient-server, která umožní systém snadno doplnit o rozhraní pro automatický přenos dat ze stanic Baara, i vkládání údajů o ručních měřeních z terénu v reálném čase.

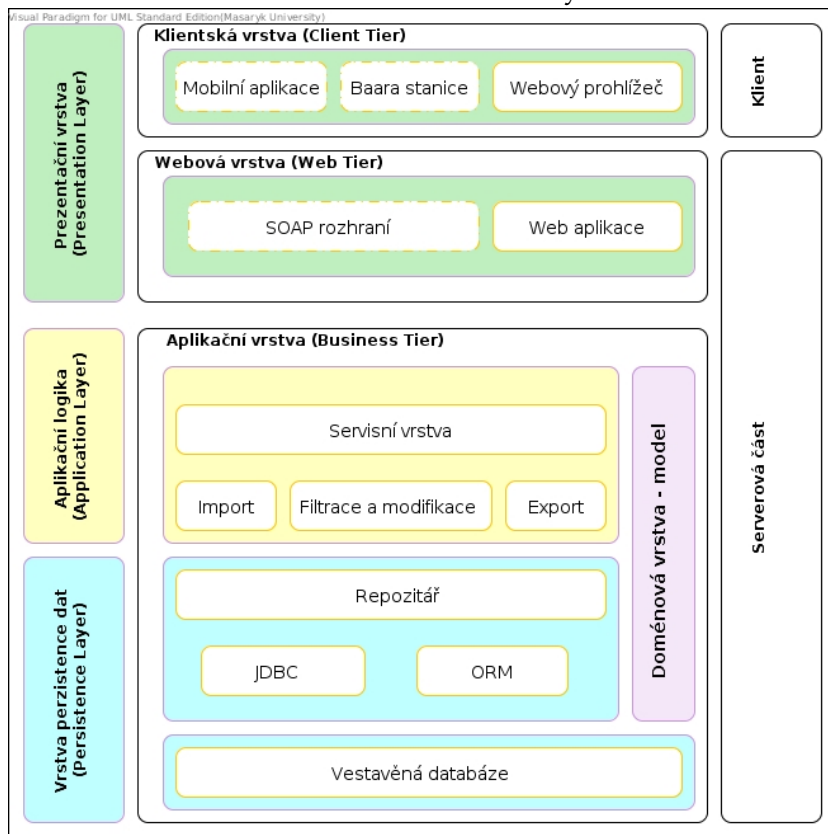
##### 4.4.1 Členění na vrstvy a části

Aplikaci lze členit na logické vrstvy (z anglického Layers), podle toho, za jaké logicky související funkce systému je příslušná vrstva zodpovědná a na fyzické vrstvy (z anglického Tiers), podle toho, v jakých procesech či na jakých fyzických zařízeních tato část systému běží. Z jiného pohledu lze aplikaci dělit na serverovou a klientskou část. Architektura navrhovaného systému je zakreslena na obrázku 4.2.

Navrženy jsou tři logické vrstvy (Layers), na obrázku popsané v prvním sloupci a barevně odlišené v modelu aplikace s následujícími funkcemi:

- **Prezentační vrstva (Presentation Layer)** je zodpovědná za interakci systému s aktéry. Jedná se tedy zejména o uživatelské prostředí, které zobrazuje data v uživatelsky přívětivé podobě a přijímá požadavky na jejich modifikaci. Součástí prezentační vrstvy může být i rozhraní pro externí systémy.
- **Vrstva aplikační logiky (Application Layer)** implementuje vlastní funkcionalitu systému.
- **Vrstva perzistence dat (Persistence Layer)** slouží jako trvalé úložiště dat. Poskytuje rozhraní pro aplikační vrstvu umožňující přístup práci s uchovanými daty.

Obrázek 4.2: Architektura systému BaaraIS



Fyzické vrstvy (Tiers) budou také tři a to:

- **Klientská vrstva (Client Tier)** Fyzická klientská vrstva je součástí logické Prezentační vrstvy a zároveň jako jediná tvoří klientskou část systému. Tato práce předpokládá využití pouze standardního webového prohlížeče, který zastane roli lehkého klienta pro webové rozhraní vyvíjeného systému. Do budoucna se předpokládá implementace mobilní aplikace pro pořizování dat z ručních měření a také implementace soap klienta do nově vyvíjeného modulu pro stanici systému Baara, který by automatizovaně vkládal do systému naměřená data.
- **Webová vrstva (Web Tier)** Webovou vrstvou, tvořenou samostatným modulem, je serverovou částí prezentační vrstvy (Presentation Layer) a jejím úkolem je implementovat interakci s uživatelem, kterou

zprostředkuje klientská vrstva (Client Tier). V rámci této práce bude vyvinuta webová aplikace přístupná z běžného webového prohlížeče, do budoucna se počítá se soap rozhraním pro mobilní klienty a automatizovaný přístup stanic Baara.

- **Aplikační vrstva (Business Tier)** Aplikační vrstva tvoří jádro systému a je popsána v následující samostatné sekci 4.5.

Serverovou část systému bude tvořit Aplikační vrstva (Business Tier) spolu s Webovou vrstvou (Web Tier) a klientská část odpovídá Klientské vrstvě (Client Tier).

### 4.5 Aplikační vrstva (Business Tier)

Aplikační vrstva je jádrem vyvíjené aplikace a její součástí je jak aplikační logika (Application Layer), tak i vrstva persistence dat (Persistence Layer). Rozhraním aplikační logiky je servisní vrstva, která zpřístupňuje funkce aplikace rozdělené na balíky s importními a exportními třídami a balík zajišťující filtraci a modifikaci dat. Rozhraním vrstvy persistence dat je potom vrstva skladiště (Repository), často též nazývaná jako DAO (Data Access Object), která si s aplikační logikou vyměňuje objekty a pomocí ORM či přímo JDBC komunikuje s vestavěnou databází. Vestavěná databáze pak již zajišťuje vlastní uchování a indexaci dat.

Součástí aplikační vrstvy je rovněž doménová vrstva, neboli entitní model, která stojí vedle aplikační logiky a vrstvy persistence dat a poskytuje základní entitní objekty s kterými se v aplikaci pracuje.

V této sekci budou rozebrány jednotlivé části aplikační vrstvy popsané na obrázku 4.2.

