



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Konceptualizace údržby elektrického systému letounu B737NG
Conceptualization of B737NG Electrical Power System Maintenance

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: TUL – Technologie údržby letadel

Vedoucí práce: doc. Ing. Andrej Lališ, Ph.D.

Ing. Martin Kála

Ondřej Nový

Praha 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Ondřej Nový

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský –TUL– Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Konceptualizace údržby elektrického systému letounu B737NG**

Název tématu (anglicky): **Conceptualization of B737NG Electrical Power System Maintenance**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vytvořit konceptuální model letecké údržby elektrického systému letounu ATA 24 letounů Boeing 737NG pro automatizaci plánování údržby tohoto systému.
- Analyzujte elektrický systém letounů B737NG.
- Identifikujte dostupnou technickou dokumentaci a data z údržby daného systému letounu.
- Analyzujte technologie sémantického webu pro anotování a vyhledávání v dokumentech.
- Vytvořte konceptuální model letecké údržby elektrického systému letounů B737NG.
- Navržený model vyhodnoťte a ověřte.



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Arlow J. a Neustadt, I. UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objektově orientovaná analýza a návrh prakticky. 2. edice. Computer Press, 2007.
SKOS Simple Knowledge Organization System Primer: W3C Working Group Note 18. World Wide Web Consortium (W3C), 2009.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Andrej Lališ, Ph.D.**
Ing. Martin Kála

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu Ústav letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Ondřej Nový
jméno a podpis studenta

V Praze dne 8. října 2021



Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce s názvem „Konceptualizace údržby elektrického systému letounu B737NG“ je vytvoření a ověření konceptuálního modelu letecké údržby elektrického systému letounu ATA24 letounů Boeing 737NG pro automatizaci plánování údržby tohoto systému. Cílem bylo zpracování technických dat z manuálu údržby tohoto systému a za pomoci softwaru Protégé navrhnout obecný konceptuální model, včetně jeho následné verifikace. Verifikovaný model by následně měl být využitelný pro další zpracování do formy softwarové aplikace pro organizaci Czech Airlines Technics.

Klíčová slova

automatizace plánování, elektrický systém, plánování údržby letadel, Protégé, UML



Abstract

The subject of this bachelor thesis called "Conceptualization of B737NG Electrical Power System Maintenance" is to develop and validate a conceptual model of the ATA24 aircraft electrical system maintenance of the Boeing 737NG aircraft to automate the maintenance planning of this system. The objective was to process technical data from the maintenance manual of this system and to propose a general conceptual model, including its subsequent verification, using Protégé software. The verified model should then be usable for further processing into a software application for the Czech Airlines Technics organization.

Keywords:

planning automatization, electrical system, aircraft maintenance planning, Protégé, UML



Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval vedoucím práce panu doc. Ing. Andreji Lališovi Ph.D. a panu Ing. Martinu Kálovi za odborné vedení a konzultování práce. Dále bych rád poděkoval panu Mgr. Miroslavu Blaškovi, Ph.D. a panu Ing. Bogdanu Kostovovi z fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze za poskytnutí podkladů pro vypracování a konzultování práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině za morální a materiální podporu, které se mi od všech během celé doby studia dostávalo.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Konceptualizace údržby elektrického systému letounu B737NG* vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. srpna 2022

.....

Podpis



Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam použitých zkratk	12
Úvod	13
1. Současný stav	14
1.1 Údržba letadel	14
1.1.1 Typy programů údržby	14
1.1.1.1 Traťová údržba	14
1.1.1.2 A/B check	15
1.1.1.3 C check.....	15
1.1.1.4 D check.....	16
1.2 Plánování údržby letadel	16
1.2.1 Principy plánování	17
1.2.2 Zásady plánování	18
1.2.3 Základní plánování v praxi	19
1.3 Plánovací nástroje/software	20
1.3.1 Work order systém	20
1.3.1.1 Proces WO systému.....	20
1.3.2 Systém AMOS	23
1.3.3 Systém OASES	24
1.4 Manuál údržby letadla	24
1.4.1 Task Cards	25
1.5 Elektrický systém ATA24	25
1.5.1 Systém napájení střídavým proudem (AC)	26
1.5.2 Stejnoseměrný napájecí systém (DC).....	27
1.5.3 Systém záložního napájení	28
1.6 Přehled vědecké literatury	28
1.7 Limitace současného stavu	29
2 Metodika	31
2.1 UML – Unified Modeling Language	31
2.1.1 Objekty	31
2.1.2 Stavební bloky UML	33



2.1.2.1	Předměty	33
2.1.2.2	Relace	33
2.1.2.3	Diagramy	34
2.1.2.3.1	Diagram tříd	35
2.2	Protégé.....	37
2.2.1	Classes.....	38
2.2.2	Individuals.....	39
2.2.3	Object properties	39
2.2.4	Data properties	40
2.2.5	Individuals by class	40
3	Výsledky.....	42
3.1	Konceptuální model	42
3.1.1	Obecná struktura AMM	42
3.1.2	Struktura modelu	44
3.1.3	UML diagram plánu údržby	45
3.2	Verifikace konceptuálního modelu.....	47
3.2.1	Verifikace modelu v Protégé	48
4	Diskuze.....	53
5	Závěr.....	54
	Seznam použité literatury	55



Seznam obrázků

Obrázek 1 – Cyklus 2. principu plánování údržby. [5].....	17
Obrázek 2 – Příklad vzoru work orderu. [5].....	21
Obrázek 3 – Diagram pracovního postupu MRO. [5].....	23
Obrázek 4 – Schéma elektrického systému ATA24 [20].....	30
Obrázek 5 – Příklad statické struktury.....	32
Obrázek 6 – Příklad dynamického chování.....	32
Obrázek 7 - Stručný přehled typů relací.....	34
Obrázek 8 – Typy diagramů. [13].....	35
Obrázek 9 – Příklad digramu tříd. [17].....	36
Obrázek 10 – Příklad digramu tříd. [16].....	37
Obrázek 11 – Blok Class v Protégé.....	38
Obrázek 12 – Blok Individuals v Protégé.....	39
Obrázek 13 - Blok Vlastnosti objektu v Protégé.....	40
Obrázek 14 – Blok Data properties v Protégé.....	41
Obrázek 15 – Blok Individuals by class v Protégé.....	41
Obrázek 16 – Obecná struktura manuálu.....	43
Obrázek 17 – Obecná struktura TC.....	44
Obrázek 18 – Příklad použití relací v modelu.....	45
Obrázek 19 – UML diagram plánu údržby.....	46
Obrázek 20 – Specifikace vkládání dat do Protégé.....	48



Obrázek 21 – Struktura tříd modelu v Protégé.....	49
Obrázek 22 – Vazby modelu v Protégé.....	50
Obrázek 23 – Vlastnosti dat modelu v Protégé.....	51
Obrázek 24 – Kompletní model v Protégé.....	52



Seznam použitých zkratek

AC	Alternating Current	Střídavý proud
AMM	Aircraft Maintenance Manual	Manuál údržby letadla
AMOS	Aircraft Maintenance and Engineering Operating System	
API	Application Programming Interface	Rozhraní pro programování aplikací
APU	Auxiliary Power Unit	Pomocná pohonná jednotka
BTB	Bus Tie Breakers	Sběrníkový jistič
CAA	Civil Aviation Authority	Úřad pro civilní letectví (ÚCL)
CAMO	Continuing Airworthiness Management Organization	Organizace k řízení zachování letové způsobilosti
CSAT	Czech Airlines Technics	
DC	Direct Current	Stejnoseměrný proud
GCB	Generator Circuit Breaker	Jistič generátoru
ID		Identifikační číslo
IDG	Integrated Drive Generators	Integrované pohonné generátory



ILS	Instrument Landing System	Systém přístrojového přistání
MEL	Minimum equipment list	Seznam minimálního vybavení
MRO	Maintenance, repair and operations	Údržba, opravy a provoz
OASES	Open Aviation Strategic Engineering System	
OWL	Ontology Web Language	
TC	Task Cards	
TR	Transformer Rectifiers	Transformátorové usměřovače
UML	Unified Modeling Language	Unifikovaný modelovací jazyk
WO	Work order	Příkaz k práci



Úvod

Letecká doprava je stále rozvíjející se druh dopravy a nezbytnou částí letectví je údržba letadel, která zajišťuje provozuschopnost letadla, bez které není možné letadlo provozovat. Provozuschopnost letadla zajišťuje bezpečný letecký provoz po celém světě. Neoddělitelnou složkou údržby letadel je její plánování, které slouží ke zkvalitnění a zefektivnění provozu údržbové organizace. Pro organizaci provádějící údržbu je nejdůležitější čas, které letadlo stráví na zemi a vykonává se na něm údržba. Z důvodu stále se rozšiřujících flotil leteckých společností, některá letadla musí čekat na svou údržbu. Cílem organizace je tedy provést předepsanou údržbu v co nejkratším čase a k tomu pomáhá zmíněná efektivita plánování údržby. Možností pro zvýšení efektivity plánování údržby lze nalézt v několika ohledech, jednou z nich je automatické plánování údržby, které efektivitu zvýší.

Právě zvýšení efektivity plánování údržby pomocí automatického plánování se věnuje tato bakalářská práce. Hlavní motivací k vytvoření, je fakt, že dnešní doba využívá velkou část dat manuálů údržby v elektronické podobě, avšak zdaleka není tento potenciál využit na plno. Pro účely automatického plánování musí mít data náležitou strukturu, aby se dala dále implementovat do vhodného editoru, který poslouží jako zdroj dat při vytváření softwarové aplikace.

Hlavním cílem této práce je navrhnout obecný konceptuální model automatizace plánování údržby elektrického systému ATA24 letounu Boeing 737NG, který bude možné následně implementovat do plánovacích softwarů a ověřovat ho v reálním provozu údržbové organizace. Tato práce vznikla ve spolupráci s českou údržbovou organizací Czech Airlines Technics, která poskytla potřebná data pro tuto práci.



1. Současný stav

V této úvodní kapitole se věnuji obecnému popisu údržby letadel, plánování údržby letadel včetně plánovacích nástrojů/software. Další část popisuje elektrický systém ATA24 letounu Boeing 737NG. V neposlední řadě se věnuji limitaci současného stavu plánování údržby.

1.1 Údržba letadel

I přes fakt, že letecká doprava je nejbezpečnější dopravou mezi všemi dostupnými druhy dopravy, je zároveň spjata s mnohem většími riziky než u ostatních variant transportu. Objevují se zde rizika jak pro letadlo, posádku letadla, cestující, přepravovaný náklad, a to ať už v podobě živého či neživého nákladu, tak jsou zde také rizika pro život na zemi způsobené například havárií letadla. Abychom tyto rizika snížili, případně nejlépe eliminovali, jsou v letecké dopravě různá odvětví ke snížení těchto rizik a jedním z nich je pravidelná údržba letadel, která zajišťuje technickou bezpečnost.

1.1.1 Typy programů údržby

Letecký svět je přísně řízený legislativou, kterou stanovuje letecký úřad příslušného státu. V této legislativě jsou stanovené programy pro údržbu letadel, kterými se musí letecké společnosti řídit. Každé letadlo musí mít svůj program průběžné údržby letové způsobilosti. Stanovené kontroly v intervalech rozdělujeme na 4 respektive 5 takzvaných „checks“ neboli kontrol, a to jmenovitě na traťovou údržbu, A respektive B check, C a D check (těžká údržba). Cílem takovýchto kontrol provádění údržby je výměna či oprava známých položek ať už plánovaně či neplánovaně, opravu v minulosti zjištěných závad, provádění oprav, které jsou naplánované, a to vždy po určité době letu, kalendářním intervalu, počtu vzletů a přistání nebo stáří letadla. [1]

1.1.1.1 Traťová údržba

Traťová údržba je nejčastějším a nejtypičtějším typem údržby na světě, říká se jí také poletová, předletová nebo noční údržba. Zahrnuje především denní, případně týdenní prohlídky, které zaberou desítky minut, maximálně však pár hodin. Probíhá v tu dobu, kdy letadlo je zaparkované na stojánci, u nástupního mostu nebo v případě business aviation i v hangáru a není zrovna vytížené. Pokud je letadlo vytížené, tak se provedou základní potřebné úkony k odletu a pokud se objevují závažnější závady, které nejsou zapsány v MEL (Minimum equipment list) tak se posunují na dobu, až letadlo bude k dispozici na větší údržbu. Mezi



základní úkony patří vizuální prohlídka letadla, výměna olejů, maziv, případně výměna základních komponent letadla. Není také náročná na vybavení, kde zde stačí minimum speciálních nástrojů a zároveň tuto údržbu zvládne i tým dvou mechaniků s patřičnou kvalifikací, případně i posádka letadla. V případě toho, kdy se objeví závada, která se objevuje na MEL, tak letadlo není schopné letu a musí na větší údržbu do hangáru. [1] [3]

1.1.1.2 A/B check

Tento typ kontroly spadá stále do tzv. lehké údržby, provádí se přibližně každých 400-600 letových hodin, případně každých osm až deset týdnů. Údržba A check se většinu času provádí v hangáru, kde už je vyžadován vyšší počet kvalifikovaných techniků údržby než u traťové údržby. Doba, kterou letadlo v hangáru stráví je od minimálně 10 hodin po několik jednotek dnů. Někdy se tato údržba provádí také v noci několik dní po sobě, aby se nemusel narušovat letový plán letecké společnosti. Hlavní náplní tohoto typu kontroly je výměna filtrů, promazání klíčových systému (například aktuátory hydrauliky v řídicích plochách letounu), provede se detailnější kontrola veškerého nouzového vybavení (například evakuační skluzavka, nouzová lana pilotů apod.), dále pak poškození trupu, koroze, funkčnost motorů.

Jelikož B check se provádí přibližně každých 6-8 měsíců, ale program této kontroly nespadá ještě pod těžkou údržbu, tak údržbové organizace postupem času začali sjednocovat A a B check dohromady. Začali se tedy nahrazovat označením jako například 1A/2A/3A apod. Typickou prací během B, respektive A checku je kontrola úniku kapaliny, kontrola podvozků – jeho zatahování a kontroly tlaků jak už u podvozků, tak u brzd. [1] [2] [4]

1.1.1.3 C check

C check je nižší část z oblasti těžké údržby a může mít dvě až tři úrovně, jak moc letadlo rozebrat a zkontrolovat. Interval C checku je 18 měsíců až dva roku, záleží na typu letadla. Při tomto typu prohlídky, letadlo musí do hangáru v údržbářském středisku se speciálním vybavením, lešením, jeřábem apod. V závislosti na předepsaným programu údržby může letadlový celek zůstat v hangáru 1-4 týdny. Pravidelně se stává, že i z logistických důvodů se může tato doba protáhnout na delší než 4 týdnů. Technici údržby během C checků provádí úkony od prohlídky konstrukce nosných částí a křídel, koroze, poškození, dále kontrolu avioniky, větší hloubkové mazání všech armatur a lan. V neposlední řadě mechanici provádí také inspekci interiéru. [1] [2] [4]



1.1.1.4 D check

Nazýváme ji také generální oprava/kontrola a podle typu letadla jí někdo označuje i jako C4 nebo C8 check. V další závislosti na typu se provádí prohlídka každých šest až dvanáct let, pro příklad Boeing 787 Dreamliner má D check každých 12 let z důvodu zdokonalujících se technologií, zatímco většina strašších letadel jde na prohlídku po 6 letech. Letadlo v hangáru zůstává okolo jednoho až dvou měsíců plus dalších pár dní v lakovně, protože na tuto prohlídku je nutno letoun zbavit nátěru z důvodu případného objevení koroze. Během D checku je také ideální čas na přestavbu interiéru, modernizaci prvků letadla jako jsou například instalace wingletů nebo avioniky, čehož velké množství aerolinek využívá. Práce mechaniků v tomto ohledu spočívá v kompletní demontáži od sedadel, přes toalety, kuchyňky, úložné schránky až po demontáž posledních dílů, které překáží prohlídce trupu letadla zevnitř. Další prací je demontáž a seřízení, popřípadě oprava motorů a podvozků (v tomto případě letadlo je podepřeno speciálními hevery na letadla). Prohlídkou, opravou nebo výměnou projde vše od základní konstrukce po ty největší detaily jako je například kvalita demontovaných šroubků. Nastává zde problém, že při každém druhém nebo třetím D checku, je cena opravy větší než skutečná cena letadla a aerolinky letadlo raději prodají nebo ho nechají zlikvidovat. [1] [3] [4]

1.2 Plánování údržby letadel

Údržba je v dnešní době součástí velkého systému spolupracujících složek, od údržby, přes výrobce dílů, logistické firmy až po vývojáře softwarů pro plánování. Zároveň moderní svět přináší spoustu nových, ale i složitějších technologií a dílů, které mohou být nedostupné na skladě MRO organizace během údržby, nebo se musí dopravit z výrobního závodu z jiného státu. Proto je nutné, plánovat údržbu s dostatečným předstihem, než letadlo dorazí na hangár. Plánování údržby letadla zahrnuje také sledování technického stavu letadla, se záměrem určit, kdy je nutno provést údržbu dle časového horizontu. Letadlo, které stojí na zemi a nelétá, tak nevydělává, z toho důvodu je zároveň nutné zefektivnit plánování a následnou údržbu. Této efektivitě v oblasti plánování dosahujeme tak, že využijeme maximálně zdroje ať už softwarové, nebo fyzické, v době, kdy je plánování údržby nutné. [5]

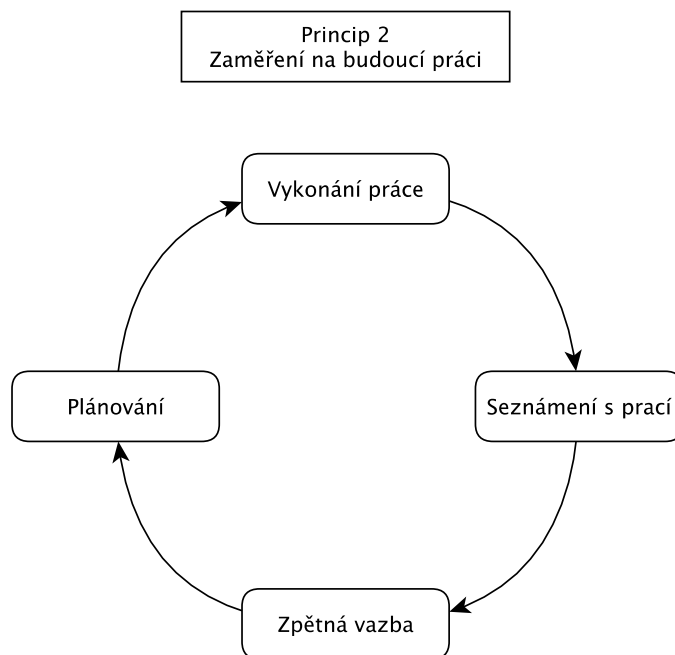
Odborná literatura a články se zabývají dvěma typy plánování údržby. První je směr ohledně plánování práce na větším počtu letadel v hangáru, druhým je směr na rozplánování techniků, na jakém letadle budou pracovat. V literatuře, ale následně i v praxi se setkáváme s faktem, že skoro polovina všech prací, která se týkají těžké údržby jsou neplánovaná.

