



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

**Konceptualizace údržby klimatizačního a přetlakového systému
letounu B737NG**

**Conceptualization of B737NG Air Conditioning and Pressurization
System Maintenance**

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Technologie údržby letadel

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

Ing. Martin Kála

Mikuláš Mynář

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):

Mikuláš Mynář

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský –TUL– Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Konceptualizace údržby klimatizačního a
přetlakového systému letounu B737**

Název tématu (anglicky): **Conceptualization of B737 Air Conditioning and
Pressurization System Maintenance**

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je vytvořit konceptuální model letecké údržby klimatizačního a přetlakového systému ATA 21 letounů Boeing B737NG pro automatizaci plánování údržby tohoto systému.
- Analyzujte klimatizační a přetlakový 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 klimatizačního a přetlakového 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)

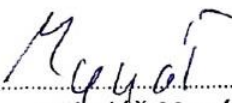
Datum odevzdání bakalářské práce: **8. srpna 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


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




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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Mikuláš Mynář
jméno a podpis studenta

V Praze dne 8. října 2021



Abstrakt

Cílem této práce s názvem „Konceptualizace údržby klimatizačního a přetlakového systému letounu B737,“ je vytvoření konceptuálního modelu pro automatizaci plánování údržby tohoto systému. Údaje z Manuálu údržby letadel byly zpracovány do podoby modelu v jazyce UML, pomocí něhož byla vytvořena struktura pro vkládání do programu Protégé, kdy vytvořený model obsahuje informace ve formě využitelné k automatizaci. Následovalo ověření použitelnosti dat obsažených v modelu. Na základě získaných poznatků pak byly posouzeny výhody a nevýhody využití tohoto postupu.

Klíčová slova: Automatizace plánování, plánování údržby, Protégé, údržba letadel, Unifikovaný Modelovací Jazyk



Abstract

The aim of this thesis called „Conceptualization of B737 Air Conditioning and Pressurization System Maintenance“ is development of a conceptual model to automate the planning of maintenance of this system. The data from the Aircraft Maintenance Manual were processed into a UML model, which was used to create a structure for input in Protégé, where the created model contains information in a form suitable for automation. The suitability of the data contained in the model was then verified. Based on knowledge gained, the advantages and disadvantages of using this procedure were then assessed.

Keywords: Aircraft maintenance, Maintenance planning, planning automation, Protégé, Unified Modeling Language



Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi umožnili zpracování této práce. Zejména pak za odborné vedení a rady ze strany vedoucích pana doc. Ing. Andreje Lališe, Ph.D. a pana Ing. Martina Kály, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout. Velký dík patří rovněž panu Mgr. Miroslavu Blaškovi, Ph.D. a panu Ing. Bogdanu Kostovovi, kteří mi poskytli vědomosti potřebné k tvorbě modelů. V neposlední řadě děkuji celé své rodině a zejména rodičům, kteří mě podporovali během celého studia a psaní této práce.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Konceptualizace údržby klimatizačního a přetlakového systému letounu 737NG 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).

Praze dne 8. srpna 2022

Podpis



Obsah

Úvod	12
1. Současný stav	13
1.1. Údržba letadel	13
1.1.1. Typy údržby letadel	13
1.2. Plánování údržby	15
1.2.1. Zásady plánování	15
1.3. Aircraft maintenance manual	18
1.4. Plánovací nástroje a software	19
1.4.1. Work order systém	19
1.4.2. Plánování dílů a materiálu	20
1.4.3. Software	21
1.5. Klimatizační a přetlakový systém B737	23
1.6. Přehled vědecké literatury	28
1.7. Limitace současného stavu	28
2. Metodika	30
2.1. UML	30
2.1.1. Obecně o jazyku UML	30
2.1.2. Typy diagramů používaných v UML	34
2.2. Ontologie	37
2.3. Protégé	39
2.3.1. Moduly programu Protégé	39
3. Výsledky	44
3.1. Tvorba diagramu v UML	44
3.2. Typy informací obsažené v AMM	46
3.3. Vytváření konceptuálního modelu v Protégé	50
3.3.1. Vkládání konkrétních informací do Protégé	51
3.4. Ověření funkčnosti modelu pomocí testovacího skriptu	55
4. Diskuze	56
5. Závěr	57



6.	Seznam použité literatury	58
-----------	--	-----------



Seznam obrázků

Obrázek 1 - Číslovací systém ATA[20]	18
Obrázek 2 - Schéma Cooling pack	25
Obrázek 3 - Schéma distribuce vzduchu	26
Obrázek 4 - Jednoduchá třída[21]	31
Obrázek 5 - Značení vztahů	32
Obrázek 6 - Vztah asociace[22].....	32
Obrázek 7 - Vztah agregace[23].....	32
Obrázek 8 - Vztah kompozice[24].....	33
Obrázek 9 - Vztah generalizace[25].....	34
Obrázek 10 - Doménový diagram[26]	35
Obrázek 11 - Složitější třída[27]	35
Obrázek 12 - Vztah realizace[28].....	36
Obrázek 13 - Vztah asociační třída[29].....	37
Obrázek 14 - Diagram tříd[30]	38
Obrázek 15 - Rozdělení ontologií[31]	39
Obrázek 16 - Modul Class	41
Obrázek 17 - Modul Individuals	41
Obrázek 18 - Modul Object properties	42
Obrázek 19 - Modul Data properties.....	42
Obrázek 20 - Modul Individuals by Class.....	43
Obrázek 21 - Struktura AMM.....	45
Obrázek 22 - Struktura AMM v UML.....	45



Obrázek 23 – Struktura „tasku“ a dvou „subtask“ v AMM	46
Obrázek 24 - Struktura „tasku“ a dvou „subtask v UML.....	46
Obrázek 25 - Reference	47
Obrázek 26 – Panely	47
Obrázek 27 - Vybavení.....	48
Obrázek 28 - Zóny.....	48
Obrázek 29 - Třída v UML s kompletními atributy.....	49
Obrázek 30 - Jednoduchá kompletní struktura	49
Obrázek 31 - Schéma pro zadávání dat	50
Obrázek 32 - Modul Class se třídou „panel“	52
Obrázek 33 - Modul Individuals s konkrtním „subtask“	53
Obrázek 34 - Modul Object properties s vlastností „has-mandatory-plan-part“	54
Obrázek 35 - Modul Data properties s vlastností dat „id“	54
Obrázek 36 - Modul Individuals by Class se objektem „subtask“	55



Seznam zkratek

ALTN	Alternative	Alternativní
AMM	Aircraft Maintenance Manual	Manuál údržby letadel
AMOS	Aircraft Maintenance and Engineering Operating System	Operační systém pro údržbu letadel a inženýring
AMTOSS	Aircraft Maintenance Task Oriented Support System	System Systém údržby letadel členěný dle úkolů
APU	Auxiliary power unit	Pomocná energetická jednotka
ATA	Air Transport Association	Asociace letecké dopravy
AUTO	Automatic	Automatický
CSAT	Czech Airlines Technics	
CTC	Cabin temperature controller	Jednotka regulující teplotu v kabině
E&E	Electronic and Equipment	
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví
FAA	Federal Aviation Administration	Federální letecká správa
ID	Identification	
FCSOV	Flow control and shutoff valve	Ventil zajišťující regulaci průtoku a uzavírání
MAN	Manual	Ruční
MRO	Maintenance, repair and overhaul	Údržba, oprava a generální prohlídka
OWL	Web Ontology Language	
RDF	Resource Description Framework	
UML	Unified Modeling Language	Unifikovaný modelovací jazyk
WO	Work order	Příkaz k provedení práce



Úvod

Údržba letadel tvoří zcela nezbytnou část celé letecké dopravy, jelikož udržuje letadlo v provozuschopném stavu, bez něhož nelze letadlo vůbec provozovat. Závisí na ní tedy všichni provozovatelé a letečtí dopravci. Zajišťuje rovněž bezpečnost leteckého provozu po celém světě, která je v letectví naprostou prioritou. Nedílnou součástí údržby je její plánování, které se snaží vytvořit co nejpříznivější podmínky pro její rychlé a efektivní provedení s maximálním důrazem na kvalitu odvedené práce. Úkony prováděné při plánování však obsahují i aktivity, které by mohly být zautomatizovány, čímž se dá velmi účinně snížit nutná doba pro odstavení letadla.

Motivací pro vytvoření této práce byla skutečnost, že velká část dat z Manuálu údržby letadla, který představuje klíčový dokument k jejímu plánování a provádění, sice existuje v elektronické formě, ale jejich potenciál není často plně využíván. Aby byla data využitelná pro použití k automatizaci, musejí nejprve mít odpovídající strukturu, která umožňuje jejich další zpracování. Data ve vhodném formátu mohou být posléze zpracována do formy software pro automatizaci plánování údržby.

Cílem této práce je vytvoření konceptuálního modelu klimatizačního a přetlakového systému ATA 21 letounu B737NG, který bude následně vložen do plánovacího software, kde bude ověřena jeho správnost a funkčnost. Data pro tuto práci byla poskytnuta údržbovou organizací Czech Airlines Technics se kterou jsem během tvorby spolupracoval.



1. Současný stav

Tahle část práce popisuje stav, ve kterém se údržba letadel a její plánování momentálně nachází včetně používaných metod a nástrojů. Dále obsahuje popis Klimatizačního a přetlakového systému B737NG.

1.1. Údržba letadel

V této kapitole se věnuji obecně oblasti údržby letadel a jejímu významu v letectví. Zmiňuji členění údržby a specifika jednotlivých typů. Druhá část je zaměřena na plánování a zásady, kterými jej lze zefektivnit.

Údržba letadel je odvětví zabývající se udržením letadla v provozuschopném stavu. Správně prováděná údržba je klíčová pro vysokou úroveň bezpečnosti. Spadá pod ni bezpečnost letové posádky, pasažérů, obsluhujícího pozemního personálu a osob vyskytujících se v oblasti pod letícím letadlem. Kromě bezpečnosti, která je v letectví prioritou však na údržbě závisí i zisk provozovatele, dochází k minimalizaci doby, kdy je letadlo na zemi a nevydělává žádné peníze. Bez vytváření zisku by provozovatel nemohl existovat. Letecká technika je mimo jiné i velmi nákladná a vhodným a pravidelným udržováním dochází k prodlužování životnosti a minimalizaci nákladů v budoucnu. Údržbou letadel rozumíme opravy, generální opravy, předletové prohlídky, nebo prohlídky provedených modifikací.

1.1.1. Typy údržby letadel

Jednotlivé typy údržby závisí na využití letadla vyjádřeném v nalétaných hodinách a poměru počtu letových hodin a cyklů – tzv. „hour/cycle ratio“.[2] Údržba je pak dělena na traťovou údržbu, A-check, C-check a D-check. Dříve zde ještě patřil B-check, ale jeho úkony byly rozděleny do dříve jmenovaných. Jednotlivé typy se pak liší intervaly jejich provádění, komplexností prováděných úkonů a dobou po kterou je údržba prováděna a letadlo je mimo provoz.