#### 4.5.1 Servisní vrstva

Servisní vrstva tvoří rozhraní aplikační logiky pro prezentační vrstvu. Smyslem této vrstvy je poskytnout logicky členěné srozumitelné služby a umožnit prezentační vrstvě efektivně pracovat se systémem bez důkladné znalosti fungování aplikační logiky. K ostatním částem aplikační vrstvy popsaným v následujících sekcích je tedy přistupováno skrze tuto servisní vrstvu.

Vyvíjený systém je složen ze služeb *AcqPositionService*, *BaaraService*, *SubjectService* a *PoiPositionService* s následující funkcionalitou:

- **AcqPositionService** poskytne funkce pro vyhledání zaznamenaných pozičních záznamů dle daného jedince, případně i *denního období*.

Dále poskytne funkce pro zneplatnění daných záznamů, změnu jejich pozice a také možnost vrátit provedené změny na daných záznamech na původně naměřené hodnoty. Obdobně jsou implementovány služby *BaaraAcqPosition* a *ManualAcqPosition* poskytující jen záznamy daného typu.

- **BaaraService** poskytuje funkce specifické pro systém Baara. Jedná se o správu stanic, import záznamů z těchto stanic a přístup k filtřům specifickým pro tento typ záznamů.
- **SubjectService** je rozhraním pro správu jedinců evidovaných v systému.

#### 4.5.2 Import

Importní funkce budou rozděleny dle příslušných typů vstupních dat a budou implementovat jednoduché rozhraní *Importer*. Úkolem těchto tříd je přijmout data v zaznamenaném formátu, unifikovat je, ověřit duplicitu a vložit do systému i s případnými navázanými entitami, jako je třeba dosud nezaznamenaný jedinec (*Subject*).

Jednoduché jsou třídy (*ManualImporter* a *GtagImporter*) importující záznamy z ruční telemetrie, respektive ze systému GTAG. Složitější situace nastává u záznamů ze systému Baara (*BaaraImporter*), které je třeba importovat v různých formátech dle verze firmware a zároveň je požadavek na snadné doplnění či úpravu tohoto formátu. Situace je navíc zkomplikovaná nutností kombinovat metadata o stanicích v čase s jednotlivými záměry. Z těchto důvodů je navrženo rozhraní *BaaraCsvFileFormat*, jehož implementace popisují vstupní CSV soubor, zejména pořadí atributů, jejich parsery a také konkrétní implementaci rozhraní *BaaraCSVFileBean*, která zajistí transformaci vstupních dat na entitní třídu *BaaraAcqPosition*.

#### 4.5.3 Export

Jelikož vyvíjený informační systém slouží pouze k filtraci a zpřesnění dat a následné výzkumné analýzy jsou prováděny v jiných systémech, je podstatné umožnit data ze systému exportovat. V rámci této práce budou implementovány následující exportní třídy:

- **ArcViewExporter** umožní export validních dat v systému vyříděných dle sledovaného jedince. Pro každého jedince vytvoří adresář se souborem pro každé sledované denní období a jeden souhrnný

soubor. Exportovaná data jsou ve formátu CSV importovatelném do ArcView.

- **BaaraCalibrationExporter** pro export dat ze systému Baara včetně provedených modifikací ve formátu CSV. Tyto data budou sloužit k recalibraci systému Baara.

#### 4.5.4 Filtrace a modifikace

V jednom balíku budou soustředěny funkce pro modifikaci záznamů. Jsou to *filtry*, které mohou zneplatnit vybrané záznamy a modifikátory zpřesňující odhad cílové lokace zaměřovaného *tagu*.

Vývoj přesných algoritmů pro jednotlivé filtrace a modifikace probíhá paralelně s touto prací v rámci vývojového týmu systému Baara a také v rámci jiné diplomové práce. V této práci budou vytvořeny jen referenční implementace algoritmů, které nemusí klást důraz na přesnost a správnost, ale budou sloužit k ověření funkcionality jádra systému a budou připraveny k snadné záměně za algoritmy vyvíjené mimo tuto práci.

Referenčně implementovány budou tyto třídy:

- **BaaraGroupModifier** vypočítávající polohu zaměřovaného vysílače na základě záznamů z více stanic Baara v malém časovém okně, například pomocí triangulace těchto záznamů.
- **BaaraLowSignalToNoiseFilter** zneplatňující záznamy ze systému Baara jejichž odstup signálu od šumu je příliš malý.
- **SweepFilter** zneplatňující posloupnost záznamů, která odporuje schopnostem sledovaného druhu živočichů, typicky neschopnost překonat určitou vzdálenost tak rychle.

#### 4.5.5 Repozitář

Balík implementuje DAO vrstvu, čili slouží jako rozhraní k trvalému úložišti dat. Vyšší vrstvy již pracují jen s entitami doménového modelu a nestarají se již o to, kde a jak jsou uchovány.

### 4.6 Doménový model aplikace

Doménový model obsahuje entitní třídy využívané v systému.



Vztahy jednotlivých entit jsou popsány na obrázku 4.3. Hlavní třídou je abstraktní `AcqPosition`, která symbolizuje naměřená poziční data v původních neupravených hodnotách. Tato třída nese informace nezávislé na způsobu měření, zejména tedy vypočítanou pozici záměru a vazbu na sledovaného jedince (třída `Subject`). Od této třídy dědí specializované třídy pro každý typ využívané telemetrie (`BaaraAcqPosition`, `ManualAcqPosition`, `GtagAcqPosition`), které doplňují specifické atributy, metody a případně i další vazby související s daným způsobem měření (`BaaraStation` a `BaaraConfig`).

Jelikož je požadováno záznamy filtrovat i modifikovat, ale zároveň zachovat informaci o naměřených hodnotách i jednotlivých modifikacích a současně má být systém připraven na doplňování dalších matematických algoritmů, byl navržen univerzální model umožňující vázat na záznamy (`AcqPosition`) seznam filtrů (`ValidityFilter`) a modifikátorů (`PositionModifier`) a navrženy metody, které upraví aktuální platnost záznamu (atribut `valid`) na základě existence filtru, respektive vypočítanou pozici (atribut `position`) dle modifikátoru s nejvyšší prioritou.