1.2.1 Principy plánování

K celkovému úspěchu v oblasti plánování údržby přispívá šest principů. První z nich je, že plánovači údržby mají své vlastní oddělení separované od mechaniků údržby, z důvodu 100% soustředění na plánování techniky a budoucích prací.

Druhý princip spočívá v soustředěnosti plánovačů na budoucí práce, které nebyly započaty, kde cílem je dát mechanikům údržby minimálně týden, kdy je možné dodělat práce, které nebyly dodělané včas, nebo už jsou schválené, ale kvůli časovému tlaku na ně nedošlo v daný časový/denní interval. Problémy, které se, vyskytnou po zahájení plánované práce mají za úkol mechanici vyřešit, s nutností toho, že vedoucí mechaniků dává pravidelnou zpětnou vazbu oddělení plánování o pracích na letadle. Tato zpětná vazba musí obsahovat zmíněné případné problémy, užitečné informace o údržbě pro případné zefektivnění plánování údržby do budoucna, změny plánu a harmonogramu prací. Důležitou činností plánovačů po získání zpětné vazby, je informace pečlivě zaznamenat pro již už zmíněnou efektivitu plánování budoucích prací.

Na obrázku 1 je znázorněn cyklus v údržbě letadel, popisuje nám, že se mechanici musí seznamovat s letadlem a s plánovanou prací. Další částí kruhu je zpětná vazba, která se posílá právě plánovačům, což je další částí, a to nám říká zmíněném plánování do budoucna včetně doporučení v případě, že se vyskytly problémy. Poslední částí je práce samostatná. [5]



Obrázek 1 – Cyklus 2. principu plánování údržby. [5]



Třetí princip plánování spočívá v sestavování souborů na úrovni jednotlivých komponent. Tento systém souborů dává plánovačům možnost využít informace o vybavení pro údržbu letadla. Dále pak tyto informace včetně předchozích zkušeností lze s výhledem do budoucího plánování použít k přípravě a inovaci pracovních plánů dalších letadel co přiletí na údržbu.

Čtvrtý princip tkví v osobních zkušenostech plánovačů a v informacích ze souborů. Tyto zkušenosti a informace se pak využívají při vytváření plánu údržby, z důvodu předcházení zpoždění v pracích, problémů s kvalitou a bezpečností. Plánovači by měli být při nejmenším zkušení technici, kteří si prošli školeními v oblasti plánování údržby.

Pátý princip nám říká o nepovyšování se a uznání dovedností kolegů mechaniků plánovači údržby. Podle Richarda D. Palmera [5] je obecné pravidlo, které nám hovoří že, odpovědnosti plánovače je „co“ před „jak“. Veškeré požadavky na rozsah práce, včetně odůvodnění záměru, proč tuto práci je nutné udělat, má na starost plánovač. Plánuje obecnou část údržby, zda se určitý komponent bude opravovat nebo měnit a přidá k tomu předběžný postup práce. Úkolem mechaniků je použít své odborné znalosti k vykonání zadané práce na letadle. Plánovači a mechanici musí tedy spolu kooperovat, aby při budoucích plánech byli práce efektivnější.

Posledním principem je čas. Čas je hlavním klíčovým měřítkem efektivity plánování údržby a práce na letadle. Tento klíčový čas je podílem celkového času k dispozici, kdy mechanici nejsou zdržováni například čekáním na work-ordery, díly potřebné k údržbě, potřebná povolení, speciální stroje, které ne vždy udržbová organizace vlastní, dále pak koordinace s jinými odděleními MRO anebo také důležité dokumenty.

1.2.2 Zásady plánování

„Efektivní rozvrh činností je nedílnou součástí efektivního plánování.“ [5]

Stejně jako u principů plánování, je i zde šest zásad, které se musejí při plánování dodržovat. Prvně pro předčasné plánování, jsou vyžadované důležité úkony, co se na letadle musí provést, dále požadovaný počet mechaniků, určitou nejnižší úroveň vzdělání nebo praxe u mechaniků, kteří budou na letadle pracovat a v neposlední řadě je vyžadovaná informace o čase trvání práce na letadle. Dále musí celá firma respektovat důležitost časových plánů jak denních, tak týdenních a pracovních priorit, které musí být správně stanovené, z důvodu prevence nežádoucího narušení plánů. Třetí zásadou je práce plánovačů, kteří musí vypracovat týdenní plán údržby pro každý tým mechaniků, kde se řídí počtem hodin práce, prioritami jednotlivých úkonů. Zároveň, však musí plánovači vytvářet i týmy mechaniků, kteří



budou pracovat na jednotlivých úkolech na základě znalostní a pracovních dovedností mechaniků. Čtvrtou zásadou je maximální využití každé dostupné hodiny, aby práce byla co nejvíce efektivní. Touto zásadou umožňuje plán možnost řešení nežádoucích problémů, kde, pokud se objeví problém na úkonech s vysokou prioritou, tak se přeruší práce na jednodušších úkolech a dostane přednost. Pátou zásadou je sestavení pracovního plánu, vždy den dopředu za využití aktuálního progresu prací na letadle, dále už naplánovaného týdenního plánu a prioritních prací. Poslední a klíčovou zásadou je čas, který nám udává efektivitu mechaniků a efektivitu plánování. Musí se dodržovat spojení harmonogramu s časem a pomocí efektivního plánování snižovat zbytečné prodlevy mezi pracemi mechaniků na letadle.

1.2.3 Základní plánování v praxi

V rámci této kapitoly je zachycen celý proces plánování, který zahrnuje oblasti, jako jsou například to, jak plánovač stanoví rámec zakázky, co plánovač zaznamenává do formuláře pracovní zakázky a jakým způsobem plánovač archivuje soubory. Nejlepším příkladem k pochopení bude popis práce plánovače údržby. Po příchodu do práce by měl plánovač zkontrolovat primárně svou elektronickou poštu a podle zakázek si připravit plán dne. Dalším krokem je pozavírání a uložení work-orderů, které byly splněny, včetně informací o provedených opravách, zpožděných pracích, použitých dílech, nářadí pro každý work-order zvlášť. Součástí těchto kroků byla finanční část, kde plánovač sčítá náklady na údržbu. Po dokončení těchto prací včetně fyzické kontroly prací na hangáru, popřípadě stojance, by se měl ponořit do plánování nových zakázek, které přišly od zákazníků. Každé budoucí zakázce se musí vytvořit složka, do které se ukládají originály, ale i kopie všech dokumentů. Některé zakázky zahrnují jednoduché práce, některé však složité. Na základě všech informací a požadavků, by měl plánovač začít sestavovat plán údržby, objednávat díly nebo naplánovat mechaniky podle zkušeností na vyžadované práce. Při vytváření plánu údržby využívá plánovač zmíněných zásad, jako je například zpětná vazba s mechaniky nebo zkušenosti ze starších zakázek, které pomáhají v nových. V průběhu dne, by stále však měl být v kontaktu s pracemi na letadlech v hangáru a řešit případné vzniklé problémy. Ke konci pracovního dne by si měl projít opět zpětnou vazbu a připravit work-ordery na další pracovní dny. Ze všech kroků, co plánovač má za úkol během dne vyplývají důležité principy, koncepty plánování a tvorby harmonogramů a work-orderů. Zároveň plánovač využívá všech zmíněných principů plánování.



1.3 Plánovací nástroje/software

Tato kapitola se zabývá plánovacími nástroji a softwary při údržbě letadel, které pomáhají údržbové organizaci s efektivitou práce, logistikou, plánováním, řízením údržby a zajištění kvality organizace. Nejdůležitějším systémem nebo nástrojem je takzvaný work order (WO), respektive systém work orderů, používá se víceméně ve všech velkých údržbových organizacích. Další výpomocí k udržení zmíněných standardů, jsou softwarové aplikace/rozhraní. Na trhu k pořízení je spousta softwarů pro MRO, v této práci, jsem vybral pouze dvě, jedním z nich je AMOS, který CSAT vyžívá a druhým je OASES.

1.3.1 Work order systém

V údržbě letadel jsou velice důležité dokumenty nesoucí název work order, respektive důležitý je celý systém těchto dokumentů. Tento systém je jedním ze zásadních a klíčových nástrojů pro zvýšení efektivity a produktivity údržby. Jde o systém šíření všech potřebných informací k určité práci na letadle mezi všechny pracovníky MRO. Velice důležitým prvkem WO je jeho obsah, který by měl mít obecně vždy stejný typ informací a jednomyslný formát. Work order primárně slouží jako příkaz k práci na letounu, dále je možné ho použít ke dokumentaci o práci, certifikaci nebo případně pro zápis závady či jiného problému na letadle, kdy je pak nutné uvádět rozsah a popis poškození na letadle, popřípadě poškozené díly nebo části letadla, informace o letadle a další důležité detaily. WO se vždy ukládají do archivu organizace MRO. V moderní době se WO zpracovávají také kompletně v elektronické podobě, každopádně v údržbových organizacích je nejvíce rozšířená stále papírová forma s případnými doplňky elektronické podobě. Na obrázku 2 je příklad vzoru work orderu. [5]

1.3.1.1 Proces WO systému

Diagram pracovního postupu (obrázek 3 [5]) nám znázorňuje jednotlivé fáze pracovního procesu typické MRO organizace, která využívá klasický papírový systém pracovních příkazů. Základním krokem je vznik WO, který může vytvořit kdokoliv v MRO organizaci, od mechanika, přes plánovače až po další osoby v organizaci, které k tomu mají kompetence. Vyplní ho požadovanými informacemi od popsání problému, přes odhad priority práce, zda je nutné řešit úkon ihned nebo nikoliv. Dále může také zaměstnanec vyplnit názor na to kdo by měl práci vykonat, respektive jaké jsou požadované zkušenosti a znalosti až po další užitečné informace jako je například připojení k elektrické síti. Pokud je to nutné, tak WO kontroluje nadřízený autora příkazu a provede případné opravy. Následně se všechny vytvořené WO ukládají do schránek speciálně k tomu určených.



WORK ORDER #			
REQUESTER SECTION			Priority ___
Equipment _____	Tag # _____		
Problem or Work Requested:		Def Tag # _____	
By: _____	Outage Req? Y/N Date & Time: _____	Clearance Req? Y/N	Confined Space? Y/N
APPROVAL:			
PLANNING SECTION		Assigned Crew: _____	Attachment? Y/N
Description of work to be performed:			
Labor requirements:			
Parts requirements:			
Special tools requirements:			
By: _____	Date & Time: _____	Job Estimate: _____	Actual: _____
CRAFT FEEDBACK (Modify plan sections above: actual labor, parts, & tools)			
Work performed including equipment changes & any problems or delays:			
Date & Time Started: _____		Date & Time Completed: _____	
By: _____	Date: _____	APPROVAL:	
CODING			

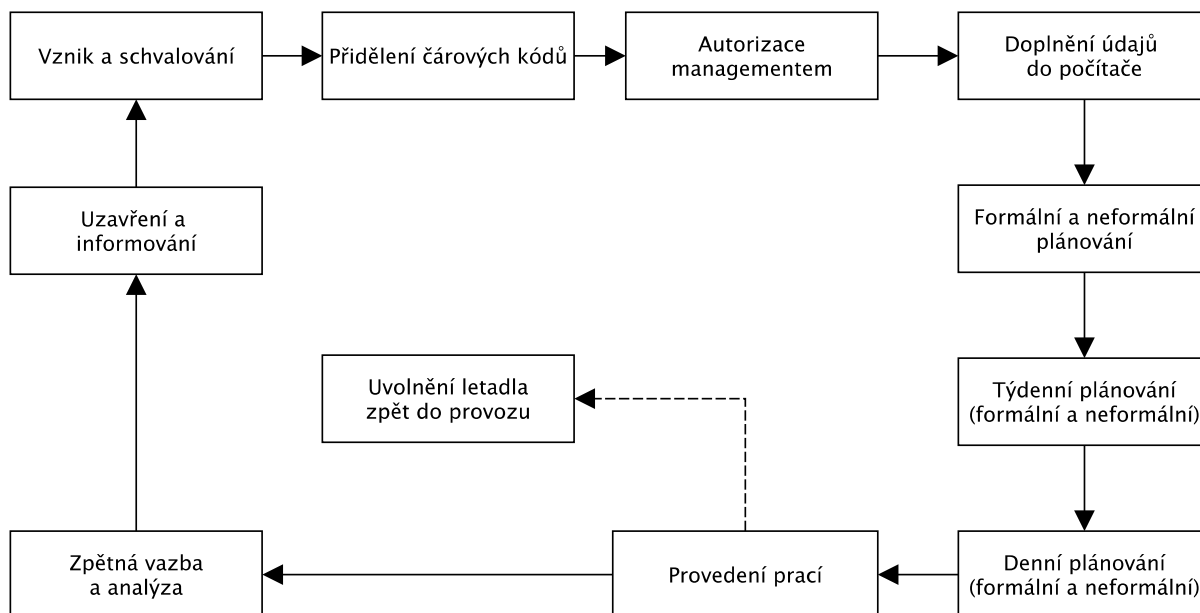
Obrázek 2 – Příklad vzoru work orderu. [5]



Druhý rámeček nám říká o čárových kódech, po shromáždění WO je plánovači prochází a přidělují jim čárové kódy. Tyto čárové kódy označují typ práce. U každého příkazu se zvláště musí kontrolovat zkušenost a znalosti mechaniků. Na základě těchto informací pak plánovači plánují týmy mechaniků, které budou na daném WO pracovat.

Mezi kroky procesu patří také schůze vedoucích oddělení plánování, na které jsou přineseny WO, respektive jejich seznam. Na této schůzi je možnost do seznamu nahlédnout a zjistit jaké úkony se daný den budou provádět. Se samotnými WO, již v tuto dobu plánovači plánují údržbu a využívají také elektronické podoby WO, protože je nutné dodržovat paritu obsahu papírové a elektronické formy. Z diagramu se tedy dozvíme, že plánovač zadává v tomto kroku všechny potřebné údaje, které může interní software vyžadovat. Zároveň však vedoucí mohou elektronicky v interním systému příkazy upravit nebo změnit, na základě urgentnosti nebo nestandardního postupu při údržbě.

Plánování může rozdělit WO na formální a neformální neboli práce, které nepotřebují plánování. Po rozdělení WO na formální a neformální se v diagramu posunují nejdříve na týdenní plánování a jakmile se naplánuje vše potřebné, jsou naplánované soubory předány vedoucímu mechaniků. Vedoucí mechaniků naplánuje práce do denních úkolů a rozdělí mechaniky na jednotlivé práce. V kroku s „Provedení práce“ je už práce přímo mechaniků, kteří si pomocí čtečky čárových kódů dokáží načíst čárový kód na WO a v počítači se jim zobrazí veškerá potřebná dokumentace, včetně možnosti vyhledání části manuálu patřícího k danému WO. Po provedení práce je potřeba nahlásit do systému, že se WO ukončil, aby se tato informace se dostala ke všem týmům, které pracují na letadle. Nutnost informovanosti mezi týmy je hlavně z důvodu předcházení zpoždění, protože některé práce na letadle je možné vykonat až po dokončení jiných prací. Mezikrokem je uvolnění letadla do provozu. Dále ve WO systému je povinností, všech pracovníků, kteří pracovali na daném příkazu, aby vyplnili informace, do systému. Tyto informace budou sloužit jako zpětná vazba, pomocí které se může do budoucna proces plánování zlepšit. Plánovači údržby by měli s touto zpětnou vazbou hodně pracovat, jelikož jim říká informace o daných pracích přímo od mechanika, který na letadle pracoval. Nakonec se diagram pracovního postupu uzavírá odesláním oznámení o dokončení údržby majiteli nebo provozovateli letadla, včetně všech informací a kopií papírových formulářů (work orderů). [5] [6]



Obrázek 3 – Diagram pracovního postupu MRO. [5]

1.3.2 Systém AMOS

„AMOS, Aircraft Maintenance and Engineering Operating System, je komplexní integrovaný softwarový balík, který řídí údržbu, inženýring a logistické funkce leteckých společností.“ [7]

Systém AMOS vyvinula společnost Swiss AviationSoftware (dceřiná společnost Swiss International Air Lines Ltd.) za účelem zefektivnění údržby. AMOS umožňuje zákazníkům spravovat jejich data v oblasti údržby, inženýrství a logistiky, a to v souladu s leteckými předpisy CAA. Jádrem softwaru se skládá z osmi modulů, jsou jimi správa materiálu, inženýrství, plánování, výroba, kontrola údržby, údržba dílů, zajišťování kvality a komerční odvětví. Doplňujícími systémy jsou lidské zdroje, kontrola financí a několik dalších doplňkových modulů. Software používá mnoho organizací od nízkonákladových, regionálních a vlajkových dopravců až po velké letecké skupiny a poskytovatele MRO. Je tedy nejvíce rozšířeným systémem na světě a stále se rozvíjí. [7] [8]

Software AMOS používá od roku 2007 i organizace CSAT. Cílem CSAT bylo nahradit starý systém a ve výběrovém řízení vybrat nový software, kde software ze Švýcarska vyhrál. V současné době je systém AMOS plně zakomponován do infrastruktury organizace a používá ho denně mnoho zaměstnanců CSAT. [9]



1.3.3 Systém OASES

Druhým softwarem, který velice hojně využívají MRO organizace, je software OASES (Open Aviation Strategic Engineering System), podobně jako AMOS je tento systém komplexní pro řízení letové způsobilosti a splňuje přísné požadavky leteckých předpisů úřadu pro civilní letectví. Zvyšuje efektivitu provozu, monitoruje každý postup nebo úpravy v systému provozovatele letadel, MRO organizace nebo CAMO organizace. Přes 130 ať už menších nebo větších leteckých organizací využívá software OASES v mnoha zemích světa.