Traťová údržba (Line maintenance)

Obecně se jedná o pravidelné prohlídky prováděné v denních či týdenních intervalech a představuje základní úroveň lehké údržby. Její provádění je základem prevence i případné identifikace skrytých závad. Údržba bývá prováděna v době, kdy je letadlo přirozeně mimo provoz, například při stání na stojánce před odletem, nebo v noci. Není kvůli ní tedy nutno letadlo vyřazovat z provozu. Běžně bývá prováděna venku, nutnost jejího provádění v hangáru



je často podmíněna například nepříznivými povětrnostními podmínkami. Spočívá v doplňování olejů, maziv a výměně jednoduchých dílů letadla. Spadá zde i kontrola brzd a opotřebených pneumatik. Vzhledem k jednoduchosti úkonů ve většině případů zabere maximálně nižší řády hodin. K jejímu provedení není nutný velký tým mechaniků a vyžaduje minimální množství speciálního vybavení. Provoz většiny dopravních letadel zahrnuje přibližně 12 hodin traťové údržby týdně.[4]

A-check

Je již vyšší úroveň údržby, která je prováděna po nalétání určitého počtu hodin, nebo dosažení počtu cyklů. Pro provedení této a vyšších úrovní je nutné letadlo dočasně vyřadit z provozu. Práce na letadle jsou zpravidla prováděny uvnitř hangáru a zahrnují složitější úkoly. Patří zde například namazání pohyblivých částí letadla a výměna filtrů. A-check vyžaduje větší tým specializovaných mechaniků a zabere zpravidla desítky hodin až dny. [2][4]

C-check

V závislosti na typu letadla je prováděna každých 18-24 měsíců a spočívá v rozsáhlé kontrole jednotlivých systémů letadla. Zahrnuje výčet servisních úkonů, u kterých byl nebo brzy bude vyčerpán maximální povolený počet nalétaných hodin, či cyklů. Složitost jednotlivých úkonů vyžaduje kvalitní zázemí údržbové organizace a nutnost provádění uvnitř. Úkony zahrnují například kontroly nouzových systémů a kontrolu těsnosti dveří. K provedení C-checku mohou být vyžadovány nástroje, které organizace nemusí mít skladem a je nutné objednat jejich zapůjčení. Provedení zabere v řádech týdnů.[2][4]

D-check

Nejvyšší úroveň údržby je zpravidla prováděna každých 4-6 let a je také označována pojmem generální oprava (general overhaul). Jedná se o kontrolu všech komponentů a letadlo je během ní zcela rozebráno. Zahrnuje demontování interiéru a kontrolu pláště z vnitřní strany. Může dojít i k sejmutí motorů a jejich detailní inspekci. Pokud od výroby letadla výrobce přišel s novými řešeními, může během D-checku dojít i k modernizaci. Vzhledem ke komplexnosti oprava trvá týdny až měsíce.[2][4]



1.2. Plánování údržby

Správně a efektivně provedené údržbě předchází rozsáhlý proces plánování. Ten zahrnuje rozpoznání potřebných komponentů, nástrojů, materiálu, případně rezervaci, nebo objednání nezbytných přístrojů. Pokud plánovač provede svou práci náležitě, nemusí mechanik ztrácet čas sháněním postupů, nebo čekáním na vybavení. Plánování rovněž zohledňuje dostupné kapacity prostor a množství spotřebního materiálu ve skladech. Případně může zahrnovat i objednávání materiálu a komunikaci se samotnými dodavateli. V případě omezeného počtu určitých přístrojů nesmí současně probíhat více procedur, které jej vyžadují, aby na sebe jednotlivé skupiny mechaniků nemusely čekat. Plánovači musejí mít k dispozici počty dostupných zaměstnanců, aby bylo možné určit aktuální kapacitu závodu a kolik práce je možné splnit. Kromě efektivity je nutné myslet i na to, že celkovou prioritou nikdy nesmí být rychlost ani efektivita, ale kvalita provedené práce, což v letectví platí dvojnásob. Přínos plánování působí pozitivně na kvalitu i efektivitu.

„Když uvážíte, že typický pracovník údržby stráví méně než 25 % pracovního dne samotnou údržbou, je zcela zřejmé, že zlepšení je naprostou nutností.“ [13]

Zmíněný fakt dělá z osmihodinové směny pouze dvě hodiny samotné práce. Zdržení jsou běžná, ale neměla by nastávat z důvodu čekání na nedostupný nástroj. Tak nízký podíl efektivní doby poukazuje na velký potenciál pro rozvoj plánování údržby. Efektivní provádění práce je pro provozovatele velmi důležitým faktorem, nemusí zaměstnávat příliš velké množství mechaniků, protože využije jejich schopnosti na maximum.[1]

1.2.1. Zásady plánování

Posláním plánování je jednoduše zvýšení produktivity, jeho úkolem je tedy práci připravit v takové formě, aby produktivita opravdu vzrostla. Splnění tohoto úkolu závisí na několika zásadách, pomocí kterých se dá komplikacím předcházet.[1]

1. Plánovači se nacházejí na samostatném pracovišti, které je odděleno od stanoviště pracovníků údržby. Mohou se tak lépe zaměřit na plánování budoucí práce a zdokonalovat se v něm. V případě společného stanoviště pro obě zmíněné skupiny může docházet k tomu, že bude snaha plánovače zapojit přímo do práce. K využívání této praktiky by nemělo docházet ani v podnicích s velmi malým počtem zaměstnanců. Plánovači se musí zabývat přípravou práce, která má být provedena v budoucnu, nikoliv přímo jejím konáním. Jedná se sice o velmi zkušené mechaniky, kteří jsou navíc specializovaní v technikách plánování a mají potřebné



zkušenosti a dovednosti, ale jejich zapojením do práce by bylo znemožněno efektivní plánování. Kromě vedení jejich přímé využití k práci může připadat výhodné i samotným mechanikům, přikládají totiž větší význam aktuálně probíhající práci než papírování, které zahrnuje práce plánovače. V praxi k tomu však mnohdy dochází. Plánovači tak ovšem nemají dostatek prostoru k přípravě práce. Jakmile k tomu dojde a do plánování není vloženo dostatečné úsilí, není práce navržena na míru pracovních skupin. Dojde tím ke snížení množství splněných úkolů, které vedení od jednotlivých skupin očekává, čímž rapidně klesne produktivita celého podniku.[1]

2. Oddělení plánování se soustředí na práci, která ještě nebyla zahájena, aby mělo oddělení údržby v zásobě alespoň jeden týden naplánovaných a schválených prací připravených k provedení. Plánovači se nezapojují do již probíhajících úkolů. Jakmile skupina mechaniků začne provádět práci, může zjistit, že k vykonání činnosti potřebuje další informace, nejde si pro pomoc zpět k plánovači, ale problém vyřeší sama. Po dokončení práce mohou mechanici plánovači vzniklé komplikace popsat ve zpětné vazbě, čímž mu pomohou podobným problémům předejít v budoucnu. Plánovači se sice v pracovní dokumentaci a seznamech dílů vyznaří nejlépe, ale při tomto vyrušování nemohou pracovat na vlastní části úkolu. Plánovač běžně chystá práci pro početné skupiny mechaniků, pokud by pokaždé část z nich potřebovala doplňující informace, nedělal by plánovač nic jiného. Dodržování této zásady navíc docílí větší samostatnosti mechaniků, ta jim bude k užitku při řešení dalších úkolů v budoucnu. Neodmyslitelnou podmínkou funkčnosti této zásady je i iniciativa plánovačů při zpracovávání zpětné vazby. Je nezbytné, aby jí věnovali dostatek pozornosti a plně využili potenciál informací poskytnutých mechaniky.[1]

3. Plánovací oddělení používá jednoduchý a bezpečný systém dokumentace založený na identifikačních číslech jednotlivých komponent. Soubory jsou vytvářeny při první údržbě konkrétního dílu, v případě nových kusů se tak učiní při jejich nákupu. Tento systém umožňuje plánovačům plně využít informace získané při předchozím podobném úkolů, který zahrnoval stejný díl. Pokud například plánovač zjistí, že při minulé práci na této součástce neměla skupina mechaniků k dispozici potřebný jedinečný nástroj, zajistí, aby byl tentokrát předem objednan. Naprostá většina úkolů údržby se totiž po určité době opakuje. Například archivace údajů o ceně pomáhá rozlišit, zda je výhodné, aby byl komponent ještě opravován, nebo se vyplatí jej rovnou vyměnit. Vedoucí pracovníci jsou vyškolení k tomu, aby byli schopni si v tomto systému obstarat potřebné informace s naprosto minimální asistencí plánovače. Z hlediska rozsahu souborů je pak nutné posouzení relevance informací, pokud plánovač ví, že ona informace bude při budoucím plánování k ničemu, nemá smysl zbytečně zvětšovat



objem této složky. Méně důležité informace je samozřejmě rovněž možno archivovat, ale to není podstatou tohoto systému, který těží z jednoduchosti a přesnosti. Vzhledem k informacím uvedeným v těchto složkách je nutné dbát na jejich zabezpečení. Nejlepší možností zůstává umístění v prostorech, do kterých se osoby dostanou pouze po průchodu stanovištěm plánovačů, složky jsou tak na snadno přístupném místě, ale zároveň nemůže snadno dojít k jejich ztracení, či odcizení. Alternativně může jít o zabezpečené prostory na čip, který bude mít k dispozici pouze ověřený okruh osob, který přístup potřebuje k vykonávání práce.[1]

4. Plánovači při tvorbě pracovních plánů v maximální možné míře využívají souborů z předchozího bodu společně se svými osobními zkušenostmi. Dokáží se tak vyhnout předvídatelným zpožděním a problémům s kvalitou, či bezpečností. Na pozici plánování musejí pracovat zkušení technici na nejvyšší úrovni, kteří jsou navíc vyškolení k úkolům plánování. Je nutné, aby plánovač nebyl pouze úředník, ale člověk, který dané problematice rozumí a může se spoléhat na své zkušenosti a dovednosti získané při práci mechanika. Při vytváření pracovních plánů je nezbytné posuzování použitelnosti konkrétní informace pro aktuální plánovanou zakázku. Zkušený mechanik na místě plánovače může být schopen odhadnout, nebo dohledat informace i k práci na systému, které se sám nikdy nezúčastnil. Dokáže totiž aplikovat zkušenosti z činností, které mohly být stejného rázu, nebo byly podobné.[1]

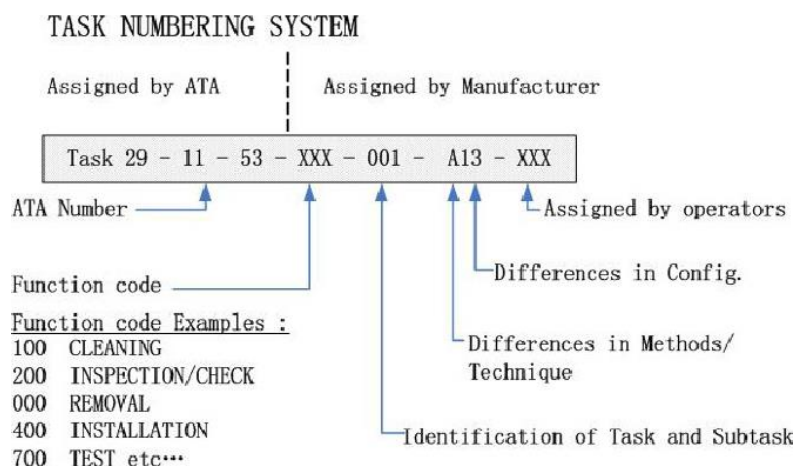
5. Plánovací oddělení při tvorbě pracovních plánů počítá s odborností mechaniků. Plánovač je více zodpovědný za to, jaká práce bude odvedena než za to, jakým způsobem ji pracovník později vykoná. Určuje rozsah práce, potřebné informace a případné upřesnění záměru zadavatele. Mezi doplňujícími informacemi by měla být kupříkladu uvedena potřebná bezpečnostní opatření. Některé práce vyžadují dodržení konkrétního postupu, který technici nemusejí běžně znát. Plánovač poté určí obecnou strategii provádění úkolu (např. zda se bude komponent opravován, nebo vyměněn) a zahrne předběžný postup, pokud již není ve formuláři uveden. Mechanici poté k provedení údržby použijí své odborné zkušenosti a znalosti. Jednotlivci mají často své individuální metody provádění rutinních úkolů zajišťující ideální postup. Opakovanou spoluprací plánovačů a mechaniků na stejných úkonech dochází k vylepšování pracovních postupů.[1]