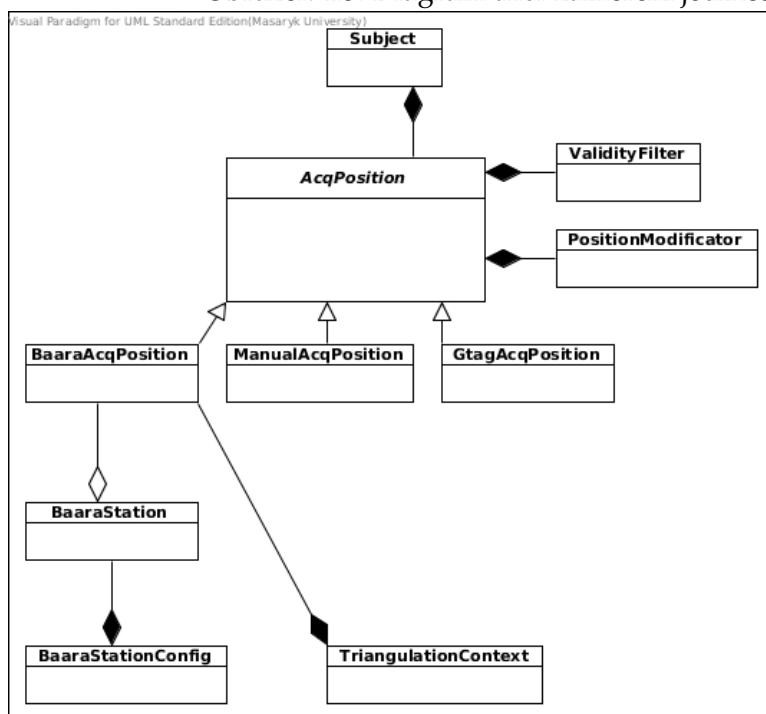
`TriangulationContext` sdružuje záměry ze stanice Baara, které byly naměřeny z různých stanic v malém časovém okně a jsou společně zpřesňovány triangulační funkcí.

#### 4.7 Návrh úprav systému Baara

V rámci analýzy systému byly navrženy změny firmware stanic Baara, které umožní naplnění daných funkčních požadavků. Navržené změny byly akceptovány a tvůrci stanic implementovány. Konkrétně byly navrženy tyto změny:

- **Časová synchronizace jednotlivých stanic.** Aby bylo možné porovnávat záměry jednotlivce z více stanic současně, je potřeba zajistit jejich synchronizaci a paralelní měření na stejné frekvenci. Stanice Baara si sice udržovaly přesný čas, ale sekvenční střídání frekvencí na kterých je poslouchán signál záviselo jen na čase spuštění stanice, kdy stanice začala na začátku cyklu. Po úpravách byly stanice doplněny o funkci, která v definovaných časech provede *reset* a všechny stanice tak začnou ve stejný čas na začátku cyklu.
- **Metadata o stanicích.** Mimo základních údajů o kanálech a jejich frekvencích, na nichž má stanice poslouchat vysílání *tagů*, mají stanice Baara ve své konfiguraci i další údaje jako například údaje o své

Obrázek 4.3: Diagram tříd: zaměření jedince



pozici a použitím hardwaru. Tyto údaje byly uchovány jen v interní paměti, nebyly exportovatelné a jen vybrané údaje nutné pro zpracování dat se přidávaly do každého pozičního záznamu. Aby nebylo nutné metadata o stanicích znovu pořizovat do vyvíjeného systému, byl navržen formát pro trvalé uložení konfigurace stanice, který bude sloužit pro výměnu těchto informací s vyvíjeným systémem a zároveň umožní zálohovat a replikovat nastavení dané stanice. Pro uchování metadat byl zvolen formát souboru „properties“, který v textovém souboru uchovává dvojici *název proměnné* a *hodnota proměnné* oddělené znakem „=“. Pro

- **Změna formátu pozičních záznamů.** Díky navrženému způsobu pro výměnu metadat o stanici s vyvíjeným systémem bylo rozhodnuto o vynechání těchto informací z jednotlivých pozičních záznamů a jejich nahrazení identifikátorem stanice a dané konfigurace. Z jednoúrovňové tabulky se záznamy o záměrech se tak stala dvouúrovňovou struktura popisující zvlášť stanici a její metadata a data o záměrech.

## 4.8 Formáty vstupních dat

### 4.8.1 XLS s ručními záznamy

Primárně jsou data o měření ručním přístrojem zadána výzkumníky do MS Office (Mobile) a vzhledem k užívání i starších verzí bude ponechán dosud využívaný formát XLS.

Při importu se pracuje pouze s listem pojmenovaným „zamery“. První řádek je považován za hlavičku pro uživatele a ignoruje se. Každý další řádek reprezentuje jedno měření a ve sloupcích má v neměnném pořadí tyto údaje: datum měření (datum), druhý sloupec se ignoruje, souřadnici X (celé číslo), souřadnici Y (celé číslo), čas měření, kanál (celé číslo), sílu signálu (textová hodnota dle definované škály pro projekt) a poznámku (libovolný text).

### 4.8.2 Záznamy systému Baara

Formát vstupních dat systému Baara neobsahoval všechny potřebné údaje a proto byly v sekci 4.7 navrženy změny firmware, které jej upravily. Vyvíjený systém bude podporovat jak starší jednoúrovňový formát 2012, tak nový dvouúrovňový formát 2013.

## 5 Implementace a validace

V předchozí kapitole byl navržen informační systém, který má být implementován.

V této kapitole bude rozebrána architektura systému, technologie využívané při implementaci a popsány implementované přírůstky. Bude nastíněn způsob testování a validace.

### 5.1 Platforma

Vzhledem k požadavku na univerzální použitelnost a nutnost provozovat serverovou část na přenosných počítačích z důvodu špatné či žádné dostupnosti internetu byla zvolena platforma Java. Tato platforma poskytuje virtualizační prostředí pro téměř každé běžně užívané zařízení a tentýž program tak lze spustit nezávisle na architektuře i užitém operačním systému.

Takto univerzální multiplatformní řešení, které by mohlo nejlépe naplnit nefunkční požadavky na systém, poskytuje pouze Java a v kombinaci s dlouholetou tradicí, ověřenými řešeními malých i velkých aplikací, schopností škálovatelnosti, ale i množstvím nástrojů pro vývoj i udržitelnost kódu, byla vybrána pro vývoj tohoto informačního systému.