Rozhraní API systému API (Application Programming Interface) nabízí zákazníkům funkce v oblastech zachování letové způsobilosti, plánování, produktivity, lehké údržby, řízení údržby, správy materiálu a záruk, logistiky a obchodního řízení. Systém funguje na jednotné platformě, pokud mechanik zadá data do jakéhokoli modulu v API, zobrazí se následně všem tyto informace a mohou s nimi pracovat skrze všechny moduly, které mohou být personalizované pro každého zaměstnance zvlášť. [10]

1.4 Manuál údržby letadla

Jedná se formální příručku údržby letadla vypracovanou výrobcem. Popisuje nám způsob, jakým se vykonávají všechny úkony na letadle. Tento dokument obsahuje detailní technické instrukce, kterými se mechanici řídí při údržbě letadla. Obsahují položky jako jsou například kontroly funkčnosti hydraulického, elektrického systému nebo podvozku, každopádně většinou neobsahuje, jak opravit nebo modifikovat trup letadla.

Obsah manuálu pro údržbu letadla je součástí pokynů pro zachování letové způsobilosti, které musí držitel typového osvědčení povinně poskytovat a udržovat. Držitelem typového osvědčení může být Airbus, Boeing nebo jakýkoli jiný výrobce letadel.

Údaje uváděné v manuálu údržby letadla neboli Aircraft Maintenance Manual (AMM), jsou v souladu se standardem ATA100 [19], což je systém číslování všech možných systémů na letadle, kterým se nejen výrobci a plánovači, ale primárně mechanici orientují v manuálu. U proudových letadel jsou kapitoly AMM jsou rozděleny do čtyř hlavních oblastí. Číselné kódy platící pro vrtule, helikoptéry, vojenská letadla a jejich vybavení jsou součástí ATA100 také. Pokud chce mechanik vyhledat informace, určí si kapitolu, které se práce týká a v manuálu jí podle číselné normy ATA100 nalezne. Kapitoly jsou rozdělené následovně – ATA 0 až 20 se zabývá letadlem obecně, ATA 20 až 50 systémy letadla, ATA 51 až 57 má na starost konstrukci letadla a jako poslední ATA 70 až 80 se zabývá pohonnou jednotkou letadla.



1.4.1 Task Cards

Informace obsažené v manuálu jsou rozděleny do dvou kategorií – 1. Popis a provoz, 2. Postup údržby. Postup údržby jsou rozdělovány podle skupin podobných úkolů takzvaných „Task Cards“ na dalších sedm podkategorií. První touto podkategorií je „Servicing“, jde o postupy, jak doplňovat olej, hydraulickou kapalinu, vodu, tlak v pneumatikách a další informace například o objemech nádrží nebo zásobníků. Druhou podkategorií je „Removal and Installation“, která popisuje pokyny pro demontáž a montáž letadlových komponentů a dále jaký je potřeba hardware k práci. „Deactivation and Activation“ je třetí podkategorií kategorie postupu údržby a ta mechanikům popisuje postupy deaktivace a aktivace systémů v případě poruchy nebo nutnosti odpojení systému před jiným typem údržby. Čtvrtou podkategorií s názvem „Test and Adjustment“ zahrnuje 4 druhy zkoušek, kterými jsou provozní a funkční zkouška, zkouška systému a BITE test. Další částí je „Inspection/Check“, ta popisuje postupy pro určení provozuschopnosti dílu a dělí se na 3 podkapitoly – podrobná kontrola, všeobecná vizuální a zvláštní podrobná kontrola. Předposlední podkategorií je „Cleaning and Painting“, postupy čištění a lakování obsahují postupy potřebné k čištění nebo lakování konkrétních dílů a oblastí na letadle. Poslední podkategorií je „Repairs“, tato část obsahuje postupy krok za krokem v logické posloupnosti pracovních postupů pro opravu a následné uvedení neprovozuschopného dílu do stavu provozuschopného.

Struktura takové jedné task karty, která nám popisuje podrobně úkol krok za krokem, by měla obsahovat základní informace o úkonu, číselné kódy každého úkolu a podúkolu, reference na příslušné úkony v manuálech stejného nebo jiného systému, důležité zóny, ve kterých se bude práce odehrávat, dále materiál a vybavení, který se použije při práci, varování před nebezpečím a v neposlední řadě samotné kroky daného úkolu. [11]

1.5 Elektrický systém ATA24

ATA24 neboli elektrický systém letounu B737NG jehož grafické schéma je na obrázku 4 [20], generuje elektrinu pro mnoho systémů v letadle. Elektrickou energii v letadle napájí tři systémy, a to systém napájení střídavým proudem (AC), stejnosměrný napájecí systém (DC) a pohotovostní systém střídavého a stejnosměrného napájení.

Primární střídavý elektrický proud zajišťují 2 integrované pohonné generátory (IDG) které jsou poháněné motorem. IDG jsou chlazeny a mazány samostatným olejovým systémem a dodávají elektrickou energii přímo do sběrnic pro přenos střídavého proudu. Oba IDG jsou kontrolovány generátorovými jističi (GCB). Převodní sběrnice jsou propojeny pomocí



propojovací sběrnice a dvou sběrnicových jističů (BTB). Střídavé přenosové sběrnice zásobují energií zbývající střídavé sběrnice a transformátory usměrňovačů (TR). Transformátorové usměrňovače jsou primárním zdrojem napájení pro stejnosměrné sběrnice.

Hlavní baterie napájí takzvanou horkou baterii a spínané horké bateriové sběrnice, když není k dispozici střídavé napájení. Horkou baterii a sběrnicí je na mysli taková baterie a sběrnice, která je neustále napájena z jakéhokoliv zdroje i v případě, že je zbytek systému „zablokovan“. Rovněž může dodávat nouzovou energii pro bateriovou sběrnici a střídavé a stejnosměrné záložní sběrnice. Přídavná baterie se používá pouze jako nouzový zdroj energie pro záložní napájecí systém. Hlavním nabíječem baterií je také běžný zdroj napájení pro horké bateriové a spínané sběrnice. Součástí APU je generátor, který je schopen napájet všechny potřebné elektrické odběry letadla za letu nebo na zemi. Na zemi je možnost použít i externí AC napájení. K letounu se připojuje prostřednictvím zásuvky na spodní straně trupu. Spínač pozemního provozu umožňuje připojit externí napájení k pozemním sběrnicím z předního panelu palubního personálu v kabině.

V elektrickém systému B737NG platí dvě základní pravidla činnosti. Prvním pravidlem je, že zdroje střídavého proudu nelze provozovat paralelně. K přenosové sběrnici lze současně připojit pouze jeden zdroj střídavého proudu, a to buď IDG, generátor APU nebo pozemní napájení. Druhé pravidlo říká, že pokud je k přenosové sběrnici připojen druhý zdroj elektrické energie, tak se zdroj zapojený původně automaticky odpojí. Většina elektrických ovládacích a kontrolních prvků v pilotní kabině se nachází na „overhead“ panelu. Jedná se o panel měření střídavého a stejnosměrného proudu, pohonu generátoru a záložního napájení a posledním je panel přepínání pozemního napájení a sběrnic. [12]

1.5.1 Systém napájení střídavým proudem (AC)

Systém střídavého napájení se skládá z přenosových sběrnic, hlavních sběrnic, sběrnic v kuchyňce, záložních sběrnic střídavého proudu a pozemních servisních sběrnic. Přenosové sběrnice jsou propojeny systémem propojovacích sběrnic a jističů. Pokud jsou připojeny dva zdroje napájení, jističe sběrnic se otevřou, aby se zabránilo paralelnímu provozu generátorů. Pokud je propojovací sběrnice napájena pouze jedním zdrojem, tak se propojovací jističe sběrnic zavřou, aby napájely obě přenosové sběrnice. Zdroji střídavého proudu jsou pozemní generátory, APU generátor a IDG, které pohání motor.

Generátor APU nebo pozemní zdroj mohou napájet jednu nebo dvě přenosové sběrnice, ale nemohou být současně připojeny k žádné části elektrického systému. Pokud APU po vzletu



letadla pokračuje v napájení přenosových sběrnic a poté se porouchá nebo je vypnut, IDG se automaticky připojí ke sběrnicím. V případě, kdy je během letu k dispozici pouze jeden zdroj napájení, tak elektrický systém automaticky odpojí napájení některých sběrnic, aby se snížilo celkové zatížení systému. Tento postup se nazývá jako vypínání zátěže. Sběrnice v kuchyňce jsou odpojeny jako první, pokud je zatížení i nadále větší než dostupný elektrický výkon, jsou hlavní AC sběrnice odpojovány jedna po druhé, dokud zatížení není menší než limit systému. Později, pokud je k dispozici více energie, jsou některé nebo všechny sběrnice automaticky znovu zapnuty. [12]

1.5.2 Stejnoseměrný napájecí systém (DC)

B737NG používá tři transformátorové usměrňovače (TR) pro napájení stejnosměrným napětím 28V. TR mění střídavé napětí 115V z přenosových sběrnic na stejnosměrné napětí 28V, které se používá pro DC sběrnice. TR 1 je napájen z přenosové sběrnice č.1 a je standardním zdrojem energie pro stejnosměrnou sběrnici č.1. TR 2 je napájen z přenosové sběrnice č.2 a je standardním zdrojem energie pro stejnosměrnou sběrnici č.2. Přenosová sběrnice č.2 je standardním zdrojem napájení pro TR 3, ale lze použít i přenosovou sběrnici 1. TR 3 je pomocným zdrojem stejnosměrného napájení v případě poruchy TR 1 nebo TR 2 a je také standardním zdrojem napájení pro bateriovou sběrnici. Pokud dojde k poruše TR, mohou zbývající TR dodávat energii pro celkovou zátěž stejnosměrným proudem. Stejnoseměrné sběrnice jsou propojeny pomocí relé pro propojení sběrnic. Relé se automaticky rozeplne, pokud letadlo během přiblížení pomocí ILS zachytí glide slope. Relé se rozeplne, aby odpojilo navigační přijímače a počítače řízení letu. Tím se zabrání vyřazení všech informací o přiblížení z důvodu jediné elektrické poruchy. Relé se rovněž rozeplne, když je přepínač BUS TRANSFER přesunut do polohy OFF.

Pokud selžou standardní zdroje napájení stejnosměrných sběrnic, jsou nouzovým zdrojem stejnosměrného napájení baterie. Jsou nainstalovány dvě 24 voltové baterie. Energie z baterií může napájet dvě nouzové sběrnice, bateriovou sběrnici, horkou bateriovou sběrnici a spínanou horkou bateriovou sběrnici. Horká bateriová sběrnice je vždy připojena k napájení z baterií. Její komponenty pracují, dokud je napětí baterie nad minimální stanovenou hodnotou. Napájení horké bateriové sběrnice je řízeno spínačem. Automatická dobíjecí jednotka baterií obnovuje a udržuje plné napětí baterie. Pokud je k dispozici zdroj střídavého proudu, je nabíječka akumulátoru napájena ze střídavé zemní sběrnice č.2. Jiný nabíječ akumulátoru pro pomocný akumulátor je napájen ze střídavé zemní servisní sběrnice č.1. [12]



1.5.3 Systém záložního napájení

V případě, že není k dispozici střídavý proud z generátorů motoru nebo APU, záložní napájecí systém dodává střídavý a stejnosměrný proud důležitým elektrickým komponentům v letadle. Záložní napájecí systém využívá k napájení těchto sběrnic baterie a statický invertor. Pokud není k dispozici žádný zdroj energie, baterie dodávají elektrickou energii po dobu minimálně 60 minut. Akumulátory jsou nouzovým zdrojem energie pro stejnosměrnou záložní sběrnici, bateriovou sběrnici a statický invertor. Statický invertor mění 24 voltové stejnosměrné napájení z baterií na 115 voltové střídavé napájení pro střídavou záložní sběrnici. Pokud jsou všechny zdroje střídavého napájení odpojeny, řídicí jednotka záložního napájení automaticky změní záložní systém na napájení z baterie. K napájení může dojít na zemi nebo ve vzduchu. Zařízení ovládaná záložními sběrnicemi se mohou u některých zákazníků lišit, ale většina důležitých komponentů je ve všech letadlech stejná. Jedná se o systém letadla, komunikaci, nouzové vybavení, motory, APU, protipožární ochranu, letové přístroje, navigaci, palivo, hydrauliku, podvozky a brzdy a osvětlení a výstražný systém. [12]

1.6 Přehled vědecké literatury

V této kapitole se zabývám rozбором vědecké literatury a článků, které se zabývají problematikou v oblasti plánování údržby letadel, respektive její optimalizací, či automatizací.

Vědecké literatury a článků, které se zabývají příbuznými tématy jsem našel několik jednotek. Vybrané tři jsou nejbližše řešené problematice. První studie, kterou jsem našel, se zabývala zpracováním údržbových dat v reálném čase. [21] Na základě dostupných údajů, kdy průběh údržby měl zpoždění vůči plánu nebo naopak byl moc v předstihu, byla vytvořena struktura rozhodování. Tato struktura pomocí sledování údajů o průběhu, pomáhala vytvářet ideální rozhodnutí s úmyslem využít nejvhodnější postup při zpoždění, nebo naopak v případě přebytku času. Použitím kombinace analýzy spolehlivosti, nákladů a generování rozhodovacích aktivit, byla struktura schopna idealizovat plánování a náklady na údržbu zmenšit o 45 až 90 %.

Dalšími studiemi byly dvě, které se zabývali použitím genetického algoritmu při vytváření optimalizačního modelu v letecké údržbě. Zmíněný algoritmus je založen na použití principů evoluční biologie komplikovaných problémů, které není možno řešit elementárními algoritmy. První studie se zabývala pouze plánováním úkolů ve spojení s letectvím a hlavním tématem nebylo plánování údržby. [22] Výsledky této studie prokázaly, že použití tohoto algoritmu je využitelné a lze ho využít při optimalizaci.

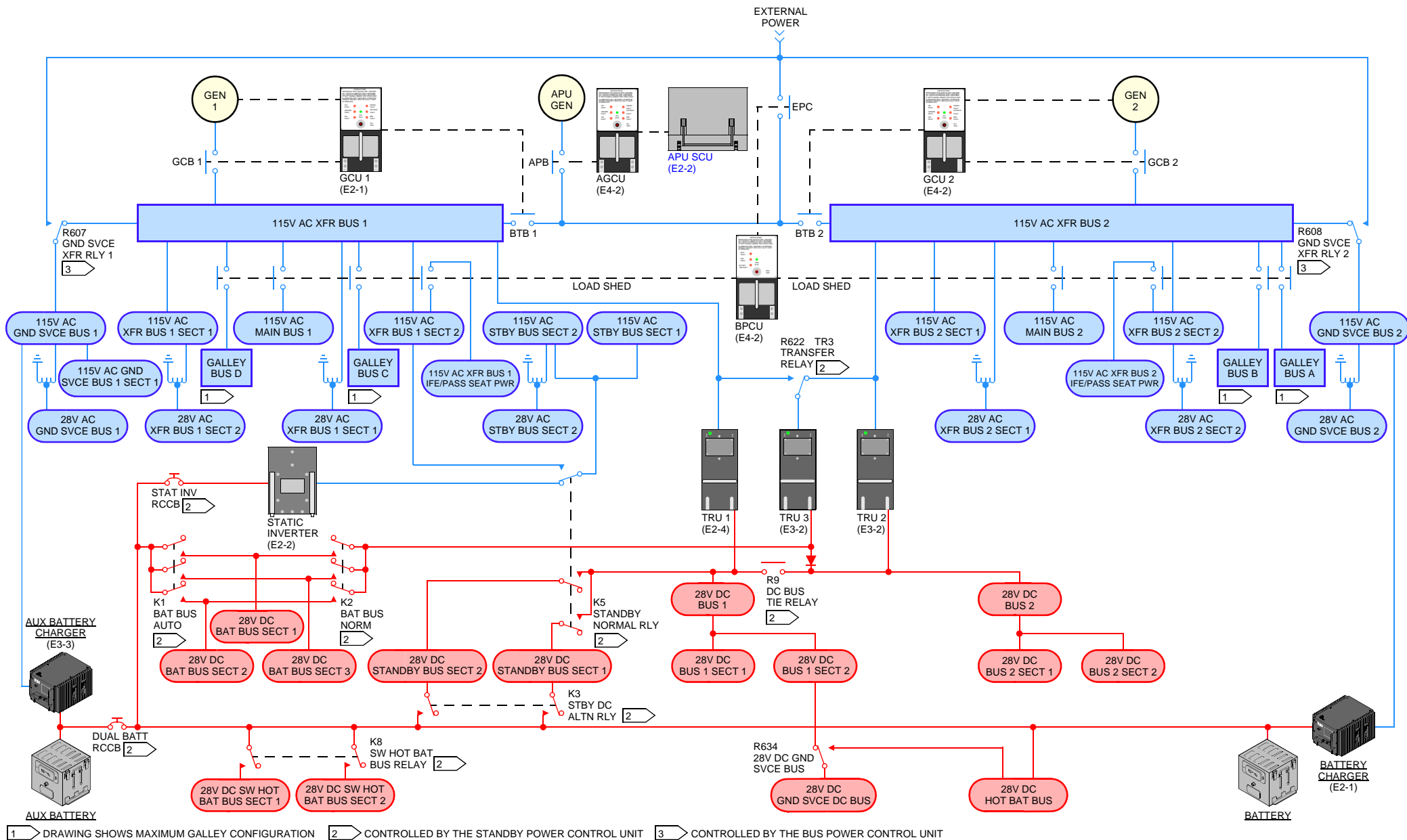


Druhá zmíněná studie, byla zaměřená už přímo na plánování údržby letadel. [23] Cílem byla optimalizace a snížení nákladů pomocí zmíněného genetického algoritmu. Model algoritmu bral v úvahu omezení zdrojů MRO organizace a data z údržby. Výsledky pokusů potvrdily proveditelnost tohoto postupu na základě reálných dat letecké společnosti. Uplatnění aplikace algoritmu v praxi je také využitelná, algoritmus by dokázal výrazně zvýšit úroveň automatizace plánování. [23]

Studii, která by se přímo zabývala výzkumem automatizace plánování údržby na základě technických dat z AMM, jsem nedohledal žádnou.