6. Wrench time je hlavním měřítkem efektivity provádění práce a plánování. Jedná se o část pracovní doby, kdy jsou mechanici schopni pracovat, aniž by byli zdržováni čekáním na zadání práce, náhradní díly, nástroje, nedostatečnou koordinací s jinými pracovními skupinami, nebo chybějícími informacemi potřebnými k dokončení úkonu. Wrench time mnohem více vypovídá

o plánování než o samotných technicích. Nedostatečně naplánovaná práce vytváří zbytečné prodlevy během údržby i mezi jednotlivými úkony. Správnou identifikací jednotlivých příčin zpoždění a jejich odstraněním, může být zajištěno, že se zpoždění v budoucnu nebude opakovat. Tento princip sám o sobě však nezajišťuje bezchybné fungování plánování, je pouze indikátorem aktuálního stavu.[1]

1.3. Aircraft maintenance manual

AMM tvoří základní dokument potřebný k provádění údržby na konkrétním typu letadla a obsahuje instrukce k jejímu úspěšnému provedení. Úkony v manuálu jsou podle typu činnosti děleny do jednotlivých kategorií. Mezi uvedené postupy patří mimo jiné výměny, opravy, seřizování, inspekce a kontroly funkčnosti. Celý manuál je na základě ATA kódů členěn na kapitoly, přičemž každá kapitola obsahuje postupy k provádění údržby na jiném systému, nebo celku letadla. Tohle číselné členění umožňuje rychlou orientaci v jinak velmi rozsáhlém dokumentu a snadné nalezení potřebného postupu. Podrobnější členění je řešeno pomocí AMTOSS systému, který podle rozsáhlejšího číselného kódu dělí jednotlivé kapitoly na jednotlivé úkony, např. výměna nefunkčního bezpečnostního ventilu. Tento úkon tvoří dva úkoly, jednak demontování starého kusu a posléze instalace nového, přičemž každý z těchto úkolů má svůj postup. Úkoly jsou v manuálu značeny jako tasks. Task Card začíná informacemi potřebnými před zahájením činnosti. Jedná se o potřebné nástroje, spotřební materiál, přístupové panely a další nezbytné informace. Po této úvodní části následuje druhá, obsahující konkrétní navazující kroky, jejichž splněním pracovník údržby požadovaný úkol postupně provede.



Obrázek 1 - Číslovací systém ATA[20]



1.4. Plánovací nástroje a software

Následující kapitola zmiňuje nástroje využívané pro zvýšení efektivity plánování, mimo jiné i plánovací software.

1.4.1. Work order systém

Využití systému WO je velmi důležitým prostředkem pro zvýšení efektivity a produktivity při práci v údržbě. WO systém poskytuje informace o práci, která má být na letadle provedena a zajišťuje, aby byla informace poskytnuta všem pracovníkům účastnících se údržby. Pro funkčnost systému je klíčový jednotný formát informací, ať už v papírové nebo elektronické podobě. Zahrnuje používání specifických formulářů, kódů a pracovních postupů.

Proces začíná vytvořením WO. Vytvořit jej může technik údržby, nebo kdokoli, kdo se procesu údržby účastní. Zadavatel si obstará WO formulář a vyplní do něj ve správné formě požadované informace. Mezi ně patří popis závady, nebo požadované práce včetně podrobností o dotčeném objektu a jeho umístění. Objektem rozumíme součást letadla, konkrétní systém, případně díl. Zadavatel rovněž stanoví odhad priority práce neboli, zda je nutné práci provést ihned. Pokud je toho schopen uvede také jakou specializaci by měl splňovat technik, nebo jejich skupina, která bude práci provádět. Další uváděné informace závisí na konkrétní organizaci a podobě používaného formuláře. V případě nutnosti může být formulář ještě zkontrolován nadřízeným, který provede případné nutné opravy a doplnění. Takto vyplněný formulář je umístěn na místo k tomu předem určené.

Odtud si jej vyzvedávají plánovači a přidělují k nim číselné označení. Tohle označení slouží ke snadnější identifikaci úkonu. Podoba konkrétních čísel je určena konkrétní společností. Mezi informace uložené v označení patří typ a rozsáhlost práce, jakého systému se WO týká a zda jsou k jeho provedení nutné speciální podmínky. Provedení může vyžadovat spuštěné motory, připojenou elektřinu, nebo naopak odstavení dotčených systémů. Jakmile je WO zakódován, nemusí jej ostatní pracovníci později celý pročitat, ale velmi rychle získají potřebné rámcové informace. Následně plánovač určí i konkrétní specializaci skupiny, nebo pracovníka, který se bude práci věnovat. Je výhodné, aby práci prováděla osoba s co nejnižší požadovanou kvalifikací. Dojde tím k maximalizaci efektivity, protože nebudou muset snadné úkony provádět vysoce kvalifikovaní zaměstnanci, jejichž schopnosti v tu chvíli budou vyžadovány při více komplexní práci. Posledním zásahem plánovače do formuláře WO je zápis plánovaného času potřebného k jeho splnění. Ten kromě vyhodnocování efektivity práce



slouží ke správnému výběru úkonů určených k provedení v případě omezeného času. V případě nedostatku místa na formuláři je k němu možné přiložit list se zbytkem informací.

Následující fáze plánování spočívá v pravidelných schůzkách, kterých se účastní vedoucí pracovních skupin a případně vedoucí pracovníci plánování. Dochází zde k procházení seznamu jednotlivých WO, kvůli časové náročnosti není běžné procházet každý WO zvlášť dopodrobna. V případě nutnosti je možné u WO změnit prioritu, skupinu přiřazenou k provedení práce, nebo může být konkrétní WO zrušen (Pokud například dojde ke sloučení více úkolů.). Zda je WO zahrnut do pravidelné schůzky záleží na naléhavosti provedení práce. Pokud se jedná o naléhavost, nečeká se s ní až do času konání schůzky. Vedoucí skupin mechaniků následně rozdají (na začátku směny, nebo po dokončení předchozího úkolu) WO konkrétnímu pracovníkovi, případně pracovníkům.

Moderní organizace údržby jako součást WO i unikátní čárový kód, který slouží k usnadnění práce. Zaměstnanec se po jeho načtení dostane k dalším potřebným informacím, například konkrétní sekci manuálu potřebnému k provedení údržby. Načtením kódu dochází zároveň k evidenci, na čem konkrétní zaměstnanec pracuje a jakou část ještě zbývá dokončit.

Po splnění daného úkolu je nutné zaznamenat dokončení WO. Následně je nutné informovat ostatní skupiny o dokončené práci, aby mohl být provedeny navazující úkoly. Informace o dokončeném WO je důležitá i v případě, kdy bylo například při provádění práce nutné mít odpojenou elektřinu, nebo spuštěný konkrétní systém na letadle. Dokončení je potvrzeno vedoucím týmu.

Následuje poslední fáze, kterou tvoří zpětná vazba. Mohou se jí kromě techniků údržby účastnit i vedoucí týmů. Jsou zde zaznamenávány všechny informace, které mohou sloužit k zefektivnění práce v budoucnu. Jedná se třeba o neočekávané komplikace při postupu, které by se bez aplikace změn mohly v budoucnu opět opakovat. WO formulář je pak předán zpět na oddělení plánování, kde by měla být zpětná vazba oceněna jako nástroj nápomocný při dalším plánování. Pokud je zjištěno, že komplikace způsobuje samotný postup, může být upraven, aby se problém znovu neopakoval.

1.4.2. Plánování dílů a materiálu

Zajištění potřebných dílů a materiálu nezbytného k provedení údržby je další oblastí, kterou může plánování výrazně zvýšit produktivitu podniku. Správná koordinace nezbytných dílů byla také důvodem, proč společnosti začaly zakládat první historická plánovací oddělení.



Poskytnutí všech potřebných dílů je však možno pouze u plánované údržby, kdy je předem zřejmé, jaké náhradní díly a materiál budou využity. Mechanici si to musejí uvědomit, aby nedocházelo ke zbytečným nedorozuměním, že jim nebyly poskytnuty úplné informace.

WO formulář obsahuje seznam dílů potřebných k údržbě. Tím, že jej plánovač uvede, ušetří mechanik během práce čas potřebný k jejich hledání. U mnoha zakázek však mohou být potřeba i díly, se kterými postup v manuálu předem nepočítal. Uvedením i těchto dílů u kterých je pravděpodobné, že budou potřeba pak umožní technikům se k nim rychleji dostat. Pokud je seznam dílů rozsáhlejší, lze jej k WO formuláři přidat jako přílohu. Je však nutné tuto skutečnost uvést na titulní straně formuláře, aby nebyla příloha přehlédnuta. V případě, kdy se seznam ztratí bude navíc technik údržby vědět, že zde byl seznam dříve přiložen. Originál plánovač nikdy neposílá společně s formulářem, takže je možné vytvořit novou kopii. Po zahájení práce si však již mechanik musí shánět informace o materiálu a dílech bez pomoci plánovače. Může čerpat z dokumentace dostupné na pracovišti, nebo se zeptat vedoucího pracovní skupiny.

Seznam dílů, které budou pravděpodobně k provedení údržby potřeba vytváří plánovač s pomocí několika zdrojů. Prvním zdrojem je přímo manuál údržby, který obsahuje seznam dílů a materiálu, který je k dané práci nezbytně nutný. Dále je důležitým zdrojem zpětná vazba od mechaniků tvořící součást WO formuláře. Jsou v ní uvedeny díly, které technikům v minulosti při provádění stejného úkonu chyběly. Posledním zdrojem tvoří systém dokumentů založených na identifikačních číslech jednotlivých dílů, obsahuje totiž informace, jaký materiál byl v souvislosti s údržbou tohoto dílu potřeba včetně jeho objednávek.

1.4.3. Software

V současné době existuje mnoho programů poskytujících elektronické řešení MRO, patří mezi ně například AMOS a OASES, shrnu jejich základní charakteristiky a následně se je pokusím srovnat.

AMOS

Jedním z programů nabízející elektronické řešení MRO je švýcarský systém AMOS. Jedná se široce využívané řešení, které využívá i Czech Airlines Technics (CSAT). Mezi jeho cíle patří mimo jiné zvyšování efektivity plánování údržby, jejího provádění a řízení materiálu. Celý program se skládá z mnoha modulů, z nichž několik uvedu.