#### 5.1.1 Správce projektu Maven

Budovaný systém je závislý na mnoha knihovnách a předpokládá se jeho dlouhodobější vývoj, z těchto důvodů se zdá vhodné využít projektový manažer, který řeší závislosti na knihovnách třetích stran a stará se o kompilaci, díky němuž bude i pro budoucí vývojáře systému snadné systém kompilovat.

Mezi nejpoužívanější systémy patří Apache Maven [11], který bude použit i pro účely tohoto projektu. Softwarový projekt spravovaný pomocí Maven je doplněn o soubor s metainformacemi o knihovnách a jejich verzích, které jsou pro kompilaci kódu potřebné a také o parametry potřebné k vlastní kompilaci. Vývojářům tak stačí mít zdrojový kód tohoto programu se souborem s metainformacemi a nainstalovaný systém Maven. Před kompilací pak Maven ověří, které knihovny v systému chybí a nainstaluje je automaticky.

### 5.1.2 Java EE

Java Platform, Enterprise Edition (Java EE) je standardizovaná platforma pro vývoj webových a podnikových informačních systémů, která doplňuje standardní edici Java SE o další API [12, 13]. Ve vyvíjeném systému budeme využívat zejména Java Persistence API (JPA) 2.0 [14] pro trvalé uchování objektů a rozraní pro webové aplikace, tedy zejména JavaServer Pages (JSP) [15], Standard Tag Library for JavaServer Pages (JSTL) [16] a Servlet 3.0 [17].

## 5.2 Aplikační logika

Aplikační logika je jádrem celého systému a implementuje funkce pro řešení dané problematiky. V případě vyvíjeného systému se jedná o tři logické celky a to importní část, filtraci a úpravu dat a exportní část.

Importní část aplikace je vstupem naměřených dat do systému. Během importu dochází ke kontrole syntaxe, ověření duplicity, tedy zda vkládaná data již nejsou v systému pořízena a také k základním výpočtům potřebným pro práci s daty, jako je zejména výpočet pozice.

Filtrace a úprava dat je část systému provádějící operace nad pořízenými daty za účelem vyřazení nevalidních záznamů a zpřesnění jejich pozice na základě porovnání s ostatními záznamy.

Exportní část potom převádí data ze systému do formátu vhodného pro výzkum.

Aplikační logika využívá následující knihovny:

- **Super CSV** je knihovna pro práci s CSV soubory [18], která bude využita jak pro čtení dat při importu i zápis během exportu. Knihovna mapuje CSV soubory na POJO objekty, které jsou následně převedeny na příslušné entity.
- **Log4j** [19] bude využita pro logování provedených operací.

## 5.3 Prezentační webová vrstva

Prezentační vrstvu systému tvoří webové rozhraní, které tvoří rozhraní pro komunikaci uživatele se systémem. Jelikož je pro běh webové aplikace nutný aplikační kontejner a vyvíjená aplikace má být snadno nasaditelná na téměř libovolný počítač, je její součástí i vestavěný aplikační kontejner.

### 5.3.1 Prezentační rámec Stripes

Vytvoření Java aplikace je netriviální problematika a pro správnou funkčnost je třeba implementovat mnoho věcí, proto je vhodné využít některý z existujících rámců (z anglického framework), který umožní vývojářům soustředit se na řešenou problematiku a minimalizovat množství práce s vývojem webové aplikace jako takové.

Prezentační rámce se dělí na komponentové a založené na požadavcích. Komunikace s webovým prohlížečem je založena na požadavcích, které vznáší webový prohlížeč a úkolem webové aplikace je na ně zareagovat a poslat odpověď. Rámce založené na požadavcích kopírují tento princip, postarají se o směrování požadavku na vhodnou akci a ta implementuje reakci systému. Komponentové rámce řeší životní cyklus podrobněji, abstrahují jednotlivé komponenty, jako je třeba formulář na změnu hesla a programátor implementuje samostatně reakci na tento formulář, nezávisle na tom, zda byl na stránce jen tento formulář, nebo ještě mnoho jiných komponent, které je nutné rovněž zpracovat.

V systému je využít framework Stripes [20], který patří do kategorie frameworků založených na dotazech. Mimo konfigurace a vlastních webových stránek prezentace vyžaduje v případě vyvíjeného systému jen implementaci tzv. *ActionBeans*, což jsou třídy zpracovávající dotazy od uživatele a volající metody servisní třídy aplikace.

### 5.3.2 Tomcat 7 embedded

Webová aplikace platformy Java EE vyžaduje ke svému běhu kontejner. Vzhledem k požadavku na jednoduché spuštění bylo rozhodnuto o užití vestavěného kontejneru, který bude moci být zabalen spolu s aplikací a nebude nutné jej samostatně instalovat a konfigurovat. Vyhovující a dostatečně prověřené kontejnery jsou Apache Tomcat a Jetty. Vzhledem k nízkým nárokům na kontejner vyvíjenou aplikací jsou funkce obou zmíněných kontejnerů dostatečné a výkonové rozdíly jsou pro tento typ aplikace zanedbatelné. Nakonec byl zvolen Apache Tomcat 7 embedded z důvodu snadného přechodu na plnohodnotný Apache Tomcat, pro případ nasazení při zpracování velkého výzkumného projektu.

### 5.3.3 Front-end framework Twitter Bootstrap

Vzhledem k tomu, že uživatelské rozhraní nemusí být originální aby zaujalo náhodného návštěvníka, jako je tomu u běžných webových prezentací, ale naopak by mělo být spíše intuitivní, jednoduché a přehledné, nabízí se

jako vhodné využít nějakého frameworku pro tvorbu webového uživatelského rozhraní, který usnadní práci na rozhraní a umožní soustředit se na systém jako takový.

Jako vhodný byl vybrán Twitter Bootstrap [21], který má moderní design, je snadno použitelný, udržovaný a nabízí možnost přizpůsobení i na menší obrazovky.

#### 5.3.4 Mapová knihovna Leaflet

Mezi nejpoužívanější mapové knihovny pro web patří komerční mapové knihovny jako Google Maps a Bing Maps. Jejich zásadním nedostatkem pro potřeby vyvíjeného systému je nemožnost pracovat offline a také restriktivní licence.

Nejčastěji používané knihovny mající svobodnou licenci a umožňující běh bez přístupu k internetu jsou OpenLayers a Leaflet [22]. Pro potřeby systému byla jako vhodnější vybrána knihovna Leaflet.