1.7 Limitace současného stavu

Limitací současného stavu je určitě stránka softwarová, a to přesněji systémy pro automatizované plánování údržby. I přes spoustu aplikací a nástrojů, má však každá organizace vlastní požadavky, kvůli kterým by se museli pro všechny organizace na světě tvořit programy na zakázku. Jelikož je stále nejvíce rozšířená papírová verze formulářů, work orderů a manuálů údržby tak zde chybí větší dostupnost leteckých dokumentů v elektronické podobě. Naopak elektronická podoba všech dokumentů nám nedává tak velké výhody, do kterých by se organizací chtělo investovat. Větší budoucnost má kompletní automatizace interních systémů, včetně systému automatizovaného vytváření plánu údržby. Tyto systémy by měli být nesložité a rychlé na ovládání, dále pracovat efektivně a samostatně například na základě vložení požadavků od zákazníka, které budou potřeba k naplánování kompletního plánu údržby. Ideálním softwarem by byla umělá inteligence, která kompletní práci vytvoří rychle a efektivně za zaměstnance, avšak i přes moderní technologie a dobu, to však i kvůli bezpečnosti zatím není možné. Ve své práci řeším limitaci automatického vytváření plánu údržby.



Obrázek 4 – Schéma elektrického systému ATA24 [20]



2 Metodika

V kapitole metodika se věnuji postupům a metodám, které můžeme použít pro vytvoření konceptuálního modelu různých systémů. Zaobírám se zde využitím UML neboli Unified modeling language, dále ontologií a v neposlední řadě softwarem Protégé. Ve své práci řeším limitaci automatického vytváření plánu údržby. konceptuálním modelem pro automatizaci plánování údržby. Závěrem práce by měl být verifikovaný model, použitelný pro další zpracování a vývoj následný softwaru, který po zadání veškerých požadavků od zákazníka naplánuje pracovní postup sám, tak aby práce byla co nejvíce efektivní.

2.1 UML – Unified Modeling Language

„Jazyk UML – Unified Modeling Language (unifikovaný modelovací jazyk) je univerzální jazyk pro vizuální modelování systémů.“ [13]

Jazyk je spojován nejčastěji s modelováním objektově orientovaných softwarových systémů, avšak má mnohem širší využití díky svým zabudovaným mechanismům. Jedním z hlavních úkolů UML je převod určitého systému jak pro software, tak pro softwarového inženýra do jednoduše zaměřené a zřejmé struktury.

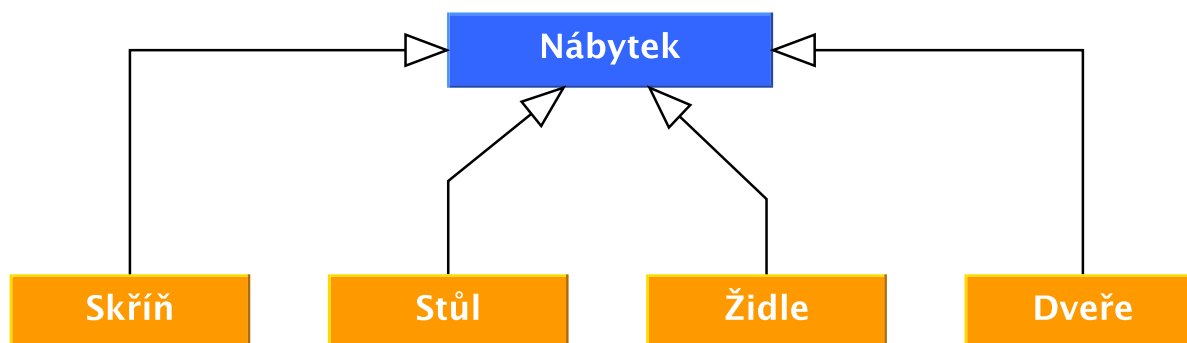
V této bakalářské práci je unifikovaný jazyk UML mnou využit na vyobrazení konceptuálního modelu plánování letecké údržby elektrického systému ATA 24 letounů Boeing 737NG. K zobrazení konceptuálního modelu pro plán údržby, kde je možné nejlépe zobrazit strukturu elektrického systému je tento jazyk ideální. Z vytvořených diagramů pak další práce na vývoji modelu je pro mě a softwarové inženýry přehledná.

2.1.1 Objekty

„Základním předpokladem použití jazyka UML je skutečnost, že umožňuje modelování pracovního postupu pro vývoj softwaru, stejně jako dalších systémů jako kolekce spolupracujících objektů.“ [13]

I přes fakt, že tato citace zcela zapadá do softwarových systémů a programovacích jazyků, tak zároveň, funguje stejně spolehlivě v obchodních, podnikatelských a dalších aplikacích. Modely systémů, respektive jejich strukturu rozdělujeme prostřednictvím UML na dva aspekty. Prvním z nich je statická struktura, ta nám říká, jaké typy objektů jsou pro modelování určitého

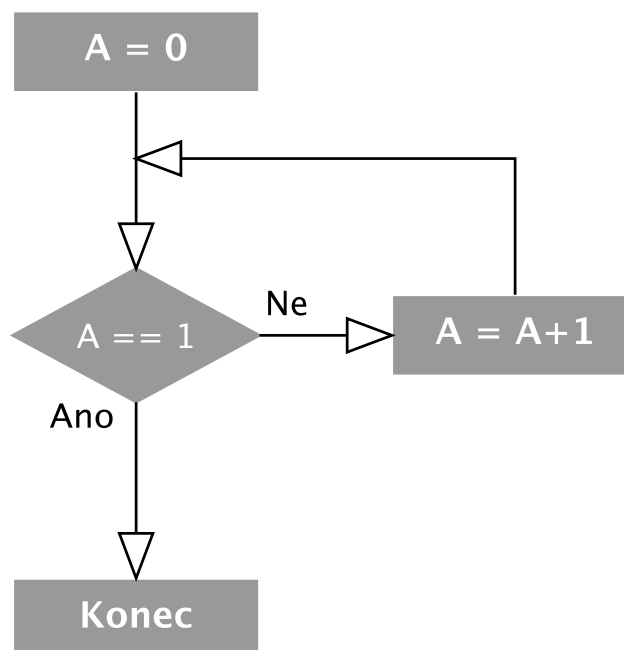
systemu důležité a zároveň nám popisuje souvislost těchto objektů. Příklad statické struktury je znázorněn na obrázku 5.



Obrázek 5 – Příklad statické struktury.

Druhý aspekt je dynamické chování, to nám říká o životním cyklu objektů, a to, jak objekty spolupracují mezi sebou, kde jejich cílem je dosažení požadované funkce systému, který je navrhován. [13] Příklad dynamického chování je znázorněn na obrázku 6.

Statická struktura a dynamické chování bez sebe jednotlivě nefungují v plném rozsahu možností. V této bakalářské práci mi postačí možnosti statické struktury. Důvodem je, že popisují pouze objekty v údržbě a jejich stavy o kterých můžeme sbírat data v manuálech jednotlivých systémů pro údržbu letadel. Řeším pouze základní podmínky procesů.



Obrázek 6 – Příklad dynamického chování.



2.1.2 Stavební bloky UML

Struktura jazyka UML se skládá z architektury, společných mechanismů a stavebních bloků, které jsou pouze tři. [14] První stavební blok jsou předměty (things), ty představují samotné prvky modelu. Dále jsou to vztahy/relace (relationships), které určují vztah mezi dvěma a více předměty. Posledním stavebním blokem jsou diagramy (diagrams), to jsou „pohledy na UML, které ukazují kolekce předmětů“. [13] Je to vizualizace, která nám říká „co“ systém bude dělat a „jakým“ stylem to bude vytvářet.

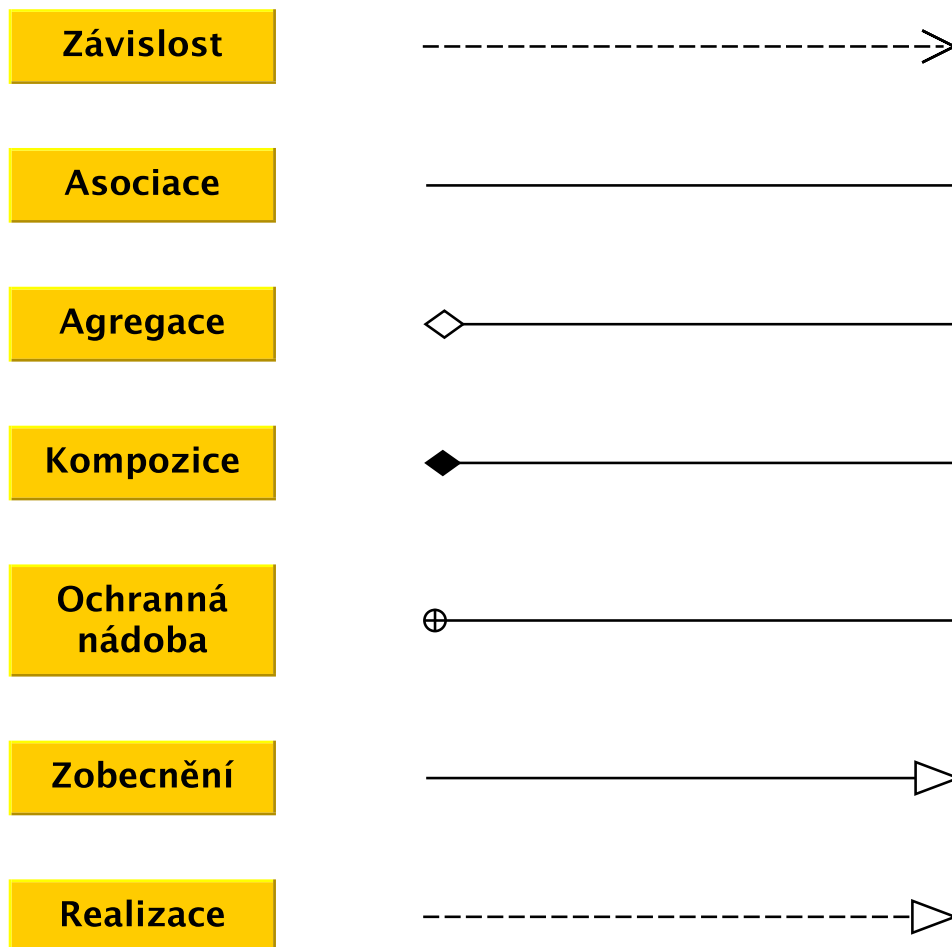
2.1.2.1 Předměty

V jazyce UML dělíme předměty na strukturní abstrakce, to jsou podstatná jména modelu, která vyjadřují části systému jako statickou strukturu. Chování patří mezi další předměty UML, jsou to slova modelu v dynamické části, vyjadřují zde interakce a stavy. Třetím předmětem jsou seskupení, které používáme k seskupování významných prvků modelu do jednotek. Posledním předmětem jsou poznámky nebo také anotace, které můžeme do modelu připojit a vložit do ní informace, které jsou nutné pro budoucí práci.

2.1.2.2 Relace

Vztahy nebo také relace nám dávají možnost ukázat na modelu, jaký je vztah mezi dvěma předměty. Znamení obdoby role, kterou relace v modelech UML najdeme, jsou vztahy mezi všemi rodinnými příslušníky. Mezi předměty v modelu, za pomoci relací, jsme schopni zobrazit sémantický vztah. Relace hrají významnou roli ve správném pochopení, jak modelovat v jazyce UML.

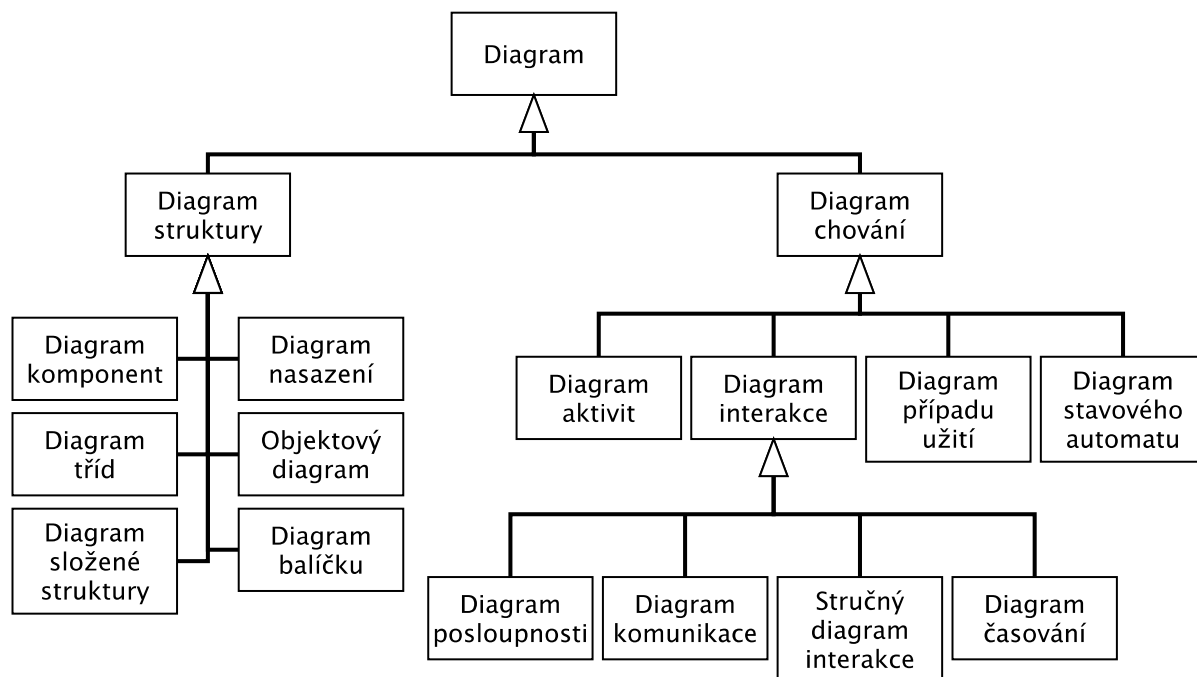
V UML jsme schopni použít 7 základních relací, patří mezi ně závislost, která nám říká, že změna v daném předmětu ovlivňuje stav předmětu, který je na něm závislý. Druhou relací je asociace, která popisuje množiny spojení mezi objekty. Agregace popisuje, že cílový prvek je součástí zdrojového prvku. Kompozice je agregace s většími omezeními. Ochranná nádoba popisuje, že zdrojový prvek obsahuje cílový prvek. Předposlední relací je zobecnění, zde definice zní tak, že nějaký prvek je specializací jiného prvku, kde je možné ho vyměnit obecnějším prvkem. Poslední z relací je realizace, což je asociace mezi klasifikátory, kdy první klasifikátor zadává dohodu, kterou druhý klasifikátor zaručeně uskuteční. [13] Stručný přehled typů relací, které jsou jazykem UML definované najdeme na obrázku 7.



Obrázek 7 - Stručný přehled typů relací.

2.1.2.3 Diagramy

Přidáváním předmětů a vztahů (relací) do modelu, který je v procesu vytváření nám vzniká diagram, ten nám zobrazuje sdružování zmíněných předmětů a vztahů. Z diagramu jsme schopni vymazat předměty, ale v modelu zůstanou (dokud nebudou přímo vymazány z modelu), proto to jsou pohledy na model, nikoliv model samotný. Abychom vytvořili správný popis systému, tak je nutné použít více jak jeden diagram. Typů diagramů UML je třináct a jsou vyobrazeny na obrázku 8. [13] Tento počet diagramů rozdělujeme na statickou a dynamickou strukturu systémů. [2] [13] V mé práci však používám jen diagram struktury, přesněji diagram tříd.