Plánovací modul – zaměřuje se na efektivní řízení přípravy plánovaných i neplánovaných, krátkodobých i dlouhodobých typů údržby letadel. Klíčovou roli v něm hraje funkce pro předpověď očekávaných úkolů včetně informací potřebných k jejich provedení. (zdroj Amos)

Inženýrský modul – pomáhá oddělení inženýringu koordinovat dodržení různých programů údržby, nařízení výrobce a platných příkazů k zachování letové způsobilosti. Dokáže i vytvářet statistiky spolehlivosti podle norem FAA a EASA. (zdroj Amos)

Modul řízení materiálu – sleduje dostupnost dílů a materiálu na skladě, využívání skladových zásob a kontroluje záruky. Umožňuje manažerům logistiky předpovídat spotřebu materiálu a efektivně zajišťovat jeho doplňování. (zdroj Amos)

Modul řízení údržby – tvoří hlavní nástroj pro zvyšování spolehlivosti údržbové organizací a celých leteckých společností. Slouží rovněž jako spojení mezi provozem a údržbou, zajišťuje komunikaci mezi piloty, posádkami letů a techniky údržby, čímž je možné vzniklé závady řešit okamžitě. (zdroj Amos)

OASES

Druhým elektronickým řešením MRO, které zmiňuji je program Oases od společnosti Communication Software z Velké Británie. Umožňuje leteckým společnostem, provozovatelům letadel a údržbovým organizacím zvyšovat efektivitu řízení a monitorování všech postupů. Nabízí rovněž komunikaci s jinými programy, čímž je možné vyvíjet nové funkce, které do něj společnost může aplikovat. Program je rovněž složen z mnoha dílčích modulů, z nichž několik uvedu. [19]

Plánovací modul – dokáže integrovat úkoly plánované údržby a modifikací do WO formulářů. Z nich pak automaticky vytváří pracovní balíčky a dokáže zajistit předzásobení materiálem. Jsou sledovány příkazy k zachování letové způsobilosti a požadované činnosti rovněž přiděleny do WO formuláře včetně potřebné dokumentace. Dohází k tím ke snižování pracovní zátěže na personál. [19]

Modul řízení údržby – umožňuje flexibilní plánování traťové údržby, které zvyšuje bezpečnost a efektivitu. Zajišťuje skupinám mechaniků lepší informovanost o všech potřebných požadavcích k plnění jejich práce, bez ohledu na její různorodost. Lze zde také přidělovat zdroje potřebné pro údržbu a údaje o materiálu.[19]



Modul sledování záručních lhůt – kromě sledování a uplatňování záručních lhůt tento modul dokáže shromažďovat a využívat poznatky, které sledují výkonnost dodavatele při řešení záruk. Lze tak snadno identifikovat nevhodného dodavatele, který by snižoval efektivitu společnosti. [19]

Modul pro zachovávání letové způsobilosti – umožňuje jednodušší správu všech problémů spojených se spolehlivostí, opakujícími se závadami a nápravnými opatřeními. Zaměstnanci mají možnost reagovat na WO v reálném čase a rovnou se jimi zabývat. Přístup k těmto informacím je možný z mnoha různých zařízení, takže je možné řešit vzniklé komplikace za pochodu.[19]

Srovnání

Základní struktura obou programů mi přišla téměř shodná, jelikož jsou oba tvořeny z modulů, které často plní podobné funkce. Při detailnějším hledání informací působí z pohledu plánování údržby OASES jako rozvinutější program, umožňuje společnosti přímo vytvářet nová řešení a funkce, což AMOS nenabízí, zároveň je u něj dostupná non-stop telefonická podpora. Na druhou stranu AMOS obsahuje i funkce pro poskytování výcviku. Nelze tedy jednoznačně určit, který z programů je lepší, ale čistě pro plánování nabízí dle mého pohledu výhodnější funkce OASES.

1.5. Klimatizační a přetlakový systém B737

B737NG se běžně pohybuje ve výšce přibližně 11 km nad zemí, kde nemá vzduch vlastnosti potřebné k přežití člověka. Je tedy nutné zajistit podmínky co nejbližší stavu na zemském povrchu. Komfort a bezpečnost cestujících záleží na několika parametrech vzduchu. Klíčová je teplota, tlak, vlhkost a obsah kyslíku.

V následující kapitole se budu věnovat popisu klimatizačního a přetlakového systému a jeho funkci. Při popisu vycházím z dokumentu 737-600/700/800/900 training manual.[5]

Cílem systému je snížení teploty vzduchu (bleed air) odebíraného od pátého a devátého stupně kompresoru proudového motoru, případně APU a dále pak jeho distribuci do kabiny letadla a kokpitu. Bleed air má teplotu kolem 200 stupňů, přičemž požadovaným výstupem je vzduch o teplotě 18-30 stupňů.



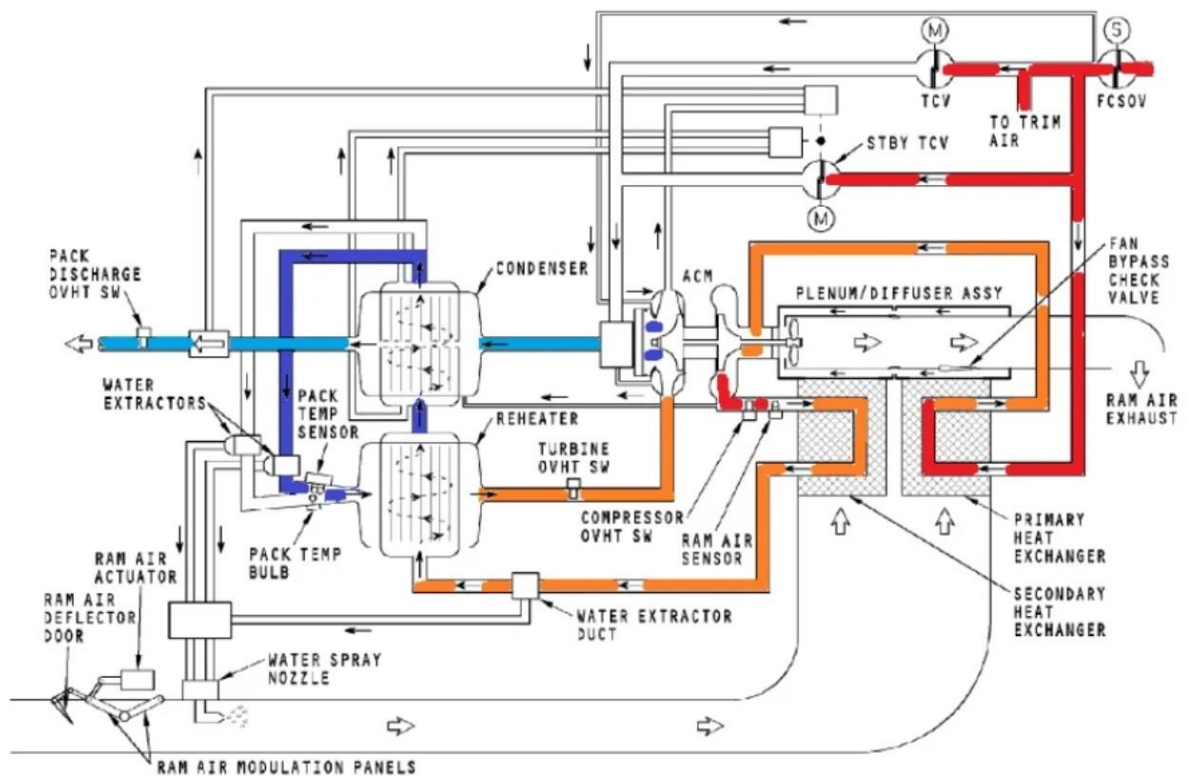
Cooling pack

Základními komponenty tvořící klimatizační a přetlakový systém jsou cooling packy, které má letadlo dva (levý a pravý) a jsou identické. Každý ze dvou packů je v případě poruchy druhého schopen dodávat potřebné množství vzduchu do kabiny letadla. Pack obsahuje dva tepelné výměníky, Air Cycle Machine, re heater a dva odlučovače vody. Air Cycle Machine se skládá z kompresoru, turbíny a ventilátoru, přičemž všechny tři části jsou na společné hřídeli. Jednotlivé komponenty jsou od sebe odděleny řadou ventilů.

Výstupem z packu je požadované množství suchého, sterilního a bezprašného vzduchu, který má požadovanou teplotu. V závislosti na nastavení vstupního ventilu mohou být packy ve třech režimech. Režim OFF zcela zastaví přísun vzduchu a nedochází k žádnému výstupu. Režim HIGH ventil úplně otevře a je dodáváno maximální možné množství vzduchu. Posledním režimem je AUTO, kdy je průtok regulován automaticky na základě dat dodaných snímači, které monitorují stav na palubě.

Princip funkce packu během letu

Bleed air před vstupem prochází přes katalyzátor, kde je všechn obsažený ozon přeměněn na kyslík. Přes FSCOV ventil se pak proud vzduchu rozděluje na dva proudy, jeden putuje do packu, druhý jej obchází. Po ochlazení prvního proudu se oba smísí. V primárním tepelném výměníku je proud částečně ochlazen procházejícím náporovým vzduchem. Poté putuje do kompresorové části Air Cycle Machine, kde je stlačen, čímž se kromě tlaku zvýší i jeho teplota. Po ohřevu dále míří do sekundárního výměníku, kde dojde k dalšímu ochlazení. Část vody tak zkondenzuje a je odloučena odstředivým odlučovačem. Vzduch prochází re heaterem, který mu odejme část tepla, kterou ve své druhé části předá proudu vycházejícímu ze sekundárního odlučovače. Po tomto ochlazení dojde v kondenzátoru k tvorbě vodních kapiček, které jsou odloučeny sekundárním odlučovačem. Po zahřátí v druhé části re heateru vzduch proudí k turbínové části Air Cycle Machine, kde jí předá energii a jeho teplota klesne až pod bod mrazu. Takto ochlazený vzduch je pak smíchán s druhým proudem bleed air, který nebyl ochlazen. Náporový vzduch má během letu dostatečnou energii k zásobování výměníku, takže může být proud veden obtokem mimo ventilátor.



Obrázek 2 - Schéma Cooling pack

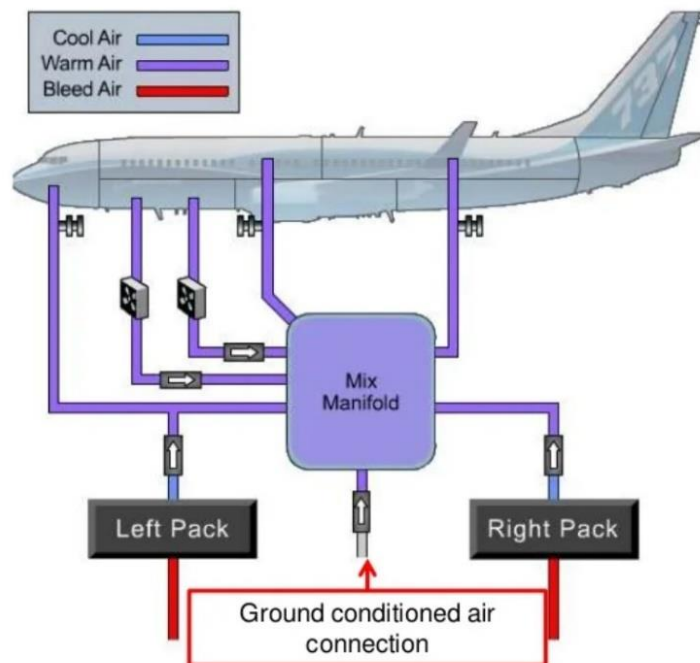
Princip funkce packu při stání na zemi

V tomto případě není možné využívat energii náporového vzduchu. Proudění přes výměníky je tedy zajišťováno ventilátorem Air Cycle Machine poháněným turbínou. Jako zdroj bleed air může na zemi sloužit buď běžící proudový motor, nebo APU. Zbylá část pracovního cyklu packu je shodná s režimem během letu.