#### 5.4 Trvalé uchování dat

Uchování dat v systému je zajištěno pomocí Java Persistence API (JPA) 2.0, které entity systému uchovávají v databázi.

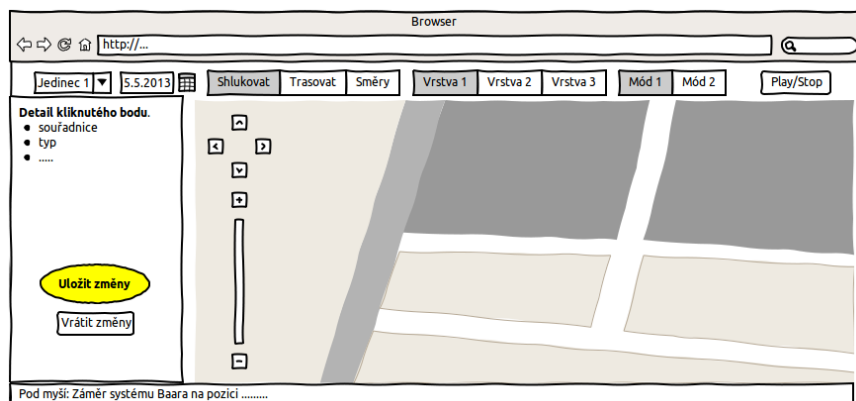
Data jsou uložena v relační databázi. Z důvodu jednoduché instalace aplikace bylo vhodné zvolit vestavěnou databázi, která by tvořila nedílnou součást systému. Na základě výkonových testů mezi H2, HSQLDB a Apache Derby byla zvolena posledně jmenovaná databáze.

#### 5.5 Návrh UI

Vzhledem k charakteru informačního systému bylo uživatelské prostředí navrženo funkčně, jednoduše a bez snahy o originální design.

Velká pozornost byla věnována zobrazení mapy, ve kterém uživatel stráví nejvíce času a v němž bude provádět obtížnější operace. Obrázek 5.1 ukazuje model prostředí pro práci se záznamy na mapě. Menu aplikace je nahrazeno funkční lištou pro ovládání mapy, rozložení je doplněno o levý postranní panel, ve kterém nalezneme detaily o bodu/bodech se kterými aktuálně pracujeme a malý spodní panel zobrazuje pohotové informace o objektech pod kurzorem myši. Toto rozložení je kompromisem pro dostatek informací, snadné ovládání a co největšího místa pro samotnou mapu.

Obrázek 5.1: Návrh UI - mapa



## 5.6 Popis implementovaných iterací

### 5.6.1 Přírůstek I - sběr dat v terénu

První přírůstek byl vytvořen tak, aby pokryl funkcionalitu potřebnou během terénních výzkumných prací, tedy zejména možnost do systému naimportovat naměřená data, zobrazit si je na mapě a zobrazit základní statistiky umožňující určit, pro které jedince je třeba ještě doplnit údaje a aby mohl být v praxi odzkoušen. Motivací tohoto přírůstku byla možnost přizpůsobení vizualizace na základě praktických zkušeností ještě před přidáním funkcí pro úpravu dat, kdy by již zásadnější úpravy byly pravděpodobně náročnější.

### 5.6.2 Přírůstek II - zpracování nasbíraných dat

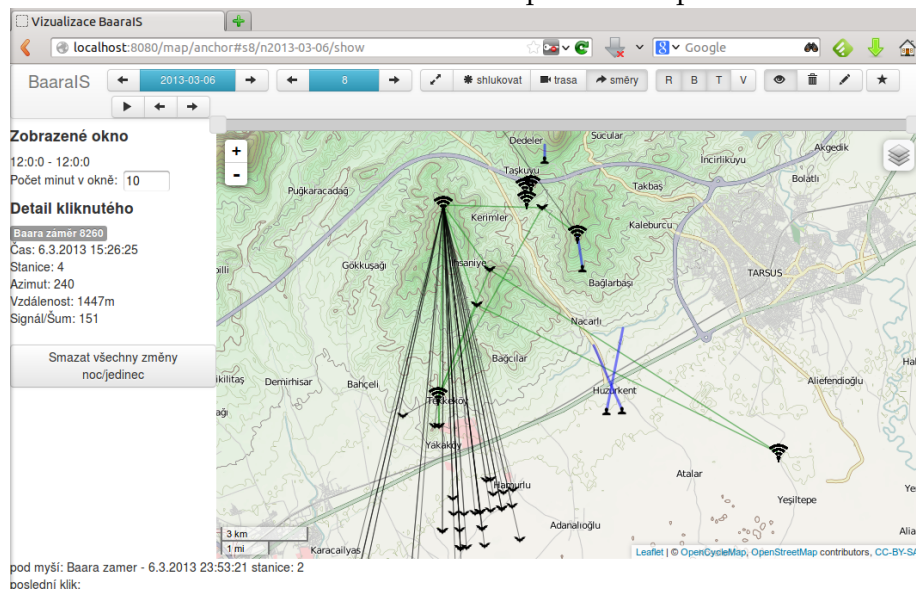
Druhý přírůstek zapracovává připomínky z uživatelských testů prvního a zejména přidává funkcionalitu umožňující uživatelské zpřesnění a dofiletrování telemetrických dat.

## 5.7 Ukázka aplikace

Na obrázku 5.2 je ukázka rozhraní aplikace pro práci s jednotlivými záznamy. V horní části se nachází ovládací panel. Zleva výběr data s možností rychlého posunu na další a předchozí den, následovaný výběrem sledovaného jedince, funkcí přizpůsobení mapy zobrazeným záznamům a možností zobrazit záznamy jako shluky, vykreslením trasy pohybu sledova-



Obrázek 5.2: Ukázka mapové části aplikace



ného jedince a možností skrýt zobrazení linek mezi zdrojem záměru a sledovaným živočichem. Pak už následuje ovládání vrstev dle typu, přepínání módu z prohlížečského na editační a také možnost měnit časové okno. Levý postranní panel zobrazuje detaily o zobrazených záznamech, stejně jako spodní stavová lišta.