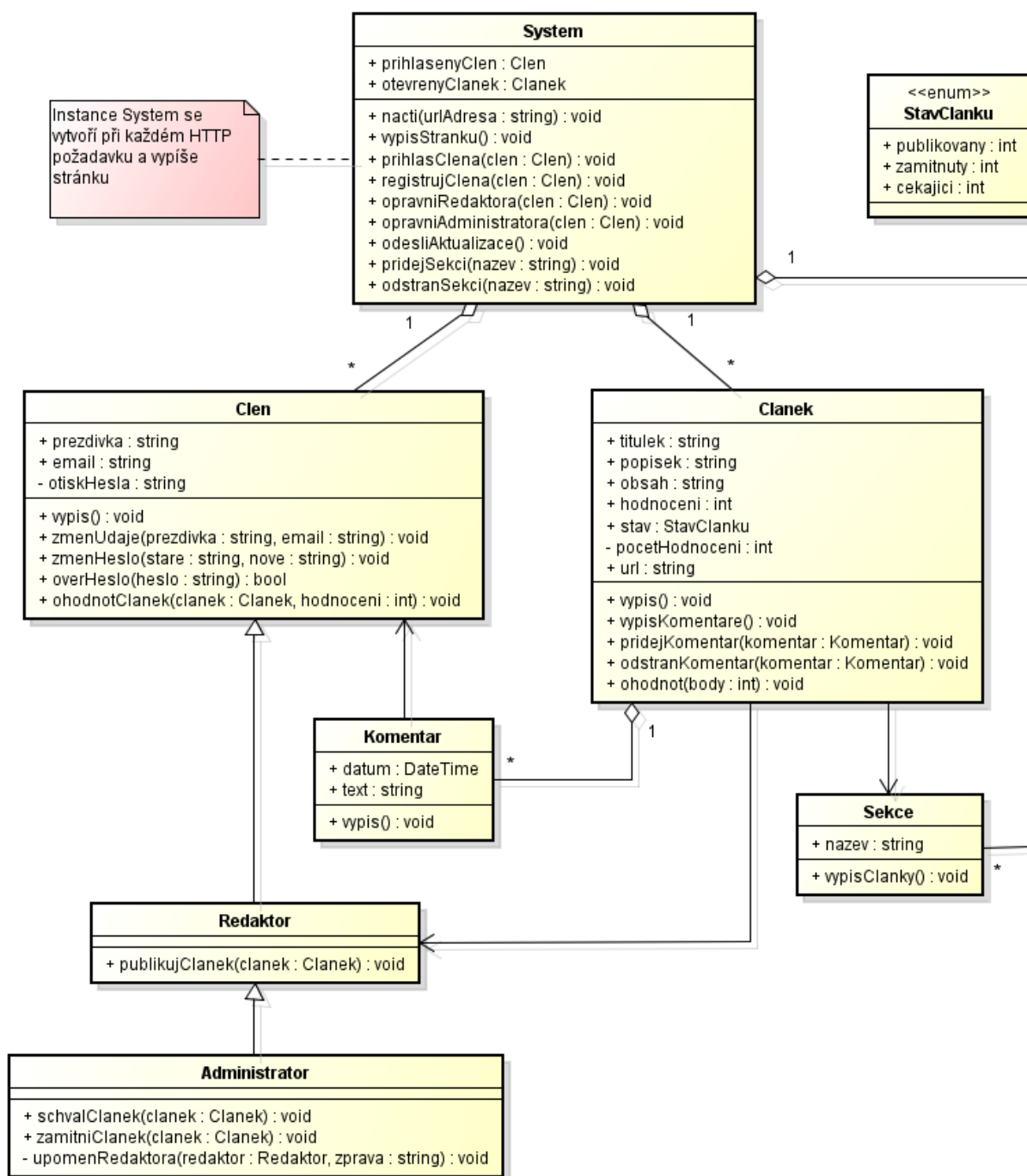


Obrázek 8 – Typy diagramů. [13]

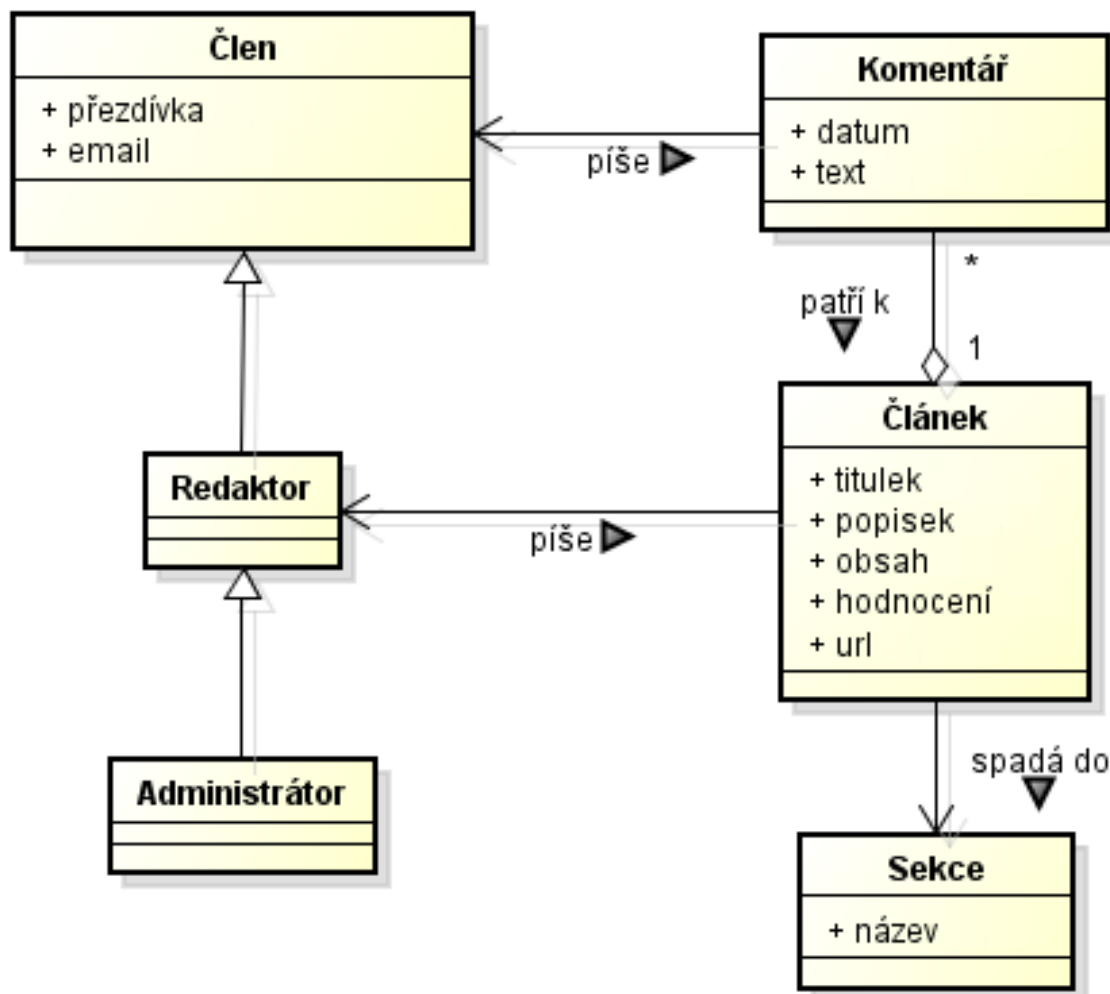
2.1.2.3.1 Diagram tříd

Diagram tříd, nebo také často v anglickém jazyce používaný class diagram, je typem statického strukturního diagramu. Zobrazuje nám vztahy mezi třídami v určitém systému, zároveň nám zobrazuje vzájemné působení statického stavu, nikoliv však co se při tomto vzájemném působení děje. Zobrazuje také systémovou strukturu zobrazováním názvu třídy, atributů, které charakterizují vlastnost objektu. V neposlední řadě zobrazuje operace (metody), které nám říkají o chování digramu (je funkční složkou objektu). V případě, že programátor bude přepisovat diagram do kódu, tak diagram musí být kompletní a po přepsání fungovat. Příklad diagramu tříd je zobrazen na obrázku 9. [17]

V mé bakalářské práci mi však ideálně poslouží takzvaný doménový model, který je formou class diagramu. Modely doménové jsou zjednodušené, je zde pouze název třídy a důležité atributy bez datových typů, neobsahují však metody. Názvy tříd a atributů můžeme psát s diakritikou, jelikož model není přímo určený pro konkrétní programovací jazyk. Doménový model je zobrazen na obrázku 10. [16]



Obrázek 9 – Příklad digramu tříd. [17]



Obrázek 10 – Příklad digramu tříd. [16]

2.2 Protégé

Protégé¹ je bezplatný software, který funguje ve formátu OWL neboli Ontology Web Language s formátováním typu RDF/XML. Byl vytvořen v roce 1987 Markem Musenem a od té doby má vývoj softwaru na starost Stanfordská univerzita, která Protégé uvedla v roce 1999 na trh. Jedná se o editor ontologie, který poskytuje komplexní sadu nástrojů pro vytváření doménových modelů a aplikací založených na znalostech pomocí ontologií. Výhodou je, že data z Protégé mohou být zpracovávána dalšími aplikacemi. S možnostmi tohoto softwaru lze

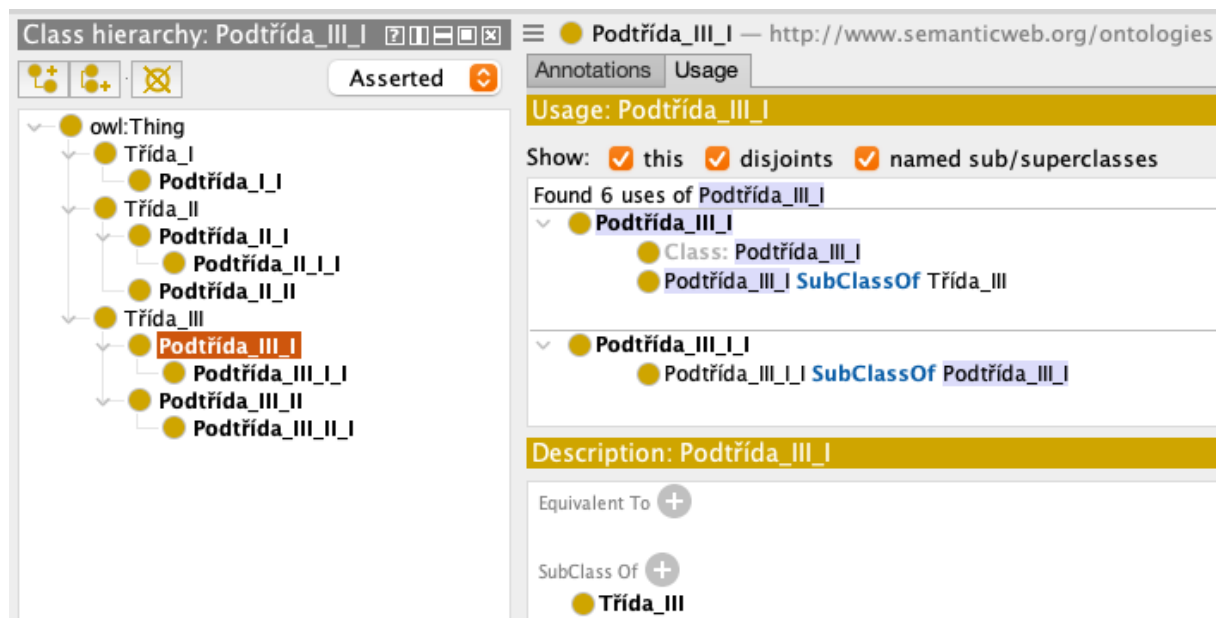
¹ <https://protege.stanford.edu>

tak vypracovaný model v UML převést do konkrétního formátu, který lze dále strojově zpracovat.

Všechny zmíněné bloky v této kapitole jsou v mé bakalářské práci využívány pro vytvoření konceptuálního modelu údržby elektrického systému letounu B737NG. Avšak software Protégé umožňuje mnohem širší využití při vytváření ontologií. Pomocí ontologií v Protégé popisují seznam dat, které má pojmy typu zóny na letadle, nářadí nebo technické panely. Dále je využívám pro vztahy, v podstatě, jak na sobě závisí jednotlivá data a vztahy mezi nimi. Následně v ontologickém inženýrství je možné tyto informace využívat pro automatizaci.

2.2.1 Classes

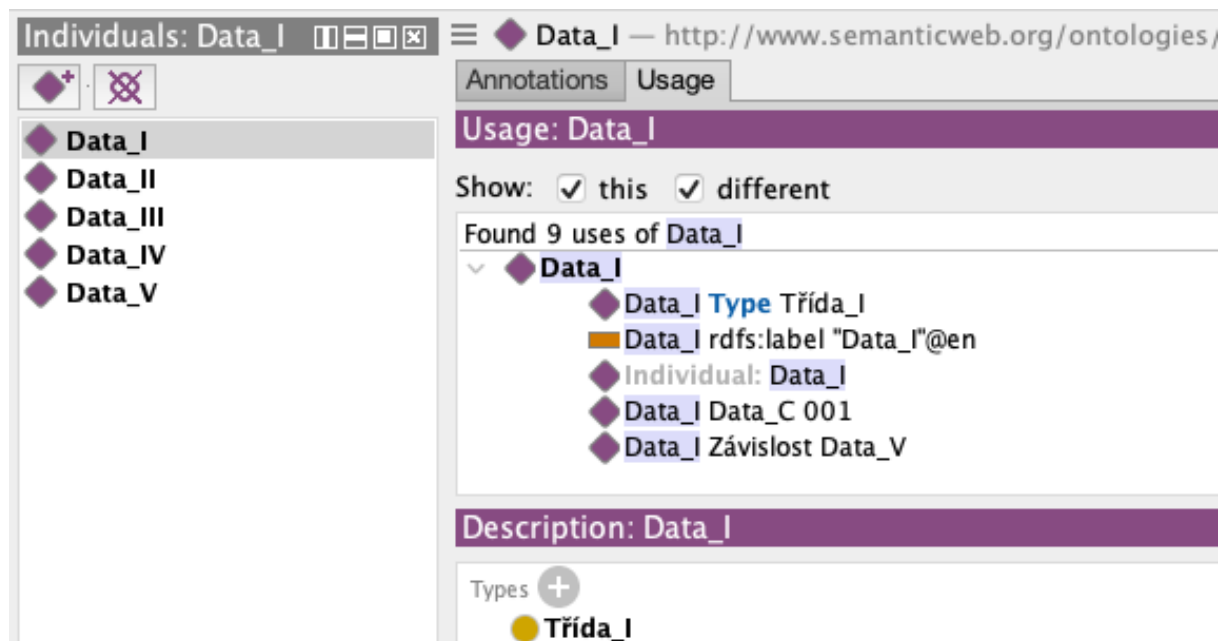
Modelu, který je v Protégé vytvářen je prvním důležitým blokem blok „Class“ neboli Třída. V konceptuálním modelu, vytváříme pomocí tohoto bloku strukturu základních stavebních prvků. Pomocí tříd jsme schopni tvořit fyzické prvky modelu a prvky, které jsou jejich součástí. Blok třídy nám poslouží k definování struktury důležitých komponentů, které jsou pro plánování údržby důležité. Pokud budeme převádět UML diagram do Protégé, tak pod třídami si můžeme představit vybrané obecné údaje, do kterých dále budeme pomocí instancí vkládat konkrétní data. Relace v hierarchii tříd, které jsou v modelu vyvářené se reprezentují takzvaným zobecněním, který je zobrazen na obrázku 6. Blok tříd s obecným příkladem vytvořených tříd je zobrazen níže na obrázku 11.



Obrázek 11 – Blok Class v Protégé

2.2.2 Individuals

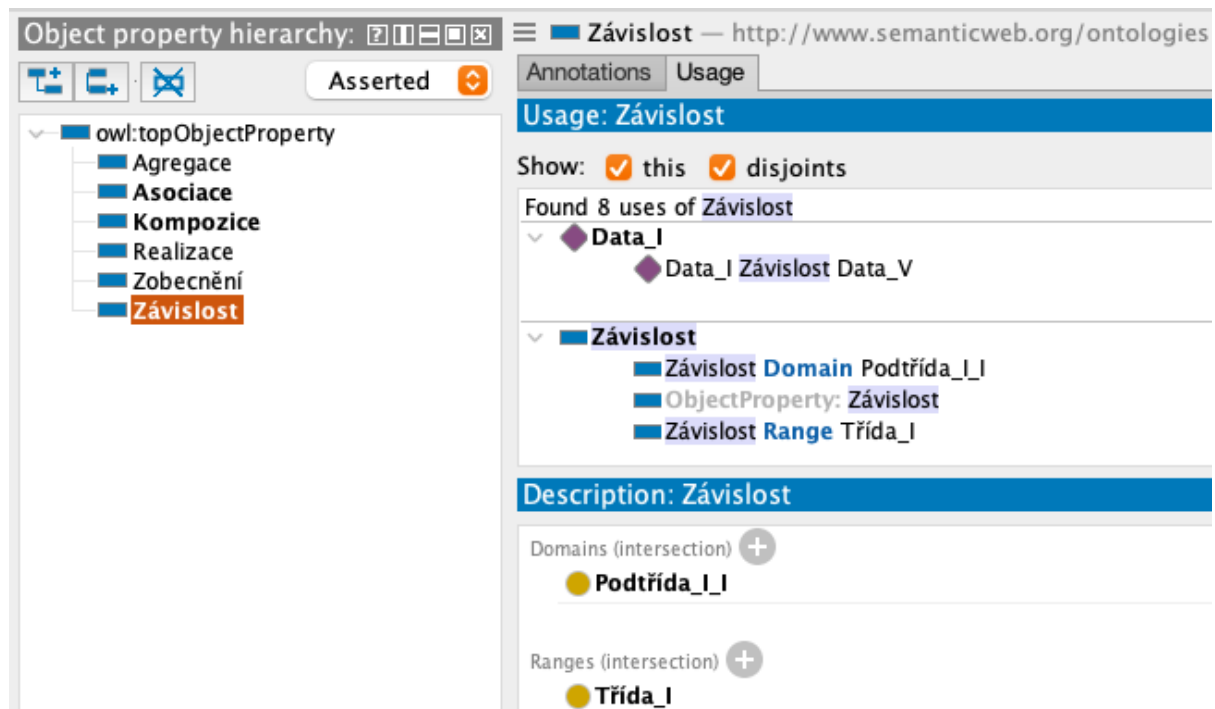
O bloku „Individuals“, lze říci, že vytvořený seznam těchto Individuals v této části, jsou instancemi vybrané třídy. Instancemi se rozumí specifická data, se kterými se pracuje nejvíce při tvorbě modelu. Při přenášení dat z UML modelu do Protégé, instance přirovnáváme k objektům, která nesou specifická data, které jsou zobecněné v třídách a data, která vkládáme do „Data properties“. Instance můžeme anotovat například jmenovkou nebo komentářem, lze zde také přiřazovat nebo upravovat třídy nebo stanovovat vlastnosti a data objektu. Na obrázku 12 je příklad bloku, kde lze vidět použitou anotaci `rdfs:label` a typ třídy.



Obrázek 12 – Blok Individuals v Protégé

2.2.3 Object properties

Vytváření vztahů mezi instancemi a třídami, které jsou vytvořené v bloku „Individuals“ a „Classes“ má na starost blok „Object properties“ neboli vlastnosti objektu. Pro přehledný koncept celkového modelu jsme v Protégé schopni pomocí tohoto bloku zobrazit jakýkoliv druh vztahu. V případě převedení dat z UML diagramu do Protégé tento blok využijeme pro vytvoření vztahů mezi instancemi, které nám definují strukturu dat z manuálu údržby. Na obrázku 13 je znázorněn příklad s vazbami z UML, kde je vidět vlastnost objektu, která nese název „Závislost“ mezi třídami „Třída_I“ a „Podtřída_I_I“. Tento příklad nám říká o tom, že „Podtřída_I_I“ je závislá na „Třída_I“.