Distribuce vzduchu

Vzduch s požadovanými vlastnostmi vycházející z packů je dále rozváděn. Část vzduchu z levého packu proudí přímo do kokpitu. Druhá část je společně se vzduchem z pravého packu přivedena do směšovací komory. K této komoře je rovněž připojen přívod externě upraveného vzduchu. Je využit v případě, kdy je letadlo na stojánce připojeno ke zdroji klimatizovaného vzduchu. Obsah směšovací komory je rozdělen na poloviny a veden do přední a zadní části

kabiny, kde je jednotlivými rozvody rovnoměrně distribuován po celé kabině. Vydýchaný vzduch prochází otvory v podlaze do nákladového prostoru. Odtud je odsáván recirkulačním ventilátorem zpět do směšovací komory. Jelikož je recirkulováno přibližně 50 % vzduchu obsaženého v kabině, snižuje se množství požadovaného vzduchu z packů a celý systém je tak odlehčen. Druhá polovina opouští kabinu skrze outflow valve, čímž je docíleno požadovaného tlaku na palubě.



Obrázek 3 - Schéma distribuce vzduchu

Teplota vzduchu

Teplota vzduchu může být regulována automaticky, nebo manuálně voličem na ovládacím panelu v kokpitu. Informace o nastavení je předána jednotce CTC kontrolující teplotu v kabině. Ta ji porovná s informacemi poskytnutými teplotními snímači v přívodech vzduchu do trupu letadla. Porovnáním aktuální a zvolené teploty určí, zda se liší a zajišťuje ovládání směšovacích ventilů. Ty regulují množství bleed air, které proudí přímo do Cooling packu a je ochlazeno a množství, které jej obtéká a zachovává si svou teplotu. Správnou regulací poměru horkého a studeného vzduchu je posléze docíleno požadované hodnoty teploty v kabině. Jelikož jsou přívody do kabiny a kokpitu odděleny a zajišťovány každý jiným packem, je možné volit nastavení teploty nezávisle v obou částech.



Systém chlazení přístrojů

Letové přístroje v kokpitu a systémy umístěné pod piloty v E&E bay je nutné udržovat v provozních teplotách dodáváním chladícího vzduchu. Ten je pro tyto účely ventilátorem odebírán z horní části kabiny. Je veden k přístrojům v kokpitu a odtud do E&E bay, kde se nachází druhý ventilátor zajišťující odvod ohřátého vzduchu. Přívod i odvod jsou v rámci redundance vybaveny záložními ventilátory. Pokud se letadlo nachází na zemi, nebo letí v nízké výšce, je ohřátý vzduch vyveden ven z letadla. Během letu ve vyšších výškách proudí ohřátý vzduch do zavazadlového prostoru, čímž jej vytápí.

Systém přetlakování

Systém řízení přetlakování se skládá z outflow ventilu a dvou digitálních regulátorů tlaku umístěných v E&E bay. Jeden regulátor ovládá ventil, čímž udržuje kabinovou výšku na požadované hodnotě. Druhý slouží jako záloha v případě poruchy. Systém dále zahrnuje bezpečnostní součásti zajišťující udržení přetlaku v trupu v rámci limitů. Jedná se o trojici ventilů na zádi letadla, dva regulující přetlak a jeden regulující podtlak. V případě, že hodnota tlaku v kabině vzroste nad povolenou hodnotu, dojde k upuštění části tlaku pomocí přetlakových ventilů. Podtlakový ventil se otevře v případě, kdy hodnota tlaku v trupu klesne pod hodnotu tlaku vně letadla, čímž dojde k nasátí okolního vzduchu. Tyto bezpečnostní ventily fungují zcela nezávisle na posádce i zbylé části klimatizačního a přetlakového systému.

Ovládání přetlakování

Je nutné, aby po celou dobu letu docházelo ke správné regulaci přetlakování letadla v návaznosti na změny výšky letu. Hodnota přetlakování je stanovena s ohledem na komfort osob na palubě a minimalizaci zátěže na trup, jelikož každý cyklus přetlakování dochází k výraznému namáhání konstrukce.

Ovládací panel v kokpitu má tři režimy nastavení. V režimu AUTO posádka nastaví plánovanou výšku letu a nadmořskou výšku cílového letiště. Regulátor tlaku pak automaticky mění kabinovou výšku po celou dobu letu. V případě poruchy primárního regulátoru je nutné zvolit režim ALTN, čímž dojde k přepnutí na sekundární regulátor tlaku. Ten pak nahradí funkci primárního a pokračuje v regulaci podle původního nastavení. Pokud dojde i k závadě sekundárního regulátoru, posádka zvolí režim MAN, kdy je nutné kabinovou výšku nastavovat ručně.



1.6. Přehled vědecké literatury

V následující části se zabývám analýzou studií, které se týkaly problematiky optimalizace plánování údržby letadel, nebo její automatizaci.

Studii zabývajících se příbuznými tématy jsem našel několik. Ve dvou z nich bylo k vytváření optimalizačního modelu v letectví použito genetického algoritmu. Ten spočívá v aplikaci principů evoluční biologie na složité problémy, které nelze řešit jednoduchými algoritmy.

První z nich se zabývala čistě plánováním úkolů spojených s letectvím, kdy nebylo středem zájmu plánování údržby. [15] Bylo zjištěno, že aplikace tohoto algoritmu je využitelná a dokáže pomoci s optimalizací. Druhá zmíněná studie tento algoritmus aplikovala přímo na plánování údržby letadel s cílem optimalizace a snížení nákladů.[17] (odkaz) V modelu algoritmu byla zohledněna data z údržby a omezenost zdrojů údržbové organizace. Výsledky experimentů s reálnými daty letecké společnosti potvrdily proveditelnost této metody, a možnost aplikace v praxi, kdy dokázala výrazně zvýšit úroveň automatizace plánování.

Poslední studie se zabývala zpracováním údržbových dat v reálném čase, kdy byla vytvořena struktura, která pomocí sledování průběhu údržby v reálném čase pomáhala vytvářet optimální rozhodnutí v případě, kdy byla údržba buď popředu, nebo ve zpoždění vůči plánu. Tato rozhodnutí sloužila k vytvoření nejlepšího možného postupu v konkrétní situaci. Aplikací kombinace analýzy spolehlivosti, analýzy nákladů a generování rozhodovacích aktivit, byla tato struktura schopna optimalizovat plánování a snížit náklady o 45 až 90 %. [16]

Výzkum zabývající se automatizací dat z AMM pomocí vytvoření konceptuálního modelu pro optimalizaci plánování údržby letadel jsem nenašel žádný.

1.7. Limitace současného stavu

Jako největší aktuální omezení vidím nedostatečnou provázanost jednotlivých systémů a nástrojů používaných při plánování. Velká část dokumentace používané při plánování je sice dostupná i elektronické podobě, avšak například elektronický manuál kromě snadnější orientace a rychlejšího vyhledávání informací nepředstavuje zase tak výrazný pokrok. Osobní počítače jsou již dlouhou dobu nedílnou součástí pracovišť plánování i samotného provádění údržby. K větší provázanosti jednotlivých systémů tedy chybí pouze vhodné softwarové řešení. Jeho zvládnutím by bylo část procesů automatizovat a zároveň vytvořit i nové funkce, jejichž použití v současném stavu nejsou možné. V dostupných studiích jsem nenašel žádný postup využívající data z AMM k tvorbě aplikace pro automatizaci plánování údržby letadel.



V metodice se tedy budu zabývat postupem modelování potřebných dat z AMM do podoby, kterou bude možné využít při automatizaci.



2. Metodika

V této části práce se nejprve zabývám obecnými charakteristikami a způsobem použití jazyka UML a tvorbě modelu v jeho prostředí. Zmiňuji princip ontologií a jakým způsobem jsou využívány při tvorbě modelu. Nakonec popisuji, jak probíhá zadávání informací do systému Protégé. Ovládnutí těchto nástrojů je nezbytné pro správné zpracování dat využitelných později pro automatizaci.

2.1. UML

Při tvorbě této práce mi jazyk UML sloužil především jako vizualizace jednotlivých součástí konceptuálního modelu a jejich propojení. Jeho grafická podoba a relativně jednoduchá pravidla umožňují zobrazit i komplexní modely ve srozumitelné formě ve které se dá po pochopení základů jazyka jednoduše a rychle zorientovat. Vzhledem k množství funkcí jazyka UML a zachování stručnosti zde budu popisovat pouze části, které byly reálně použity při tvorbě modelů dále využívaných v této práci.

2.1.1. Obecně o jazyku UML

Jedná se o univerzální jazyk sloužící jako nástroj k modelování různých systémů. Tvorba modelů probíhá na rozdíl od běžných programovacích jazyků v grafickém prostředí za pomoci diagramů. Díky tomu je možné se i ve velmi rozsáhlém modelu rychle zorientovat a pochopit jej. Tato výhoda se dá použít například u tvorby zakázek, kdy programátor prezentuje postup práce zákazníkovi. Kromě srozumitelnosti diagramů vytvořených v UML pro lidi spočívá jejich výhoda i v možnosti využití jejich struktury konkrétními programy.[11]

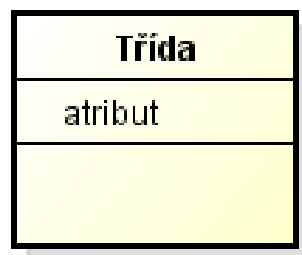
Objekty

Základními komponenty používané při tvorbě diagramů v jazyce UML jsou objekty. Při návrhu programových systémů je snaha modelovat reálné objekty pomocí abstraktních. Abstraktní objekty přejímají část vlastností a chování těch reálných. Kvůli komplexnosti reálných objektů bude docházet ke zjednodušování. Podstata zjednodušování spočívá v modelování pouze relevantních údajů. Nemá smysl zahrnovat do objektu nepodstatné informace, které by jen bez užitku zvětšovaly objem modelu. Z abstraktního hlediska je objektem diskretní entita. Ta má jasně definovaná rozhraní určující její stav a chování. Stav objektu stanovuje jeho vlastnosti v určitém čase, například jméno a umístění objektu. Chování je definováno operacemi, které je možno s daným objektem provádět. Všechny objekty mají dále identitu, jedná se o

jedinečnou vlastnost odlišující je od jiných objektů. Může jít o evidenční číslo dokumentu, nebo konkrétního stroje.[11]

Třídy

Každý objekt je instancí konkrétní určité třídy, která definuje množinu jeho vlastností. Třída tedy představuje skupinu objektů se stejnými vlastnostmi. Například letadlo patří do třídy dopravních prostředků. Graficky třídu představuje tabulka třemi oddíly, první obsahuje její jméno, ve druhém jsou uvedeny atributy a třetí představuje místo pro uvedení metod.[11]