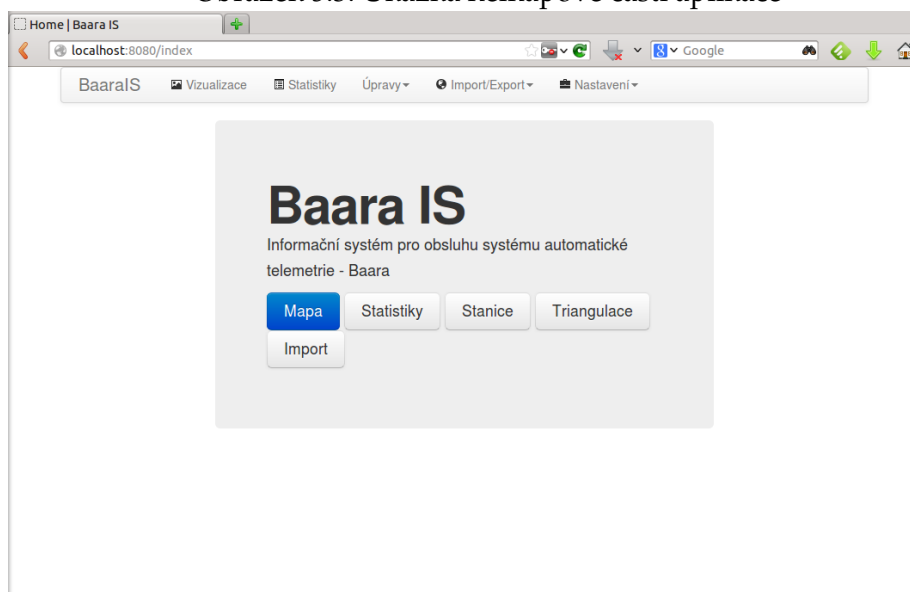
Obrázek 5.3 ukazuje jednoduché rozhraní pro dávkové operace a nastavení systému.

## 5.8 Testování a validace

Z důvodů minimalizace chyb je třeba vytvořit jednotkové testy pomocí JUnit pro všechny funkce v jádru aplikace. Tím se verifikuje správnost jednotlivých funkcí a navíc zajistí kontrola při dalším vývoji, že úpravami nedošlo k porušení již implementované funkcionality.

Mimo jednotkové testy je třeba provést uživatelské testování, při kterém se praktickým používáním aplikace ověří, že splňuje všechny funkce a je pro uživatele pohodlná.

Obrázek 5.3: Ukázka nemapové části aplikace



## 6 Diskuze

Vývoj informačního systému popsaný v této práci lze rozdělit dle cílů na tři etapy. Nyní stručně popíši průběh těchto etap, jejich výsledky, ale také problémy, se kterými jsem se při vývoji potýkal.

V první etapě vývoje jsem se seznámil s telemetrickým systémem Baara, jeho principy, způsobem konfigurace a zejména s problémy souvisejícími s následným zpracováním dat. Zpočátku jsem se domníval, že budoucí systém bude schopn data zpracovat automaticky. Tato myšlenka se však brzy ukázala jako nedosažitelná. Stanice Baara dokáže s dostatečnou přesností určit směr k sledovanému přijímači, ale vzdálenost je spíše hrubým odhadem, který nelze bez dodatečných informací příliš zlepšit výpočtem. Důvodem obtížného určení vzdálenosti je množství vlivů na naměřenou sílu signálu, ze kterého je vzdálenost počítána. K silnému vlivu terénu mezi stanicí a přijímačem a okolnímu rušení se přidávají i natolik nepredikovatelné vlivy, jako je například aktuální výška letu sledovaného živočicha nad povrchem. Data z prvních testů systému Baara se zpracovávala tak, že byla vždy vynesena do GIS systému, aby badatel získal představu o situaci, následně data profiltroval a upravil ve zdrojových záznamech v CSV souborech a znovu vynesl do GIS aplikace. Toto opakoval pro každého jedince a každou sledovanou noc tolikrát, dokud nebyl s výsledkem spokojen. Z posledního provedeného terénního měření se však díky zdokonalení systému Baara podařilo získat mnohem více dat a zpracovat je podobným způsobem se zdálo velmi obtížné. Problémy se zpracováním dat původní metodikou vedly k požadavku na systém, který by celou operaci zjednodušil. Vydal jsem se tedy cestou zachování stejného principu zpracování, ale opakované vynášení dat na mapu a zejména ruční úpravy v CSV souborech badatelem jsem nahradil interaktivní aplikací s možností snadného zobrazení i úprav dat přímo na mapě. Použití existujících GIS aplikací se ukázalo jako nevhodné, protože pracují pouze s finálními pozicemi, kdežto v tomto případě je třeba pracovat s více proměnnými: pozicí přijímače, směrem a vzdáleností k vysílači, s korekcí pro konkrétní hardware, s korekcí pro dané okolí přijímače a také s porovnáním naměřených hodnot pro ten-  
týž přijímač jinou stanicí. Aby bylo možné realizovat posledně jmenované porovnání, je nutné zajistit synchronizaci stanic v čase. Vývojáři systému Baara na můj podnět doplnili do systému časovou synchronizaci jednotlivých stanic a také umožnili ze stanic získávat údaje o nastavení jednotlivých stanic, abych je mohl v systému využít. Pak už nic nebránilo tomu, sepsat základní specifikaci systému.

Druhou etapou vývoje, když již byla specifikace hotová, byl návrh a implementace prvního přírůstku. Ten tvoří část využívaná během terénních prací. Během terénních prací je totiž potřeba mít dostatečný přehled o získaných datech, aby bylo možné opravit špatně fungující stanice a získat dostatek doplňujících informací, které bude možné využít pro následné zpracování dat. Původně měl být mnou vyvíjený systém během terénního výjezdu jen otestován a výsledek využít pro jeho vylepšení. Z důvodu hospitalizace mého konzultanta, doktora Bartoničky, který měl analýzu dat během terénního výjezdu na starosti, se stala má aplikace hlavním zdrojem informací během tohoto výjezdu. Po opravení některých chyb během prvních dnů výzkumu byla aplikace použitelná a po zbytek měsíční práce využívána. Nejzásadnější připomínkou od uživatelů byla doba importu dat, která byla způsobena tím, že ještě nebyla implementována možnost pořizovat pouze nové záznamy a vždy bylo nutné pořídit všechny záznamy. Množství takových záznamů bylo ke konci terénního výzkumu již velké. Tento problém se podařilo po doplnění zmíněné funkce odstranit.