Obrázek 13 - Blok Vlastnosti objektu v Protégé

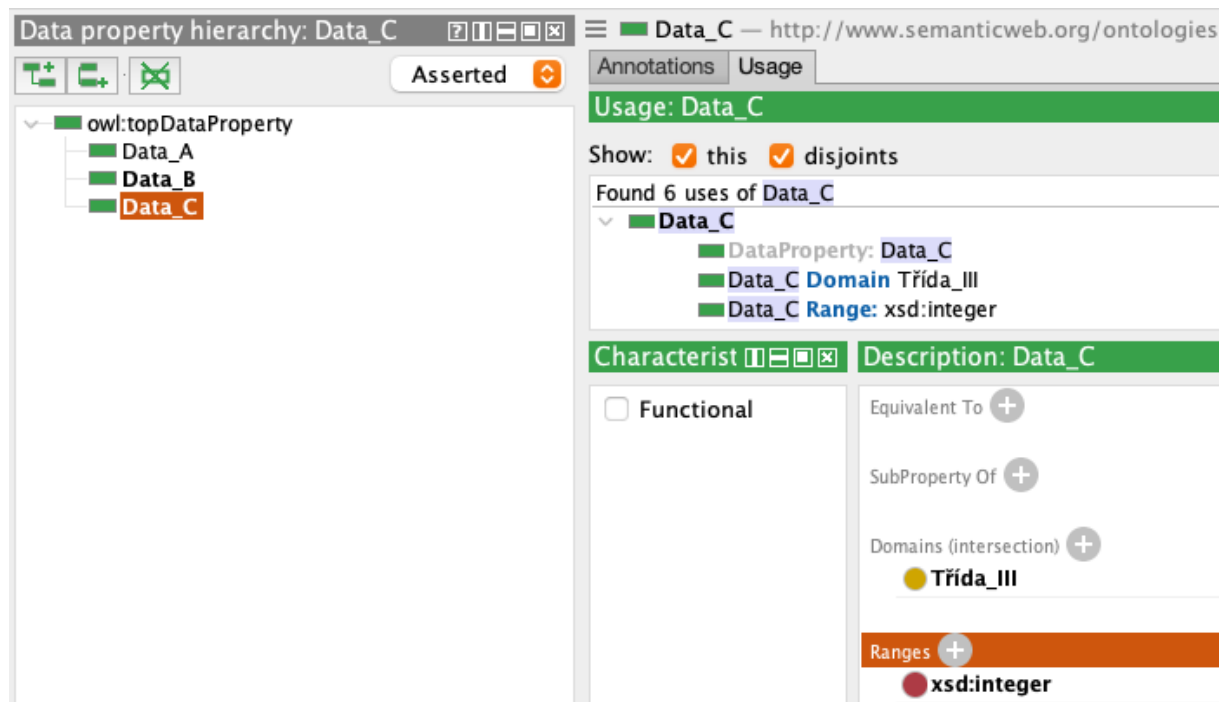
2.2.4 Data properties

Blok „Data properties“ neboli vlastnosti dat, popisuje sám sebe už v názvu, jedná se o nastavování vlastností datových zdrojů. V případě použití tohoto bloku v kombinaci s UML diagramem, budeme z diagramů v mém případě přenášet vybraný atribut, který je nezbytnou datovou informací. Obrázek 14 nám zobrazuje příklad vlastností dat v Protégé. Příklad ukazuje typ vlastností použitých dat a říká nám, že „Data_C“, jsou atributem „Třída_III“. V kolonce „Ranges“ je možné definovat formát dat, v tomto příkladě se jedná o formát „integer“, který znamená, že vložená data budou čísla, například číslo zóny na letadle.

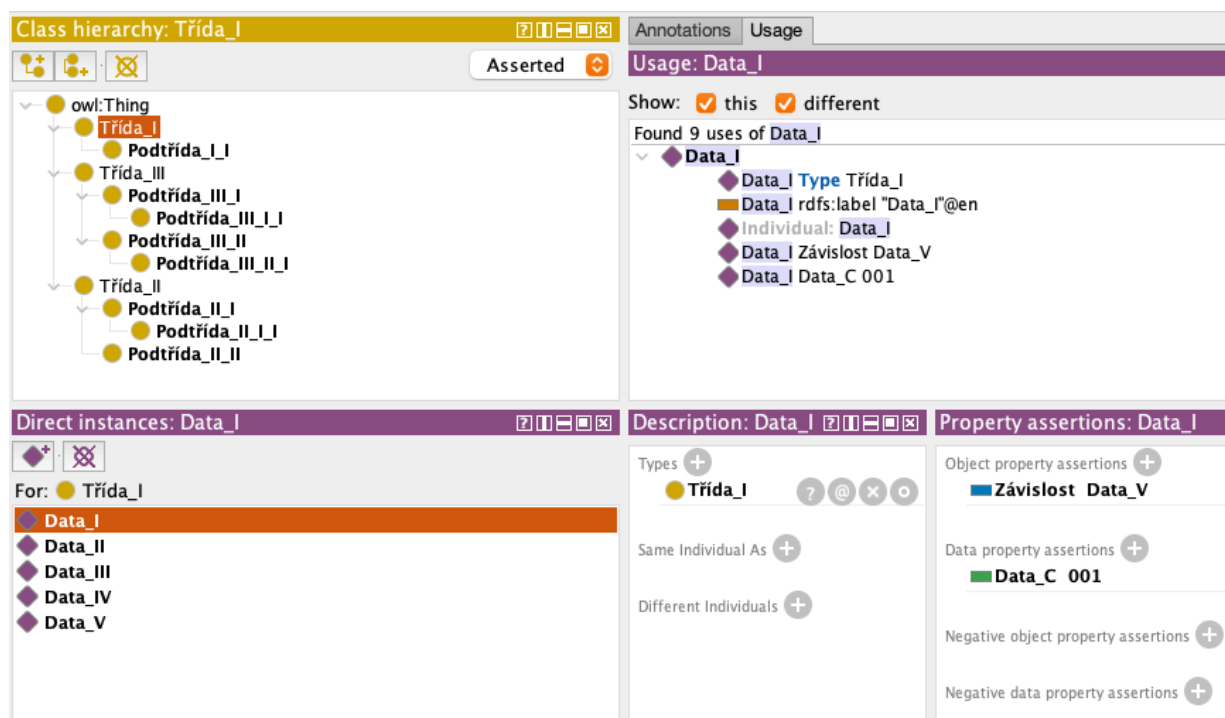
2.2.5 Individuals by class

Posledním pracovním blokem, který pro práci konceptuálního modelu údržby elektrického systému využívám je „Individuals by class“. Je to hlavní pracovní místo v Protégé, zde se sestavuje kompletní model, kompletují se zde přednastavené třídy, instance, vlastnosti a data dohromady.

Na obrázku 15 je zkompletovaný příklad modelu, který nám znázorňuje, jak se všechny komponenty v Protégé spojují. Do instance „Data_I“ vložíme Data_C, kde je možné vidět hodnotu dat, která je 001. Zároveň vidíme nastavenou závislost dat z instance Data_V.



Obrázek 14 – Blok Data properties v Protégé



Obrázek 15 – Blok Individuals by class v Protégé



3 Výsledky

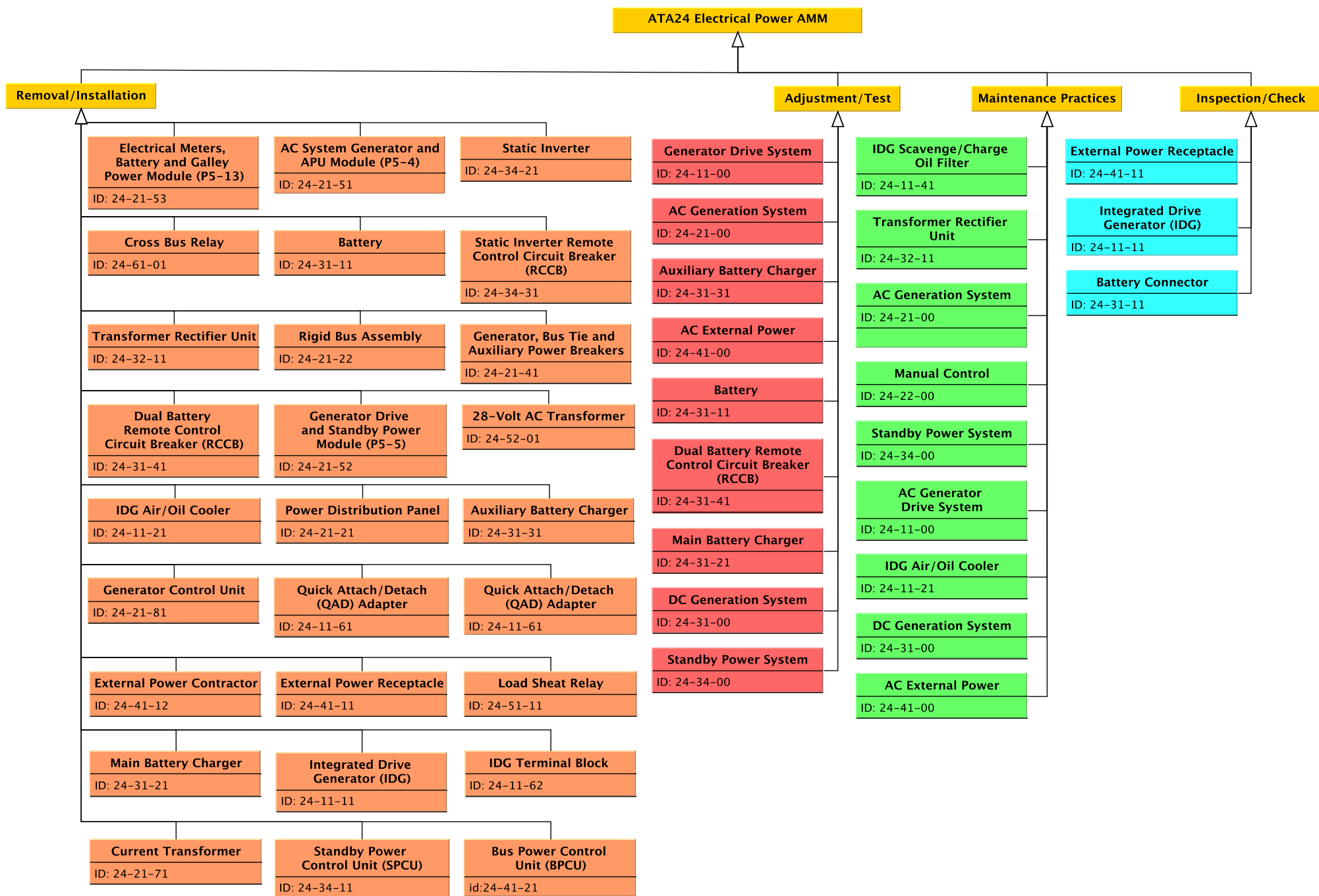
V kapitole výsledky popisují výsledky, vytvoření návrhu konceptuálního modelu údržby elektrického systému letounu B737NG pomocí jazyka UML a dále postup převedení modelu do systému Protégé a následnou finální verifikaci modelu. Cílem je vytvoření a verifikace konceptuálního modelu, který bude připraven pro možné zpracování do podoby softwarové aplikace pro použití plánování údržby v CSAT a případně další MRO organizace. Pro vyváření modelu, byl použit dokument [18] poskytnutý organizací CSAT.

3.1 Konceptuální model

V této části, představuji konceptuální model pro automatizaci plánování údržby, který jsem navrhl. První podkapitolou je obecná struktura manuálu údržby, kde je popsána struktura a princip, jak pracovat s daty z AMM. Druhou podkapitolou jsou technologie, které jsou navrženy pro tento konceptuální model, za využití diagramů a UML. Třetí podkapitolou je samotný navržený model pomocí UML.

3.1.1 Obecná struktura AMM

Obecná struktura AMM je graficky popsána na obrázku 16. Všechny zobrazené objekty jsou takzvanými „Task Cards“ (TC) a dohromady kompletují celý manuál pro elektrický systém letounu B737NG. V podkapitole 1.4.1 „Task Cards“ jsou popsány jednotlivé druhy podkategorií a manuál využívá čtyři z nich, jmenovitě – Maintenance Practises, Removal/Installation, Adjustment/Test a Inspection/Check. Na obrázku jsou task cards rozděleny do právě těchto čtyř podkategorií. Jednotlivé názvy TC jsou takzvané „Subject“ neboli komponenty letadla, kterých se jednotlivé TC týkají. Zobrazené jsou zde názvy task cards a jejich identifikační čísla (ID), kde pro každý jeden objekt je jeden soubor. Často jsou task cards seřazené tak aby jednotlivé typy prací navazovali na sebe, není to však vždy podmínka. Jedním z cílů je vytvořit každý jeden soubor struktury manuálu pro další zpracování. TC však obsahují spoustu dalších důležitých technických dat, které se musejí vložit do UML diagramu jednotlivých task cards a na základě, kterých je konceptuální model vypracovaný. Struktura každé task card v manuálu je jedinečná.



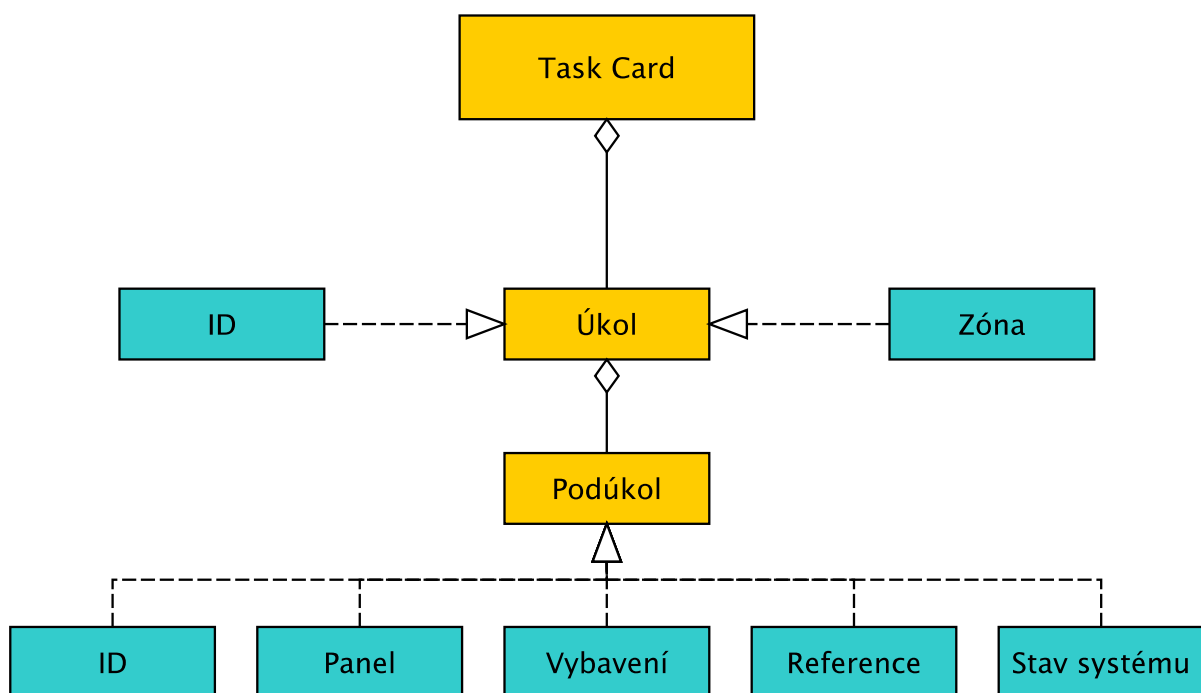
Obrázek 16 – Obecná struktura manuálu

3.1.2 Struktura modelu

Zpracování technických dat z manuálu údržby elektrického systému je prvotním krokem k návrhu konceptuálního modelu, který tyto musí obsahovat. Vstupní data použitá v struktuře modelu pochází z [18]. Cílem struktury konceptuálního modelu je zahrnutí všech technických dat veškerých vztahů.

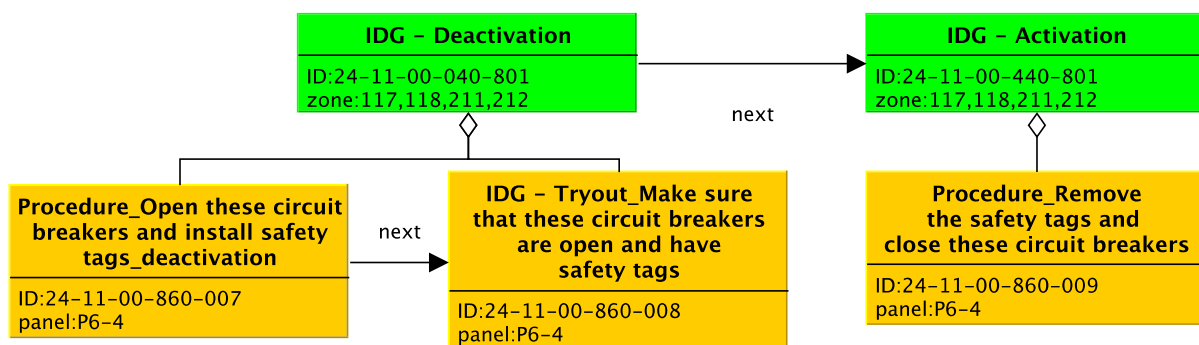
V kapitole 3.1.1 je zmíněno, že každá TC má svou jedinečnou strukturu. Tato struktura obsahuje nejdůležitější technická data, ne však všechna data jsou pro automatizaci plánování údržby důležitá. TC obsahuje vždy minimálně jeden „Task“ neboli úkol, každý úkol má atributy v podobě vlastního ID a může odkazovat na zóny letadla, ve kterých se úkol vyskytuje. Každý úkol má také své „Subtasky“ neboli podúkoly, které mají také vlastní ID a kde jsou popsány přesné kroky práce.

Podúkoly obsahují atributy typu reference na jiné úkoly, přístupové panely nebo vybavení, které bude potřeba při práci nebo také stav, kdy je nutné mít zapnutý elektrický zdroj, tyto data jsou pro nás nejdůležitější. Na obrázku 17, je navržena obecná struktura technických dat, kterou musí jednotlivé TC obsahovat pro následné vytvoření plánu a jejich vazby.



Obrázek 17 – Obecná struktura TC

Při návrhu modelu v UML byli použity dvě relace, první z nich je agregace, kdy podúkoly, jsou vždy součástí úkolu a druhou je asociace. Asociace je doplněna šipkou a vztahem „next“. Jde totiž o statickou strukturu a mezi jednotlivými úkoly a podúkoly v AMM není jiný vztah než návaznost na předchozí úkol nebo podúkol. Příkladem návrhu je obrázek 18, kde už jsou doplněná data z manuálu do jednotlivých úkolů. Lze zde vidět, že úkol „IDG – Deactivation“ tvoří v tomto příklad dva podúkoly, které jsou se musejí provést v pořadí podle relace „next“. V případě, že jsou podúkoly hotové, tím pádem je hotový i úkol a práce se přesunuje na úkol „IDG – Activation“.