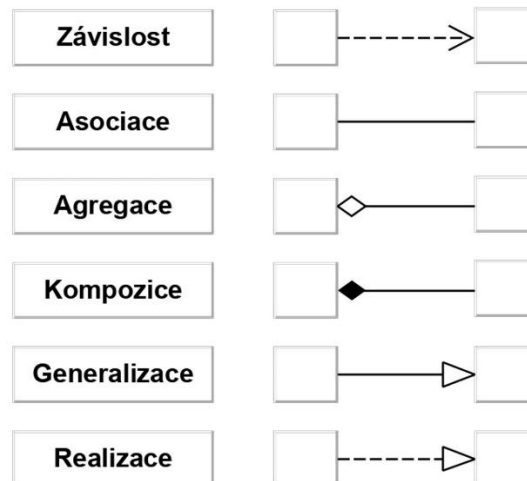
Obrázek 4 - Jednoduchá třída[21]

Vztahy mezi objekty a třídami

Jednotlivé entity mohou mezi sebou mít různé vztahy. V následující části uvedu čtyři nejpoužívanější, způsob jejich znázorňování při tvorbě modelů a příklad entit, které těmito vztahy mohou být propojeny. Na příkladu agregace ještě popíši funkci multiplicity.[11]

Asociace

Asociace je základním vztahem mezi dvěma entitami, přičemž jednotlivé entity mohou existovat nezávisle na sobě. Zakreslována je jako jednoduchá plná čára spojující jednotlivé dvě entity. Jednoduchým příkladem je vztah mezi Řidičem a Autem. Absence šipky, nebo jiného znaku na spojení entity s čarou ukazuje, výchozí směr, který je na obě strany. Tedy, že první entita má odkaz na druhou a stejně tak druhá na první. Pokud chceme specifikovat, která instance si odkaz uchovává, můžeme použít jednoduchou šipku, která z této instance bude směřovat. Běžně je asociace vytvářena mezi dvěma objekty či třídami, lze jich však tímto způsobem spojit dohromady i větší množství. (inetwork domenovy diagram)[11]



Obrázek 5 - Značení vztahů



Obrázek 6 - Vztah asociace[22]

Agregace

Agregací vyjadřujeme volnou vazbu mezi celkem a jeho součástí, kdy jedna entita (celek) využívá služby dalších objektů (součástí). Tento vztah si lze představit jako vazbu mezi Článkem a Sekcí, kdy sekce obsahuje jednotlivé Články a ty se nacházejí v konkrétní Sekci. Celek je tedy entitou, která drží kolekci prvků. Důležitým detailem je, že entita představující část může existovat sama o sobě, nebo být i součástí jiných kolekcí. Existence Článku není podmíněna přítomností v Sekci. Značení v tomto případě spočívá v plné čáře zakončené kosočtvercem, ten se nachází na straně celku.[11]



Obrázek 7 - Vztah agregace[23]

Multiplicita

Může být použita u vazeb asociace, agregace i kompozice, přičemž u prvních dvou zmíněných ji lze použít oboustranně. Značena bývá u spojení čar s tabulkou konkrétní entity. Nyní uvedu jednotlivé možné způsoby jejího zápisu na příkladu agregace sekce a článku. Multiplicita je čtena následovně: Sekce může mít libovolný počet prvků (u třídy článek je hvězdička). Článek je součástí 1 až libovolně (tomuto napovídá 1..* u sekce). Nyní uvedu konkrétní možné zápisy multiplicity:[11]

- 1 (číslo) – označuje konkrétní hodnotu (v tomto případě 1)
- (hvězdička) – označuje libovolný počet (například i 0), místo hvězdičky může být použito písmeno N
- 1..* (interval) – pomocí dvou teček lze značit interval. Do něj se vkládají již vysvětlené symboly, např: 0..1.

Kompozice

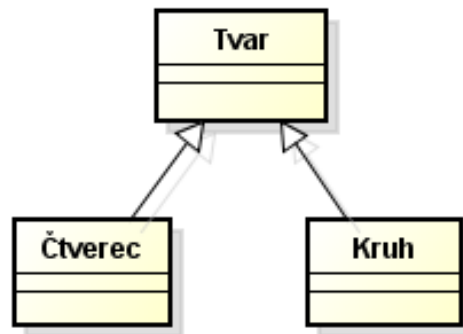
Kompozice se podobá agregaci, ale představuje silnější vztah mezi celkem a součástí. V tomto případě již entita bez celku nemůže existovat, pokud tedy zanikne celek, zaniknou automaticky i všechny entity, které byly jeho součástí. Příkladem může být Objednávka a její jednotlivé Položky, jelikož Položka objednávky bez samotné Objednávky nedává smysl. Grafické zobrazení vztahu je znázorněno plnou čarou s plně vybarveným kosočtvercem, který je na čáře opět umístěn na straně celku.[11]



Obrázek 8 - Vztah kompozice[24]

Generalizace

Posledním zmiňovaným vztahem je generalizace, která z hlediska implementace představuje dědičnost. Jedna entita tedy z druhé dědí vlastnosti i chování. Jako příklad může sloužit třída Tvar, ze které vlastnosti dělí třídy Čtverec a kruh. Generalizace je zakreslena plnou čarou, zakončenou na jedné straně šipkou. Šipka je umístěna na straně entity, ze které jsou vlastnosti a chování děděny. [11]



Obrázek 9 - Vztah generalizace[25]

2.1.2. Typy diagramů používaných v UML

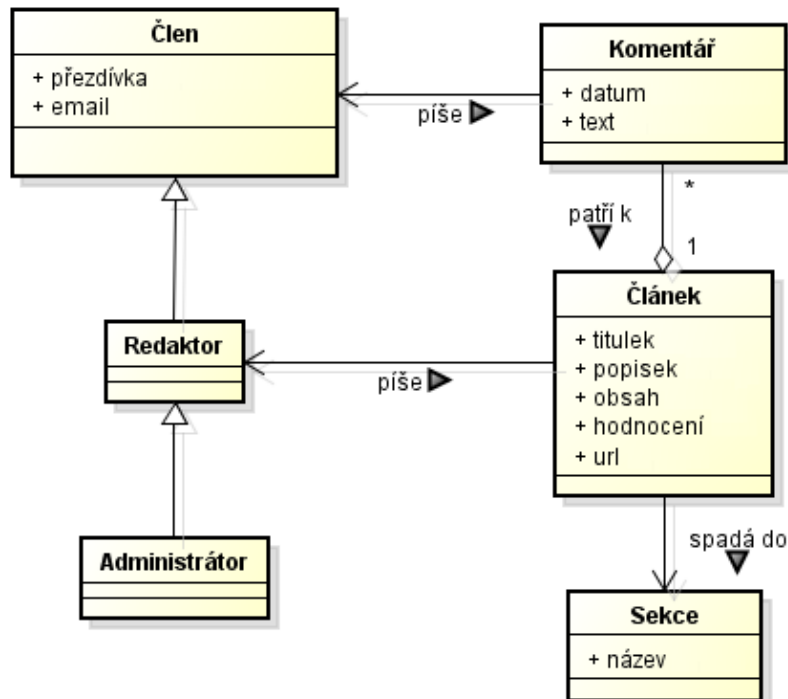
Doménový diagram

Základními entitami jsou zde třídy, které je možné propojovat čtyřmi výše uvedenými vztahy. Představuje jednodušší formu diagramu tříd, jehož třídy neobsahují metody a mají pouze ty nejdůležitější atributy. Ideálně jej lze využít jako náčrt ukazující základní strukturu systému, kterou pak lze rozvíjet v rámci složitějších diagramů. Při popisování tříd, atributů a dalších informací lze ve slovech používat diakritiku.[11]

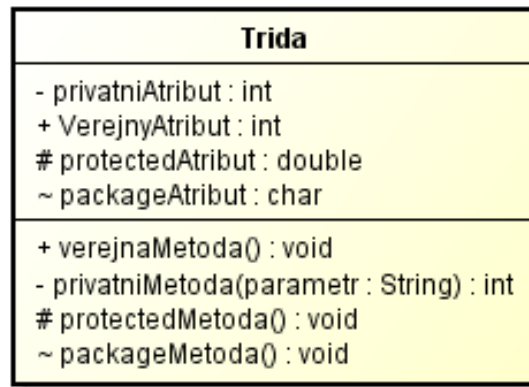
Podoba doménového diagramu je níže zobrazena na jednoduchém modelu webové stránky tvořeného stručně popsanými třídami a základními vztahy. Jelikož zde ještě nejsou ve třídách zahrnuty metody, je nutné některé vazby v diagramu dodatečně popsat, aby byly funkce jednotlivých tříd zřejmé. Plná šipka určuje směr, kterým jsou popisky čteny, např. Člen píše Komentář. V případě otočení šipek by byl tento popis čten jako: Komentář je psán Členem. [11]

Diagram tříd

Jedná se o diagram zobrazující třídy určitého systému a vztahy, které mezi sebou navzájem mají. Podstatou je zobrazení statického stavu, jsou tedy sice ukázány vzájemné interakce, ale co přesně se mezi entitami děje už ne. Třídy jsou zde opět děleny na tři části, ale obsahují již větší objem informací, slouží tedy k vytváření složitějších modelů. Při vytváření diagramu tříd není ve slovech používána diakritika.[12]



Obrázek 10 - Doménový diagram[26]



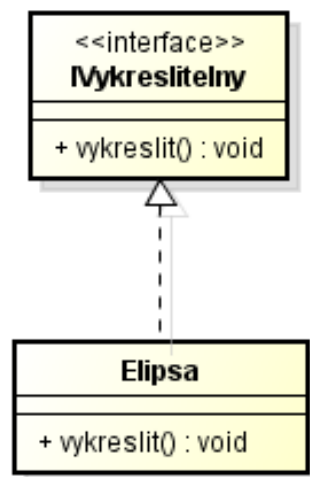
Obrázek 11 - Složitější třída[27]

Vztahy v diagramu tříd

V diagramu tříd lze použít dalších dvou vztahů.