V poslední etapě jsem doplnil specifikaci a návrh o možnost data zpracovat a dle zkušeností uživatelů s první verzí upravil i část vizualizační. Bohužel jsem z časových důvodů nemohl implementovat jednotkové testy, které ještě bude nutné doplnit. Verze pro zpracování dat však byla uživatelsky testována a je využitelná pro zpracování proběhlého experimentálního výzkumu kaloně egyptského. Jakmile bude dokončena implementace triangulačního algoritmu, který je vyvíjen samostatně a nahradí vytvořenou referenční třídu, bude mnou vyvinutý program využít ke zpracování dat z tohoto výzkumu.

## 7 Závěr

Cílem práce bylo seznámit se s nově vyvíjeným systémem Baara pro automatické sledování malých živočichů pomocí rádiové telemetrie a analyzovat proces zpracování jím naměřených dat. Dalším cílem bylo ze získaných poznatků navrhnout a implementovat snadno rozšiřitelný podpůrný informační systém pro zpracování surových dat a jejich transformaci do formátu pozičních informací zpracovatelných v komerčním GIS nástroji.

Specifikaci systému jsem vytvářel ve spolupráci s pracovníky Ústavu přístrojové techniky AV ČR, kteří mají na starost vývoj hardwaru pro systém Baara, a zoology z Masarykovy a Karlovy univerzity, kteří budou se systémem pracovat během terénního výzkumu a následně v něm data zpracovávat. Z takto specifikovaných požadavků jsem pak vycházel při následném návrhu a implementaci.

Implementace splňuje specifikované požadavky. Systém umožňuje sjednotit měření různými telemetrickými technikami, zatřídit data dle času a sledovaného jedince i automaticky odfiltrovat neplatné záznamy. Implementovaná vizualizace dat poskytuje v terénu přehled o funkci telemetrických stanic i o pohybu jedinců a při zpracování dat pak dává možnost ručně posunout či zneplatnit jednotlivé záznamy. Výsledná data lze následně exportovat do systému GIS pro další zpracování. Návrh počítá s rozšiřitelností systému a implementace je snadno udržovatelná. Funkčnost implementace byla uživatelsky vyzkoušena a prohlášena za vhodnou k použití. Z časových důvodů dosud nebyly implementovány navržené automatizované jednotkové testy.

Systém byl používán během měsíčního terénního výzkumu v Turecku, kde se ověřilo, že jím poskytnuté informace umožňují výzkumníkům orientovat se ve značném množství naměřených dat a lze díky němu identifikovat nesprávně pracující telemetrické stanice. Systém byl následně doplněn a konzultantem schválen jako vhodný ke zpracování probíhajícího výzkumu. V budoucnu je možné systém doplnit například o automatickou synchronizaci dat se stanicemi Baara, napojení na mobilní aplikaci pro porizování dat v terénu, správu zájmových bodů či jazykové mutace.

## Literatura

- [1] Telenax: Glue products. [online]. [cit. 2013-04-29]. URL [http://www.telenax.com/en/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=25:glue&Itemid=142](http://www.telenax.com/en/index.php?option=com_k2&view=item&id=25:glue&Itemid=142).
- [2] Changsheng Cai and Yang Gao. GLONASS-based precise point positioning and performance analysis. *Advances in Space Research*, 51(3): 514–524, 2013. ISSN 0273-1177.
- [3] Neil A. White and Mikael Sjöberg. Accuracy of satellite positions from free-ranging grey seals using ARGOS. *Polar Biology*, 25(8):629–631, August 2002. ISSN 0722-4060. URL <http://search.proquest.com.ezproxy.muni.cz/docview/1030966883/abstract?accountid=16531>.
- [4] Martin Wikelski, Roland W. Kays, N. Jeremy Kasdin, Kasper Thorup, James A. Smith, and George W. Swenson. Going wild: what a global small-animal tracking system could do for experimental biologists. *Journal of Experimental Biology*, 210(2):181–186, January 2007. ISSN 0022-0949, 1477-9145. URL <http://jeb.biologists.org/content/210/2/181>.
- [5] Encounternet. [online]. [cit. 2013-05-18]. dostupné z: <http://encounternet.net/>.
- [6] Petr Jedlička, Martin Čížek, Šimon Řeřucha, and Tomáš Bartonička. BAARA biological AutomAted RAdiotelemetry system: New technology in ecological field studies. September 2010.
- [7] Šimon Řeřucha, Tomáš Bartonička, and Petr Jedlička. GTAG: architecture and design of miniature transmitter with position logging for radio telemetry. pages 80080B–80080B–7, June 2011. URL <https://is.muni.cz/publication/949904/cs?lang=cs>.
- [8] Jim Arlow and Ila Neustadt. *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objektově orientovaná analýza a návrh prakticky*. Computer Press, Brno, 2007. ISBN 9788025115039 8025115038.
- [9] Ian Sommerville. *Software engineering*. Pearson, Boston, 9th ed edition, 2011. ISBN 9780137035151.

- 
- [10] James Rumbaugh, Ivar Jacobson, and Grady Booch, editors. *The Unified Modeling Language reference manual*. Addison-Wesley Longman Ltd., Essex, UK, UK, 1999. ISBN 0-201-30998-X.
- [11] Apache maven. [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://maven.apache.org/>.
- [12] Antonio Goncalves. *Beginning Java EE 6 Platform with GlassFish 3 from novice to professional*. Apress ; Distributed to the Book trade worldwide by Springer-Verlag New York, Berkeley, CA; New York, 2009. ISBN 9781430219552 1430219556.
- [13] Java EE reference [online]. [cit. 2012-07-12]. dostupné z: <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/index-jsp-142942.html>. URL <http://www.oracle.com/technetwork/java/javaee/index-jsp-142942.html>.
- [14] JSR 317: JavaTM persistence 2.0 [online]. [cit. 2012-11-12]. dostupné z: <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=317>, . URL <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=317>.
- [15] JSR 245: JavaServerTM pages 2.1 [online]. [cit. 2012-11-12]. dostupné z: <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=245>, . URL <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=245>.
- [16] Jsr 52: A standard tag library for javaserver pages [online]. [cit. 2012-11-12]. dostupné z: <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=52>, . URL <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=52>.
- [17] JSR 315: JavaTM servlet 3.0 specification [online]. [cit. 2012-11-12]. dostupné z: <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=315>, . URL <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=315>.
- [18] Super CSV[online]. [cit. 2013-1-18]. dostupné z: <http://supercsv.sourceforge.net/index.html>. URL <http://supercsv.sourceforge.net/index.html>.
- [19] Apache log4j 1.2 [online]. [cit. 2013-01-18]. dostupné z: <http://logging.apache.org/log4j/1.2/>. URL <http://logging.apache.org/log4j/1.2/>.
- [20] Stripes framework [online]. [cit. 2013-02-10]. dostupné z: <http://www.stripesframework.org/display/stripes/Home>. URL

<http://www.stripesframework.org/display/stripes/Home>.