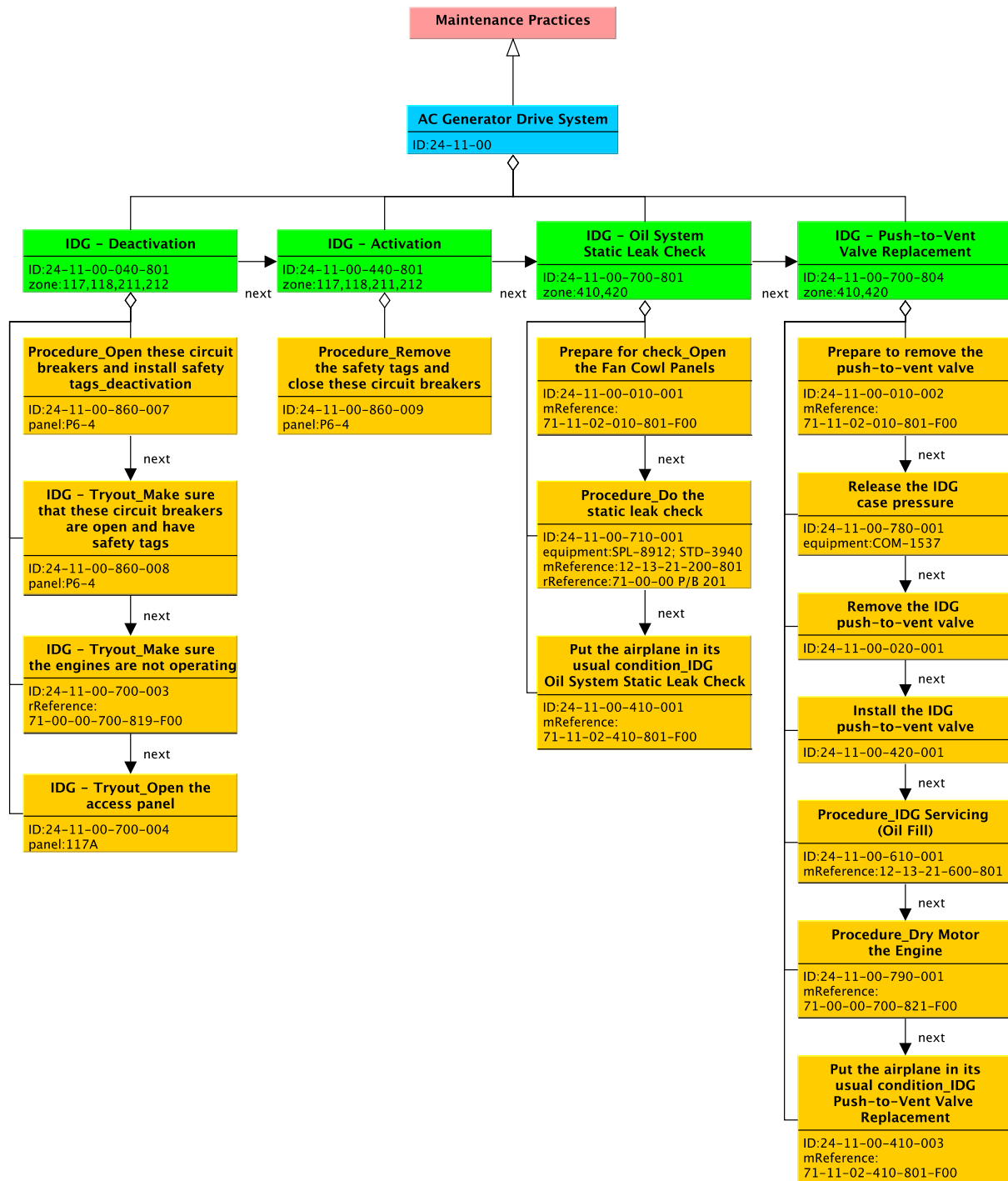


Obrázek 18 – Příklad použití relací v modelu

3.1.3 UML diagram plánu údržby

Obrázek 19 představuje část návrhu konceptuálního modelu automatického plánování údržby pomocí diagramu tříd. Jedná se vytaženou část z kompletního modelu, jelikož zkompletované modely do jednoho souboru by nebyli přehledné. Princip každého modelu však zůstává vždy stejný. Diagram je kompletně vyplněný daty z AMM a je připraven k verifikaci.

Základním stavebním bodem tohoto schématu TC, je modrý objekt nesoucí název *AC Generator Drive Systém* představující „Subject“ jehož atributem je ID komponenty. Tento objekt nám udává komponentu na letadle, na kterém se bude plánovaná práce provádět. Plánovanou prací se rozumí podkategorii zmíněná v kapitole 3.1.1. „Obecná struktura AMM. V tomto modelu je to „Maintenance Practices“. Prvními upřesňujícími úkoly jsou zelené objektu, kdy v tomto případě má TC čtyři. Každý úkol má své atributy, kterými jsou technická data z AMM. Zde se jedná o ID úkolu, aby bylo případně možné vždy dohledat o jaký úkol se jedná a zóny, ve kterých se práce na letadle bude provádět.



Obrázek 19 – UML diagram plánu údržby



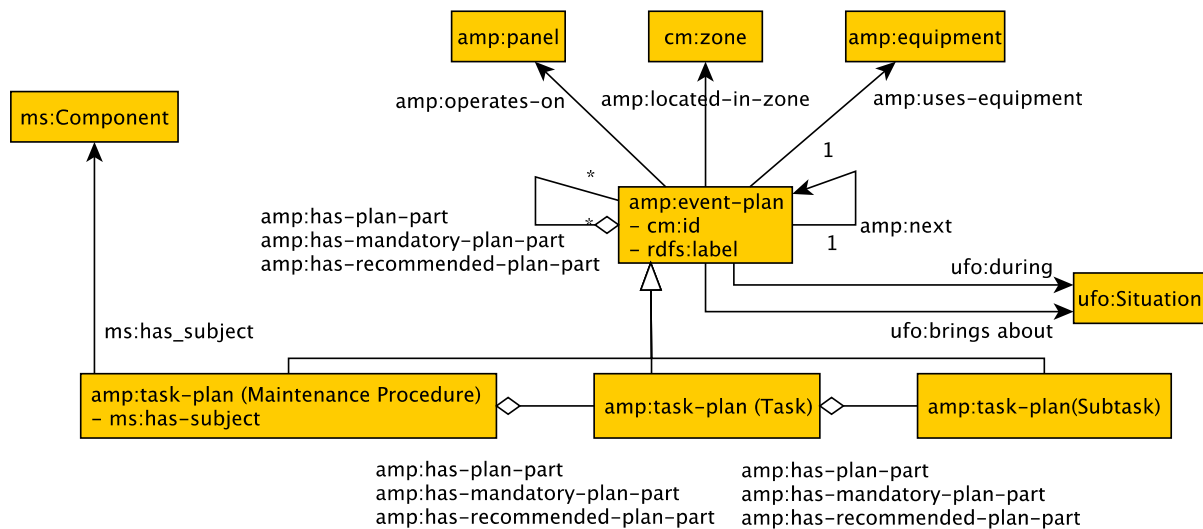
Každý úkol má podle manuálu libovolný počet podúkolů (žluté objekty), který jsou stanoveny výrobcem. Jsou to úkoly, které popisují přesné kroky činnosti pro práci mechaniků. Přesné kroky však při plánování není nutné používat. Podúkoly mají ve svých atributech minimálně vždy vlastní ID a také vybraná technická data podle AMM o kterých se zmiňují v kapitole 3.1.2 „Struktura modelu“. Těmito daty mohou být přístupové panely, na kterých se mohou objevovat jističe, kontrolky systému nebo přepínače. Mezi další atributy patří vybavení, které mechanici budou při práci používat, a tudíž se musí naplánovat kdy se použijí a popřípadě objednat pronajmutí, ne vždy totiž MRO organizace vlastní všechny potřebné nástroje. Dalšími daty, které se využívají jsou reference, ty mohou být takzvaně „doporučené“ neboli podmíněné („rReference“ v modelu). V případě není například vypnut motor, tak podúkol odkazuje na referenci vypnutí motoru. Druhou referencí, je „povinná“ reference (v modelu „mReference“), která přímo odkazuje na TC, kterou je nutné provést, před pokračováním v podúkolu aktuálním. Posledním atributem je stav letounu, kdy atribut popisuje, zda například elektrický vypnout nebo zapnout anebo popisuje, zda musí už být v daném stavu.

3.2 Verifikace konceptuálního modelu

Pro verifikaci schématu konceptuálního modelu z UML, používám software Protégé, o kterém je kapitola 2.2. „Protégé“ v teoretické části. Tento software poslouží pro vytvoření datového vzorku struktury diagramu a technických dat, které obsahuje.

Schéma pro ověření dat do Protégé je na obrázku 20. Tento typ vkládání byl vytvořen inženýry z Fakulty Elektrotechnické ČVUT v Praze, kteří zároveň vyvíjí plánovací software pro MRO a schéma ontologie navrhli na základě vývoje tohoto softwaru. Zobrazené vazby ve schématu jsou zároveň vlastnostmi objektu. Uprostřed lze vidět třídu „event-plan“, která tvoří základní část modelu v Protégé. V ní se vytváří struktura pomocí instancí, v podobě komponenty, úkolů a podúkolů. Tyto instance využívají blok „Object properties“ kde přidělujeme typ vlastností k atributům v UML modelu. Vlastností „has-plan-part“, se přiřazují všechny úkoly k „Subject“ a podúkoly se přiřazují k úkolům. Dále vlastnost „has-mandatory-plan-part“, nám přiřazuje „povinnou“ referenci a „has-recommended-plan-part“ přiřazuje na „doporučenou“ referenci. Návaznost next z UML diagramu zde zajišťuje vlastnost „next“, která posouvá práci na další úkol, či podúkol. „Operates-on“ je vlastností, kterou přiřazujeme v instancích úkolů a podúkolů na panely, „located-in-zone“ a „uses-equipment“ se už svým názvem přiřazují k zóně a použití vybavení. Vlastnosti „during“ a „brings-about“ přiřazují instancím stav letadla.

Objekt „Component“, nám říká, jakého komponentu na letadle se seznam dat týká. Vlastnost „has_subject“ ho přiřazuje k „Subjectu“. ID komponentu je tak v Protégé uvedeno pomocí třídy „Component“. Aby byla data později použitelná pro zpracování k automatizaci plánování údržby, je nezbytností, znemožnění interpretace dat jinými než zmíněnými způsoby.



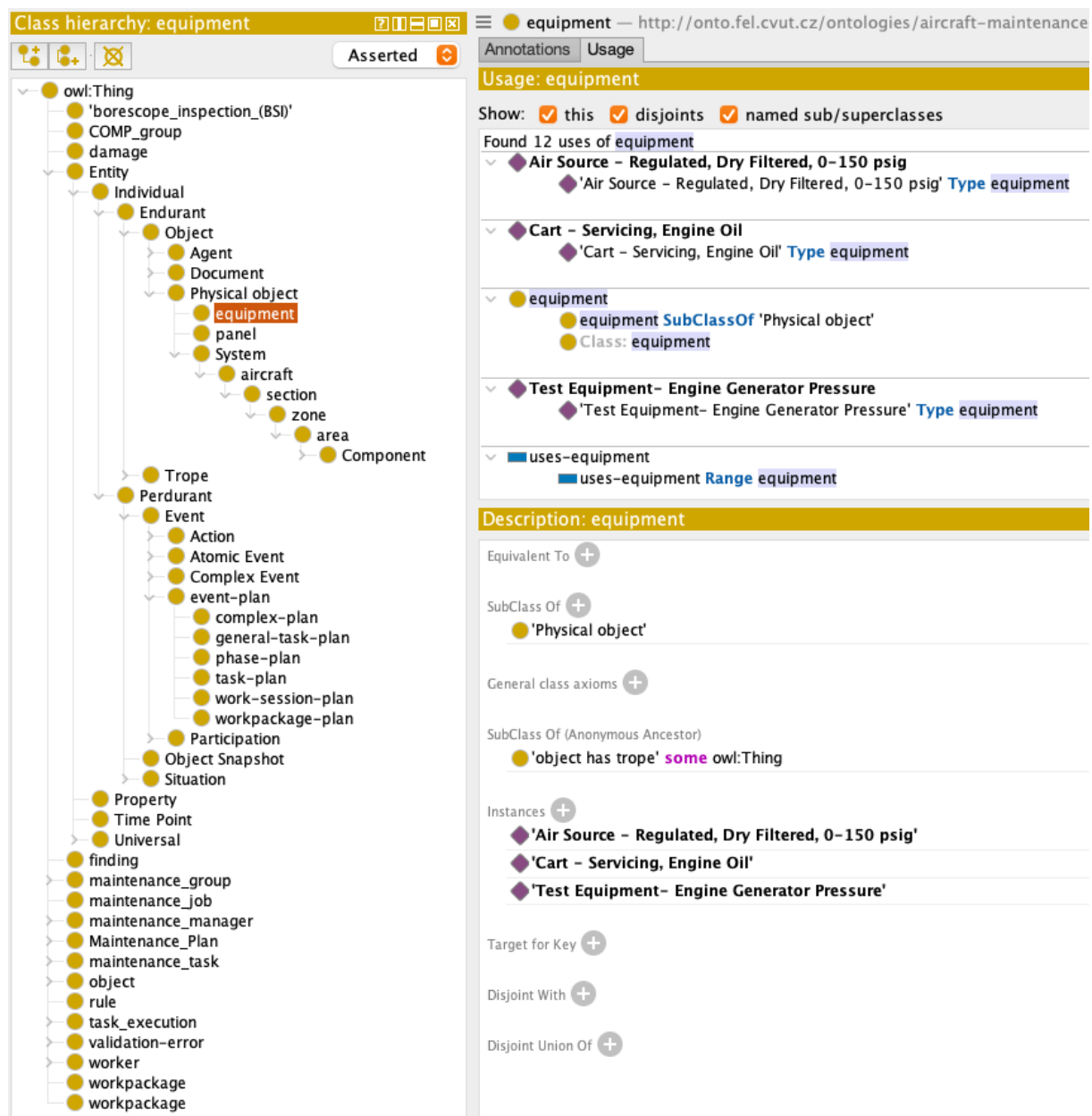
Obrázek 20 – Specifikace vkládání dat do Protégé

3.2.1 Verifikace modelu v Protégé

Princip postupu zadávání dat do Protégé je zobrazen na obrázku 21. V praktické implementaci UML diagramu modelu do softwaru dodržuji také postupy, které jsem uvedl v kapitole 2.2 „Protégé“. Celkový koncept tvoří ontologie, která načítá základní strukturu, tedy třídy modelu. Základní struktura byla vytvořena inženýry z fakulty elektrotechnické ČVUT. Do této struktury jsem následně implementoval data ze všech vytvořených UML schémat TC, kde pro každé schéma je vytvořen zvlášť jeden soubor. Finálním modelem je spojení všech modelů TC v jeden. Pro nejpřehlednější příklad je zde zobrazen model z obrázku 19 v podobě „AC Generetor Drive Systém – Maintenance Practices“.

Obrázek 21 zobrazuje v levé části strukturu vazeb tříd a podtříd, která je vytvořená nahranou ontologií. V této části jsou pro implementaci dat důležité třídy „equipment“, „panel“, „zone“, „component“ a „task-plan“. V těchto pěti třídách vytvářím instance, jakožto data z UML modelu. V „equipment“ vyvážím instance, pro veškeré vybavení, které bude potřeba při plánování údržby. Do „panel“ vkládáme data o panelech, které při údržbě budou využívány. Třída „zone“ slouží k vložení dat ohledně oblastí na letadle, kde se mechanici budou pohybovat. V třídě „component“ je pouze vždy jedna instance, která nám o říká, jaký komponent letadla se jedná. Poslední třídou je „task-plan“, ta obsahuje nejvíce instancí, jelikož jsou zde vytvořeny

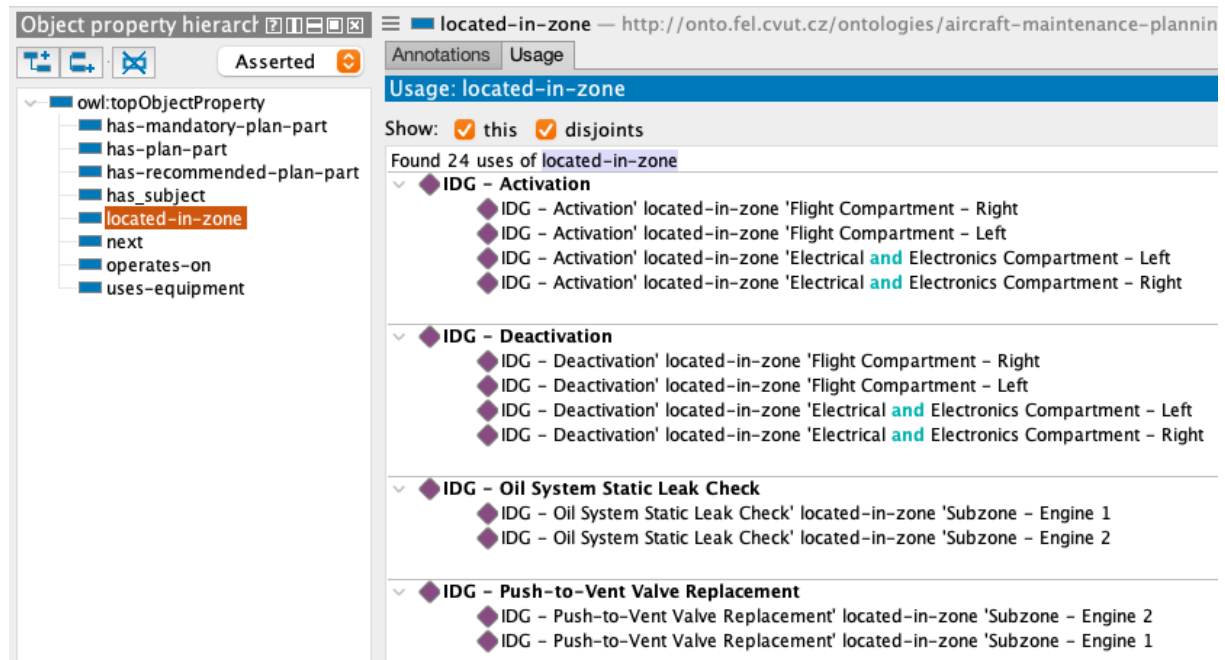
jednotlivé úkoly a podúkoly. V pravé části v záložce „usage“ můžeme vidět instance, které třída „equipment“ obsahuje, dále pak vlastnost objektu v podobě vazby „uses-equipment“.