Realizace

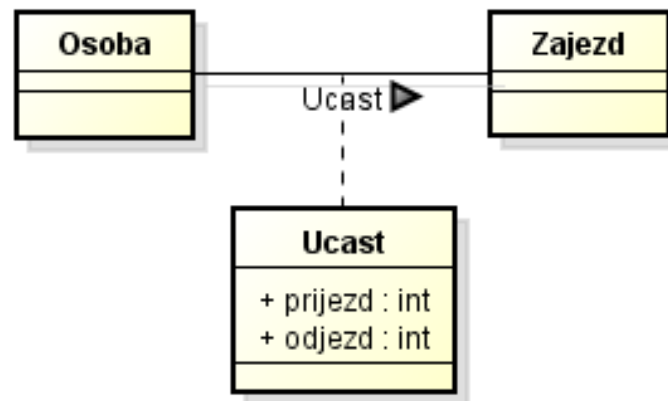
Realizace vyjadřuje vztah mezi interface (rozhraním) a třídou, která jej implementuje. Interface je tvořen skupinou operací, která specifikuje určitý aspekt chování mezi třídami (v tomto případě Vykreslitelnost Elipsy) Třída, která reprezentuje interface, obsahuje tzv. stereotyp. Stereotyp je zapisován do dvojitéch špičatých závorek. Pomocí stereotypu je umožněno změnit význam konkrétního prvku v diagramu, v tomto případě třídu na interface. Propojení tříd tímto vztahem se zakresluje přerušovanou čarou s prázdnou šipkou na straně třídy představující interface. [12]



Obrázek 12 - Vztah realizace[28]

Asociační třída

Tato třída umožňuje zprostředkovat vztah mezi dvěma entitami s výhodou spočívající v možnosti přidání atributů. V příkladu je uveden vztah mezi Osobou a Zájezdem doplněný třídou Zájezd, která Osobu přiřazuje na Zájezd a zároveň sděluje konkrétní čas příjezdu a odjezdu. Zápis je tvořen spojením původních dvou tříd asociací (plnou čarou) na kterou v polovině navazuje přerušovaná čára s asociační třídou. Šipka doplňuje skutečnost, že se osoba účastní zájezdu, nikoliv naopak.[12]



Obrázek 13 - Vztah asociační třída[29]

Na Obrázku 14 je příklad komplexnějšího diagramu tříd, kterým je zobrazena struktura webové stránky, kde lze vidět rozdíly oproti doménovému diagramu. Přibyla zde nově třída System, držící instanci aktuálně otevřeného článku a aktuálního uživatele. Kromě toho udržuje rovněž kolekce článků, členů a sekcí článků. Na rozdíl od doménového diagramu je zde znázorněna vnitřní struktura funkce systému, při přechodu na diagram tříd se zpravidla počet tříd zvyšuje. Instance systému je vytvářena s každým novým požadavkem, jak je uvedeno v poznámce. Třída s názvem StavClanku ze které je výčtový typ vytvořen stereotypem „enumerable“ (počítatelný).[12]

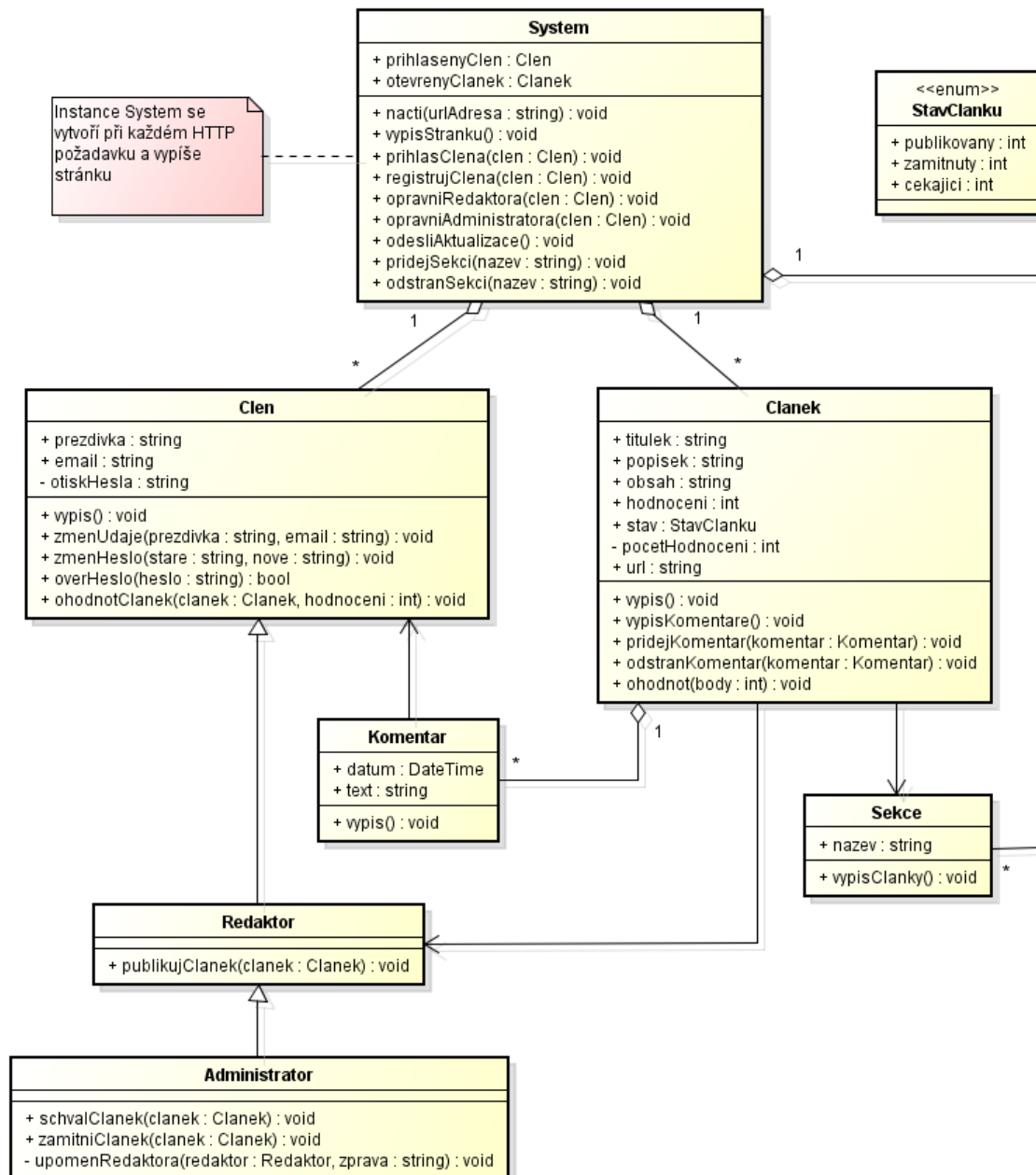
2.2. Ontologie

Historicky se pojem ontologie váže ke starověkému Řecku, kdy byla filosofickou disciplínou zabývající se jsouncem a bytím. (wikipedie) Na konci minulého století se ontologie začaly objevovat i v oblastech zabývajících se získáváním, reprezentací a sdílením znalostí v oboru znalostního inženýrství. Tento obor je podoblastí vývoje umělé inteligence. Dále je v této práci používáno nové chápání pojmu ontologie. Pod znalostní inženýrství spadají veškeré činnosti zabývající se znalostně orientovanými aplikacemi. Následně byla vytvořena nová disciplína zvaná ontologické inženýrství, které se zabývá aktivitami zaměřenými na vývoj ontologií pomocí různých metodik, nástrojů a jazyků. [14]

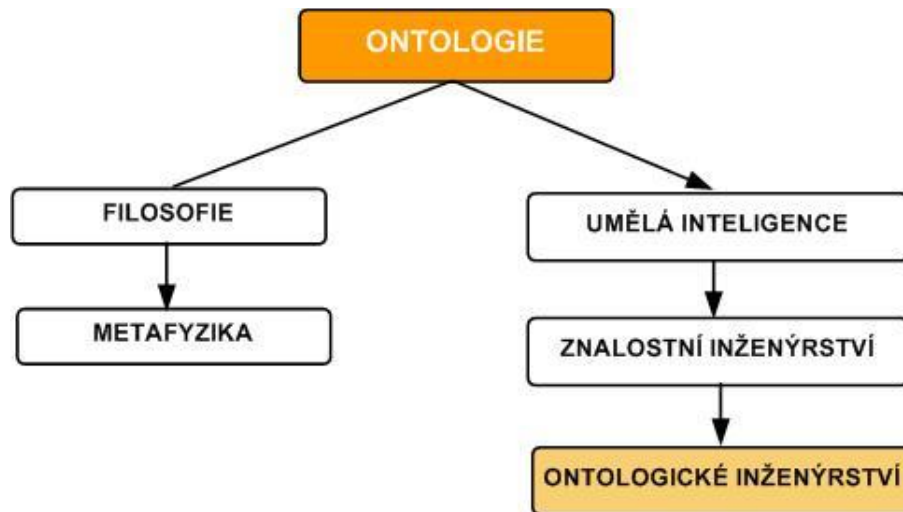
Ontologie v informačních systémech

V informatice jednotlivé ontologie stojí na přesně a formálně definovaných pojmech a vztazích. Ontologie se skládá za dvou částí, taxonomie a souboru odvozovacích pravidel. Taxonomie

definuje třídy a podtřídy objektů a vztahy mezi nimi. Dalšímu využití ontologií při vývoji nástrojů se zabývá ontologické inženýrství.[14]



Obrázek 14 - Diagram tříd[30]



Obrázek 15 - Rozdělení ontologií[31]

2.3. Protégé

Protégé¹ představuje volně dostupný nástroj pro vytváření a úpravu ontologií vytvořený Markem Musenem, první verze byla publikována v roce 1987. Od té doby jsou nové verze vyvíjeny týmem působícím na Stanfordově univerzitě ve spolupráci s univerzitou v Manchesteru. Program využívá programovací jazyk Web Ontology Language (OWL) a umožňuje export mimo jiné do formátů RDF a Turtle.[18] Protégé jsem v této práci použil pro vkládání informací dle struktury vytvořené na základě diagramu v jazyce UML.

2.3.1. Moduly programu Protégé

V následující části popisuji pouze moduly programu Protégé využité mnou při tvorbě konceptuálního modelu, jelikož program obsahuje široké množství funkcí, které jsem nevyužíval.

¹ <https://protege.stanford.edu/>



Class

Prvním modulem, který jsem využíval při tvorbě konceptuálního modelu je „Class“ (Třída). Pomocí něj je vytvořena základní struktura objektů obsažených v modelu. Třídy jsou zde ve formě prvků, které se dále člení do podprvků, kdy tak nakonec z důležitých komponentů vytvoří celou strukturu. Mezi prvky a podprvky je vztah generalizace neboli zobecnění. Při předvádění modelu v UML do Protégé jsou těmito prvky konkrétní třídy „task“ a „subtask,“ do kterých budou později vyplňovány další konkrétní informace. Na Obrázku 16 lze vidět strukturu vytvořenou třemi třídami a třemi podtřídami, kdy je v informacích o „Podtřída_3_1“ vidět, že je podtřídou třídy „Třída_3“.

Individuals

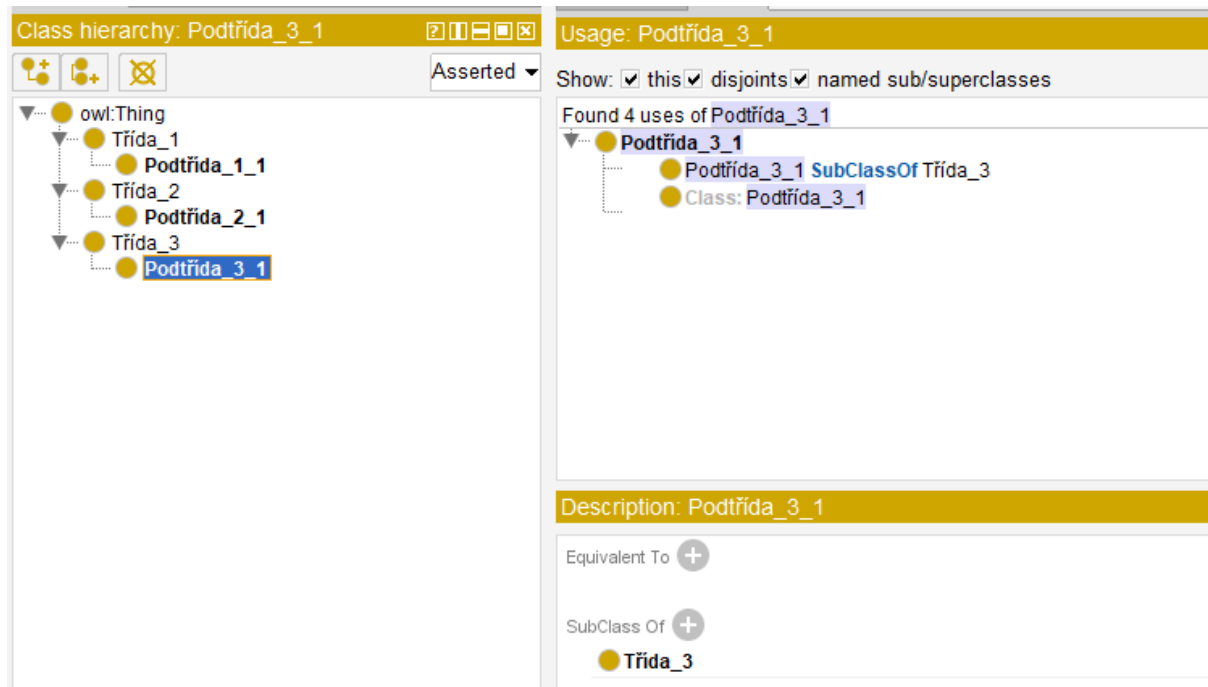
Modul „Individuals“ obsahuje data jednotlivých tříd. Při vytváření nových instancí jsou využívány informace uložené v atributech tříd UML diagramu. Instance zde lze dále pojmenovávat pomocí anotace, kdy je na obrázku přidělen label (štítek) „DataDruhéhoTypu_1,“ čímž pak lze jednotlivé instance snadno odlišit. Dále je k nim možné přidělovat třídy a data objektů, včetně jejich vlastností. Na Obrázku 17 lze vidět přiřazenou třídu „Třída_2“.