- [21] Bootstrap [online]. [cit. 2013-01-09]. dostupné z: <http://twitter.github.io/bootstrap/>. URL <http://twitter.github.io/bootstrap/>.
- [22] Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps [online]. [cit. 2013-01-09]. dostupné z: <http://leafletjs.com/>. URL <http://leafletjs.com/>.



## Seznam obrázků

4.1	Diagram případů užití	16
4.2	Architektura systému BaaraIS	22
4.3	Diagram tříd: zaměření jedince	27
5.1	Návrh UI - mapa	33
5.2	Ukázka mapové části aplikace	34
5.3	Ukázka nemapové části aplikace	35

## A Obsah CD

Přiložené CD, případně zip archív u elektronické verze práce, obsahuje následující soubory a adresáře.

- **baara-thesis.pdf** - tento text práce
- **baara.jar** - zkompilovaný program
- **baara-server.bat** - spouštěcí skript pro Windows
- **baara-server.sh** - spouštěcí skript pro Linux
- **baara** - adresář s testovacími daty pro import ze systému Baara
- **manual** - adresář s testovacími daty pro import ručně naměřených záznamů
- **src** - adresář se zdrojovými kódy

## B Návod k použití

### B.1 Spuštění na MS Windows

1. Překopírujte obsah CD na pevný disk do vhodného adresáře.
2. Spustěte **baara-server.bat** a ponechte otevřené terminálové okno, kde můžete sledovat log aplikace.
3. V internetovém prohlížeči (nejlépe Mozilla Firefox) otevřete stránku <http://localhost:8080>
4. První akce po prvním spuštění bude pomalá z důvodu vytváření databáze

### B.2 Spuštění na Linuxu

1. Překopírujte obsah CD na pevný disk do vhodného adresáře.
2. Spustěte **baara-server.sh** a ponechte otevřené terminálové okno, kde můžete sledovat log aplikace.
3. V internetovém prohlížeči (nejlépe Mozilla Firefox) otevřete stránku <http://localhost:8080>
4. První akce po prvním spuštění bude pomalá z důvodu vytváření databáze

### B.3 Po prvním spuštění aplikace

1. V menu vyberte Import/Export->Baara záznamy pro import dat ze systému Baara. V adresáři jsou již připravena zdrojová data. Po stisknutí tlačítka Import vyčkejte na načtení stránky a zobrazení hlášky import dokončen.
2. V menu vyberte Import/Export->Ruční telemetrie pro import dat z ručních přístrojů. Stejně jako v předchozím bodě jsou již vzorová data připravena a po stisknutí Importního tlačítka vyčkejte na potvrzující hlášku.
3. Zkontrolujte nastavení stanic systému Baara v Nastavení->Baara telemetrie

4. Proved'te triangulaci pomocí Úpravy->Triangulace->Trianguluj
5. Nyní již je vše připraveno pro práci s mapovým rozhraním (v menu Vizualizace)

## B.4 Práce s mapovým rozhraním

Mapová část je rozdělena na nástrojovou lištu (toolbar) v horní části obrazovky, boční panel (sidebar) vlevo, stavovou lištu (status bar) v dolní části obrazovky a mapu ve zbytku prostoru.

### B.4.1 Nástrojová lišta

- **Kombinace dne a jedince.** V levé části jsou dvě modré výběrové pole pro zvolení kombinace dne a jedince, se kterou chceme na mapě pracovat. Jakmile navolíme kombinaci, na mapě se zobrazí záznamy. Pokud se po kliknutí na modré výběrové pole nezobrazí žádná možnost volby, pravděpodobně nebyly správně nainportovány data a je třeba se přes logo systému (v levém horním rohu) vrátit do menu a data do systému vložit. Šipky u zmíněných výběrových polí umožňují rychlý posun na předchozí, respektive následující hodnotu.
- **Funkční tlačítka.** Následují tlačítka pro přizpůsobení přiblížení mapy zobrazeným záznamům, funkce shlukování blízkých záznamů do shluků, tlačítko pro zobrazení trajektorie pohybu v čase a možnost vypnout zobrazování linek mezi zdrojem záznamu a zaměřeným bodem.
- **Vrstvy.** Další část nástrojové lišty umožňuje zapínat a vypínat jednotlivé vrstvy dle typu záznamu (ruční záznamy, záznamy ze systému Baara a Triangulované záměry).
- **Režim práce.** Další sada tlačítek přepíná mezi režimem zobrazení, zneplatňování bodů a možností jejich přesunu pomocí myši. V režimu mazání se v mapě v levé části objeví tlačítko pro hromadné označení bodů ke smazání.
- **Ovládání časového okna.** Poslední sada tlačítek umožňuje ovládat zobrazené časové okno (automatické promítání, předchozí okno, následující okno)

#### **B.4.2 Boční panel**

Boční panel zobrazuje detail o bodu v mapě na který uživatel klikl, možnost definovat velikost časového okna pro automatické přehrání a dále funkční tlačítka dle prováděné operace.

#### **B.4.3 Stavová lišta**

Zobrazuje informace o bodu pod kurzorem myši a také o bodu na který uživatel naposledy kliknul. U triangulovaných záznamů umožňuje zobrazení detailu z čeho byl záznam vypočten.

## C Postup kompilace ze zdrojového kódu

Zdrojový kód používá Maven pro správu závislostí. Nejjednodušší je otevřít zdrojový kód ve volně dostupném IDE prostředí Netbeans, které lze stáhnout z <http://www.netbeans.org> a Maven integruje. Po otevření stačí zvolit „Build with dependencies” na hlavním modulu baara. Pro sestavení bez IDE prostředí stačí mít nainstalovaný Maven (<http://maven.apache.org/>) a v hlavním adresáři se zdrojovými soubory spustit „maven install”, respektive „maven.exe install”.