The screenshot displays the Protégé interface for the 'equipment' class. On the left, a class hierarchy tree shows 'equipment' as a subclass of 'Physical object', which is a subclass of 'Object' and 'Endurant'. The right panel shows the 'Usage' tab for 'equipment', listing 12 uses. These include instances like 'Air Source - Regulated, Dry Filtered, 0-150 psig' and 'Cart - Servicing, Engine Oil', as well as the 'equipment' class itself as a subclass of 'Physical object'. Below the usage list, the 'Description' tab shows that 'equipment' is equivalent to 'Physical object' and is a subclass of 'Physical object'. It also lists general class axioms and instances, including 'Air Source - Regulated, Dry Filtered, 0-150 psig', 'Cart - Servicing, Engine Oil', and 'Test Equipment- Engine Generator Pressure'.

Obrázek 21 – Struktura tříd modelu v Protégé

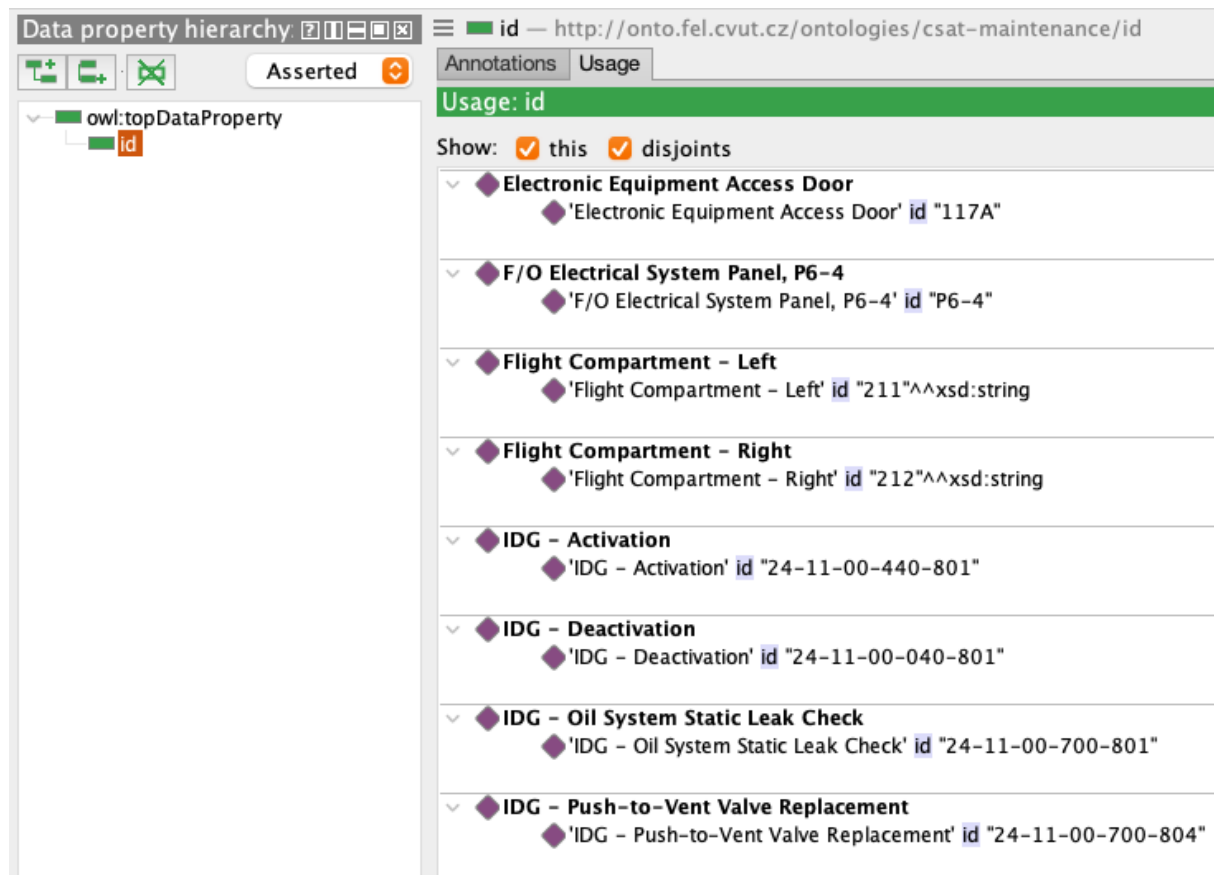
Obrázek 22 představuje vytvořené vazby, které se používají k popsání instancí v „task-plan“ třídě. K instanci se připojí vazba podle atributů z UML modelu, popřípadě se vytvoří vazby mezi instancemi. V levé části obrázku lze vidět všechny použité vazby v tomto modelu, které jsou popsány v kapitole 3.2. „Verifikace konceptuálního modelu“. V pravé části jsou vidět instance nahraných dat ve kterých je vazba „located-in-zone“ použita.



Obrázek 22 – Vazby modelu v Protégé

„Data properties“ neboli vlastnosti dat jsou zobrazeny na obrázku 23. Je zde vidět vlastnost veškerých dat, které jsou do softwaru vloženy. Jedinou a velice důležitou vlastností je ID, které se objevuje v každém „Subject“, úkolu a podúkolu. Bez tohoto typu dat by nebylo možné se orientovat jak v AMM, tak v konceptuálním modelu automatizace plánování údržby a případně v softwaru. Vpravo na obrázku lze vidět použití ID u panelů, úkolů a zón kde je využit formát dat typu „string“, který nám v tomto modelu, říká že se jedná o data, která jsou pouze samostatné číslo bez dalších písmen či znaků.

Poslední částí je zpracovaný model v Protégé zobrazený na obrázku 24. Nahrané jsou zde všechna technická data z UML diagramu navrženého podle AMM. Na obrázku je vidět konkrétní úkol, kterým je „IDG – Activation“. Tento úkol je přiřazen pomocí vazby „has-plan-part“ ke stavebnímu bodu této TC, kterým je „AC Generator Drive System – Maintenance Practices“ a také je součástí třídy „task-plan“. V pravém dolním rohu můžeme vyčíst data typu ID daného úkolu. Zobrazeny jsou zde také vztahy, které úkol využívá pro přiřazení dat z atributů, návaznost dalších kroků a obsah podúkolů. V tomto případě je použita vazba „located-in-zone“, která nám přiřazuje data o zónách v tomto úkolu. Vazba „next“ nám přiřazuje další úkol, který bude po vykonání všech podúkolů následovat. Podúkol je přiřazen vazbou „has-plan-part“.



Obrázek 23 – Vlastnosti dat modelu v Protégé

Verifikace byla provedena na Fakultě elektrotechnické, ČVUT v Praze. Funkčnost a správnost konceptuálního modelu pro automatizaci plánování údržby elektrického systému letounu B737NG byla touto formou potvrzena, v modelu nebyly objeveny žádné zjevné nedostatky nebo chyby. Model vznikl na základě platného zdroje dat přímo od výrobce. Kombinace dat s touto verifikací nám vytváří výsledný model, který je připraven pro další zpracování ve formě implementace do plánovacího softwaru a ověřování v reálném provozu MRO organizace. Model vytvořený v této práci je přiložen jako externí soubor s názvem „ata-24.ttl“.

Class hierarchy: task-plan

- owl:Thing
 - Component
 - equipment
 - panel
 - task-plan**
 - zone

Usage: IDG - Activation

Show: this different

Found 23 uses of 'IDG - Activation'

- AC GENERATOR DRIVE SYSTEM - MAINTENANCE PRACTICES
 - AC GENERATOR DRIVE SYSTEM - MAINTENANCE PRACTICES' has-plan-part 'IDG - Activation'
- IDG - Activation**
 - 'IDG - Activation' id "24-11-00-440-801"
 - Individual: 'IDG - Activation'
 - IDG - Activation' located-in-zone 'Flight Compartment - Right'
 - IDG - Activation' located-in-zone 'Flight Compartment - Left'
 - 'IDG - Activation' Type task-plan
 - IDG - Activation' next 'IDG - Oil System Static Leak Check'
 - IDG - Activation' located-in-zone 'Electrical and Electronics Compartment - Left'
 - IDG - Activation' has-plan-part 'Procedure_Remove the safety tags and close these circuit breakers'
 - IDG - Activation' located-in-zone 'Electrical and Electronics Compartment - Right'
 - 'IDG - Activation' rdfs:label "IDG - Activation"@en
- IDG - Deactivation**
 - IDG - Deactivation' next 'IDG - Activation'

Direct instances: IDG - Activation

For: task-plan

- AC GENERATOR DRIVE SYSTEM - MAINTENANCE PRACTICES
- Close the Fan Cowl Panels
- Dry Motor the Engine
- IDG - Activation**
- IDG - Deactivation
- IDG - Oil System Static Leak Check
- IDG - Push-to-Vent Valve Replacement
- IDG - Tryout_Make sure that these circuit breakers are closed
- IDG - Tryout_Make sure the engines are running
- IDG - Tryout_Open the access panel
- IDG Oil Level Check
- IDG Servicing (Oil Fill)
- Install the IDG push-to-vent valve
- Open the Fan Cowl Panels
- POWER PLANT - MAINTENANCE PRACTICES
- Prepare for check_Open the Fan Cowl Panels
- Prepare to remove the push-to-vent valve
- Procedure_Do the static leak check
- Procedure_Dry Motor the Engine
- Procedure_IDG Servicing (Oil Fill)
- Procedure_Open these circuit breakers and close the safety tags

Description: IDG - Activation

Types **task-plan**

Same Individual As

Different Individuals

Property assertions: IDG - Activation

Object property assertions

- located-in-zone 'Flight Compartment - Right'
- located-in-zone 'Flight Compartment - Left'
- next 'IDG - Oil System Static Leak Check'
- located-in-zone 'Electrical and Electronics Compartment - Left'
- has-plan-part 'Procedure_Remove the safety tags and close these circuit breakers'
- located-in-zone 'Electrical and Electronics Compartment - Right'

Data property assertions

- id "24-11-00-440-801"

Obrázek 24 – Kompletní model v Protégé



4 Diskuze

Problematika plánování údržby je rozsáhlé téma, které je možné zkoumat mnoha způsoby. Způsob automatizace nám v této práci jasně ukazuje obtížnost přípravy a realizace zpracování technických dat ať už v oblasti plánování údržby nebo jiných složitých infrastruktur. Obtížné zpracování je zapříčiněno z největší části velikostí objemu technických dat. Při ručním zadávání těchto dat často dochází k chybám, které ve finále snižují efektivitu práce na pracovišti. Osoby, zaměřující se na práci s těmito daty musí mít požadované teoretické znalosti a praktické dovednosti, jelikož se pohybují v okruhu, kde je nutné mít rozhled o softwarových aplikacích a dokumentacích používaných při zpracovávání dat. Naopak výhodou kompletně zpracovaných dat MRO organizací, je možnost vytažení určitých dat. Například pro lepší plánování údržby nebo predikování nevyžádaných problémů při údržbě za pomoci těchto dat. Predikováním se také můžou vyvarovat nevyžádaným finančním nákladům a jsou konkurenceschopní.

V této bakalářské práci jsou dvě limitace. První z nich je zmíněné ruční zpracování těchto dat. I přes několika násobné kontroly se vždy může objevit chyba, která může zpozdít vývoj. Druhou limitací je finální konceptuální model, kde je vytvořena pouze polovina souborů z manuálu údržby elektrického systému. Důvodem je limitovaný čas na vypracování bakalářské práce, který neumožnil úplné zpracování všech poskytnutých dat. Ve spolupráci s CSAT se následně spojené modely měli validovat. Kvůli nedorozumění ve zpracování dat, k tomu však nedošlo.



5 Závěr

Účelem této bakalářské práce je poukázat na možnosti využití technických dat z manuálu údržby při automatického plánování údržby. Elektronická podoba dat je velice rozšířená, ale není využit její potenciál, který nabízí. Data, která v této práci využívám obsahují údaje, která mohou pomoci ke zvýšení efektivity plánování údržby. Limitací, při vývoji automatizačních aplikací pro plánování údržby je jednoznačně objem a zpracování těchto dat do požadované struktury.

Tato bakalářská práce využívá struktury dat, která byla navrhnutá za účelem vytvoření konceptuálního modelu. Vytvořený model byl inženýry z fakulty elektrotechnické ČVUT verifikován a byla potvrzena jeho funkčnost a správnost. Model je tedy připravený k implementaci do plánovacího softwaru a ověřování v reálném provozu.

Na základě výsledků, ke kterým jsem v této práci dostal, věřím, že verifikovaný konceptuální model poslouží v budoucnu ke zvýšení efektivity plánování údržby a ušetří tak čas, který údržbové organizace využijí ve svůj prospěch.

Při možnostech dnešní moderní vyvíjející se doby, je z mého pohledu důležité, aby údržbové organizace investovaly své finanční prostředky na vývoj takovýchto aplikací, které jim pomůžou zvýšit efektivitu fungování firmy a zároveň se jim v budoucnu investice vrátí ve větším měřítku.



Seznam použité literatury

- [1] ŽEŽULA, Jiří. *Provoz a údržba letadel*. Flying revue [online]. 2019. Dostupné z: <https://www.flying-revue.cz/provoz-a-udrzba-letadel/>
- [2] MÜNDEL, Karel. *Spolehlivost a údržba pneumatického systému skupiny ATA36 u provozovatelů B737NG*. Praha, 2020. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Andrej Lališ, Ph. D, Ing. Oldřich Štumbauer.
- [3] *Types of Aviation Maintenance Checks*. National aviation academy [online]. Spojené státy americké, 2020. Dostupné z: <https://www.naa.edu/types-of-aviation-maintenance-checks/>
- [4] *The A, C and D of aircraft maintenance*. Qantas news room [online]. 2016. Dostupné z: <https://www.qantasnewsroom.com.au/roo-tales/the-a-c-and-d-of-aircraft-maintenance/>
- [5] PALMER, Richard D. *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. 2. vydání. Spojené státy americké: McGraw-Hill, 2006. ISBN 9780071457668.
- [6] VÍTOVEC, Ondřej. *Predikce potřebného materiálu v těžké údržbě letadel*. Praha, 2021. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Martin Kála.
- [7] *Swiss Aviation Software AMOS* [online]. AviationHunt, 2020 [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: <https://www.aviationhunt.com/swiss-aviation-software-amos/>
- [8] *AMOS* [online]. Švýcarsko: Swiss AviationSoftware [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: <https://www.swiss-as.com/amos-mro>
- [9] *Award winning AMOS implementation at Czech Airlines* [online]. Švýcarsko: Swiss AviationSoftware [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: https://www.swiss-as.com/sites/default/files/newsentry/2017/05/SuccessStory_CSA.pdf
- [10] *OASES Modules: End-to-end, compliance-focussed, digitised MRO workflows*. OASES [online]. Communications Software (Airline Systems) Limited [cit. 2022-08-03]. Dostupné z: <https://oases.aero/oases-modules/>
- [11] *How to use Aircraft Maintenance Manual* [online]. AviationHunt Team, 2021 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://www.aviationhunt.com/aircraft-maintenance-manual/>
- [12] 1. CBT Electrical System Boeing 737 Next Generation Alteon English. *Youtube* [online]. 2020 [cit. 2022-08-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tBGcJPIP6Sw>
- [13] ARLOW, Jim a Ila NEUSTADT. *UML2 a unifikovaný proces vývoje aplikací*. 2. vydání. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1503-9.
- [14] BOOCH, G., J. RUMBAUGH a I. JACOBSON. *Unified modeling language user guide*. Massachusetts: Addison-Wesley, 1999. ISBN 978-0-201-57168-4.
- [15] <https://web.archive.org/web/20100927063429/http://web.sks.cz/users/ku/pri/tridy.htm>



- [16] ČÁPKA, David. *Lekce 4 - UML – Doménový model* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>
- [17] ČÁPKA, David. *Lekce 5 - UML – Class diagram* [online]. [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-class-diagram-tridni-model>
- [18] BOEING. *Aircraft Maintenance Manual: B737NG-600/700/800/900: CHAPTER 24 ELECTRICAL POWER*. 2020.
- [19] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION JOINT AIRCRAFT SYSTEM/COMPONENT CODE TABLE AND DEFINITIONS [online]. Oklahoma, USA: Federal Aviation Administration Flight Standards Service Regulatory Support Division Aviation Data Systems Branch, 2008 [cit. 2022-08-06].
Dostupné z: https://av-info.faa.gov/sdrx/documents/JASC_Code.pdf
- [20] RŮŽIČKA, Michal. *Debriefing Schematic Manual: B737-600/700/800/900/900ER*. Praha, 2013.
- [21] CALLEWAERT, Pieter, Wim J.C. VERHAGENA a Richard CURRANA. Integrating maintenance work progress monitoring into aircraft maintenance planning decision support. *Transportation Research Procedia* [online]. Elsevier, 22.2.2018, 58-69 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.02.006>
- [22] LI, Yaohua a Lei WANG. Study on aircraft scheduling optimization based on improved genetic algorithm. *Journal of System Simulation. Acta Simulata Systematica Sinica*, 2016, 8.3.2016, 28(3), 620–626. ISSN 1004731X.
- [23] LV, Sichao, Wang HUI a Sun WENZHOU. Research on optimization model and algorithm of aircraft maintenance plan based on improved genetic algorithm. In: *ACM International Conference Proceeding Series*. Association for Computing Machinery, 2021, 26.9.2021, s. 1668–1673. ISBN 978-145039025-5. Dostupné z: doi:10.1145/3482632.3484014