Object Properties (Vlastnosti Objektů)

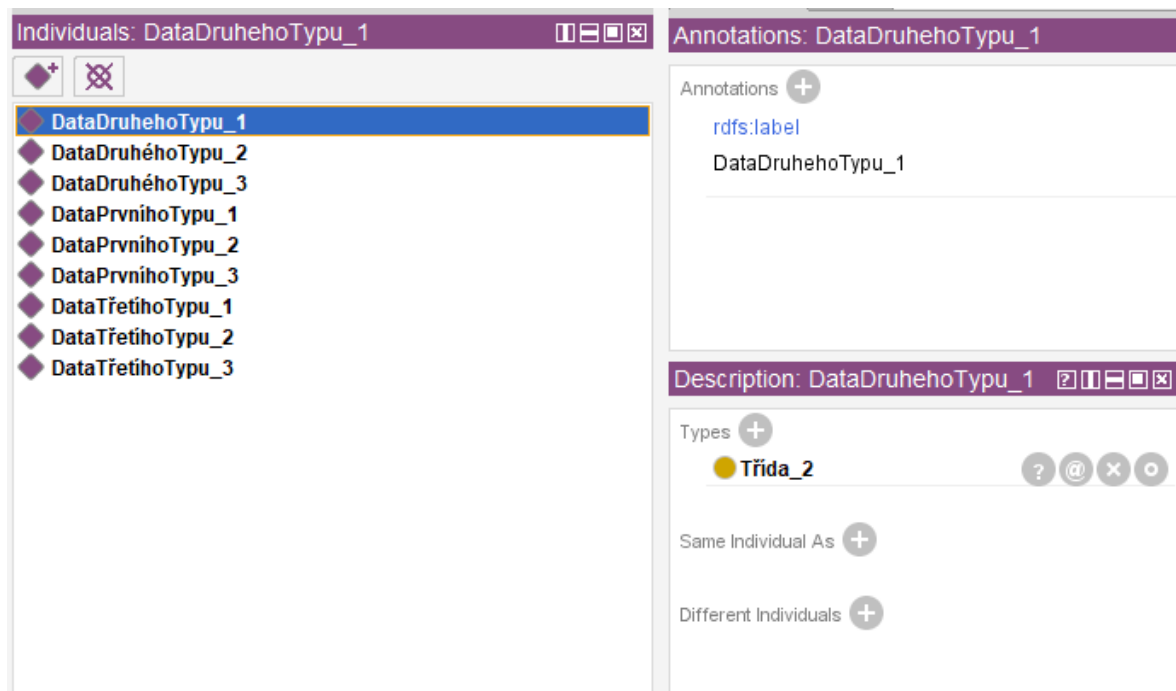
Slouží k vytváření vztahů mezi jednotlivými instancemi vytvořenými v předchozím modulu „Individuals“. Lze tak v Protégé vytvořit všechny potřebné vztahy, které byly předtím součástí modelu v UML. Na Obrázku 18 je vidět znázornění vztahu závislosti mezi třídou „Třída_3“ a podtřídou „Podtřída_2_1,“ kdy je první v poli „Ranges“ a druhá v poli „Domains“. Znamená to, že je „Podtřída_2_1“ závislá na „Třída_3“.

Data properties (Vlastnosti Dat)

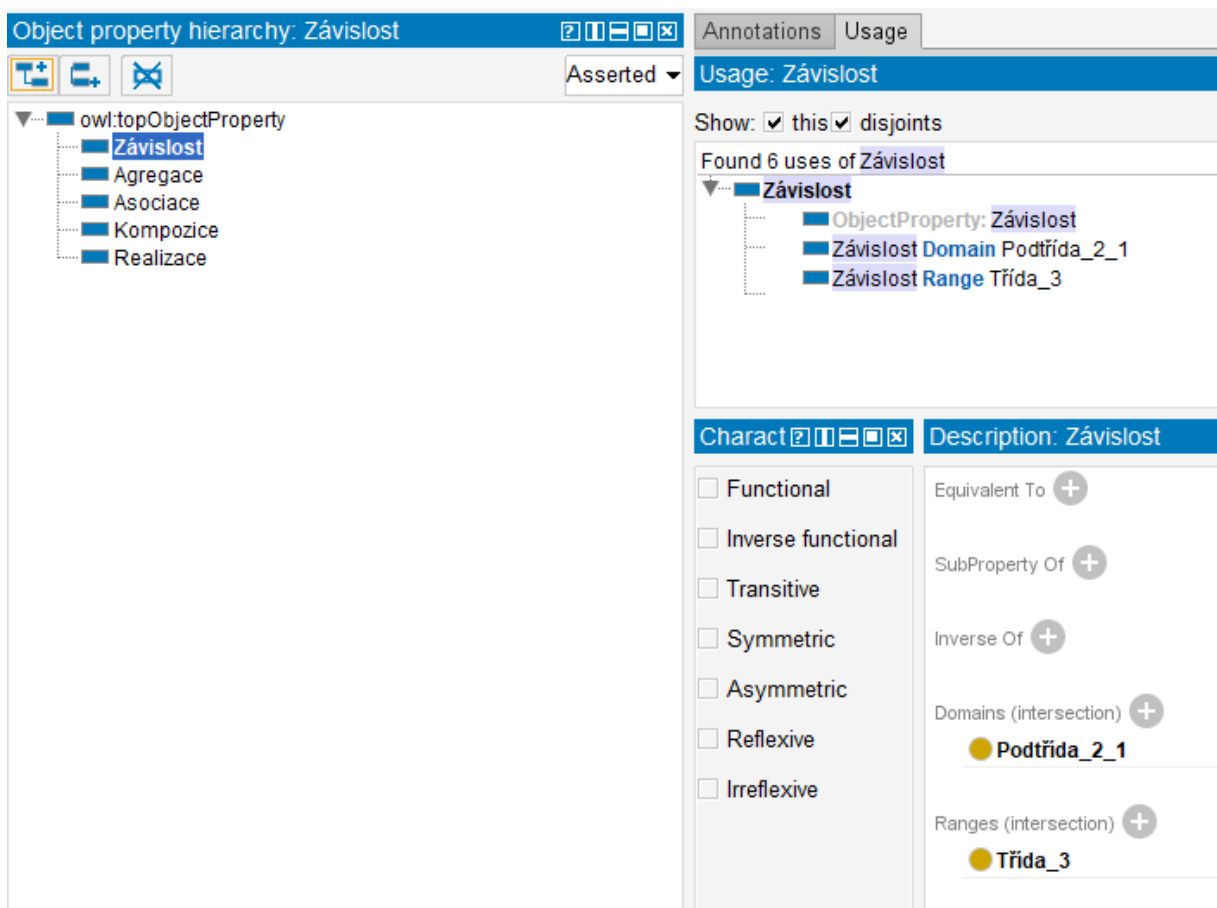
Představuje modul upřesňující vlastnosti vkládaných dat. Při přenášení modelu z UML do Protégé jsou v tomto případě přenášeny atributy, které představují data potřebná pro plánování. Možnosti vkládání dat jsou ukázány na Obrázku 19. Třída „Třída_2“ zde obsahuje atribut „DataPrvníhoTypu“. Pole „Range“ popisuje formát ve kterém jsou data uvedena. Pojem „integer“ říká, že je hodnota složena pouze z číslic. Na obrázku lze dále vidět konkrétní hodnotu „1“. Data obsahující pouze číslice lze využít pro popis zón a některých přístupových panelů, protože neobsahují písmena ani speciální znaky.



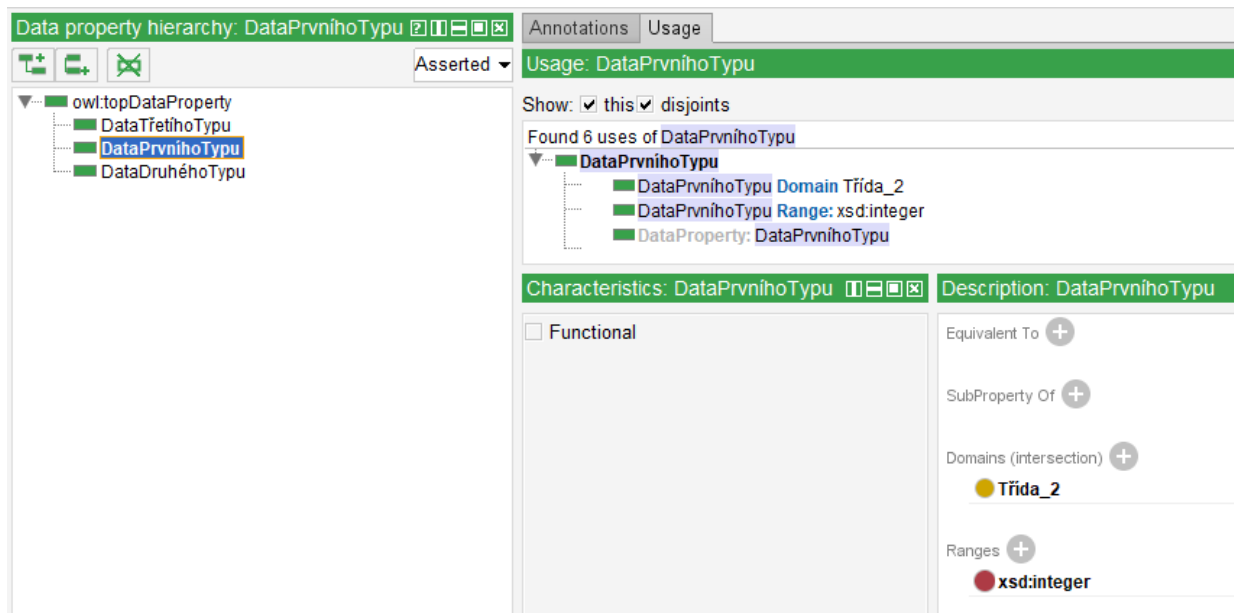
Obrázek 16 - Modul Class



Obrázek 17 - Modul Individuals



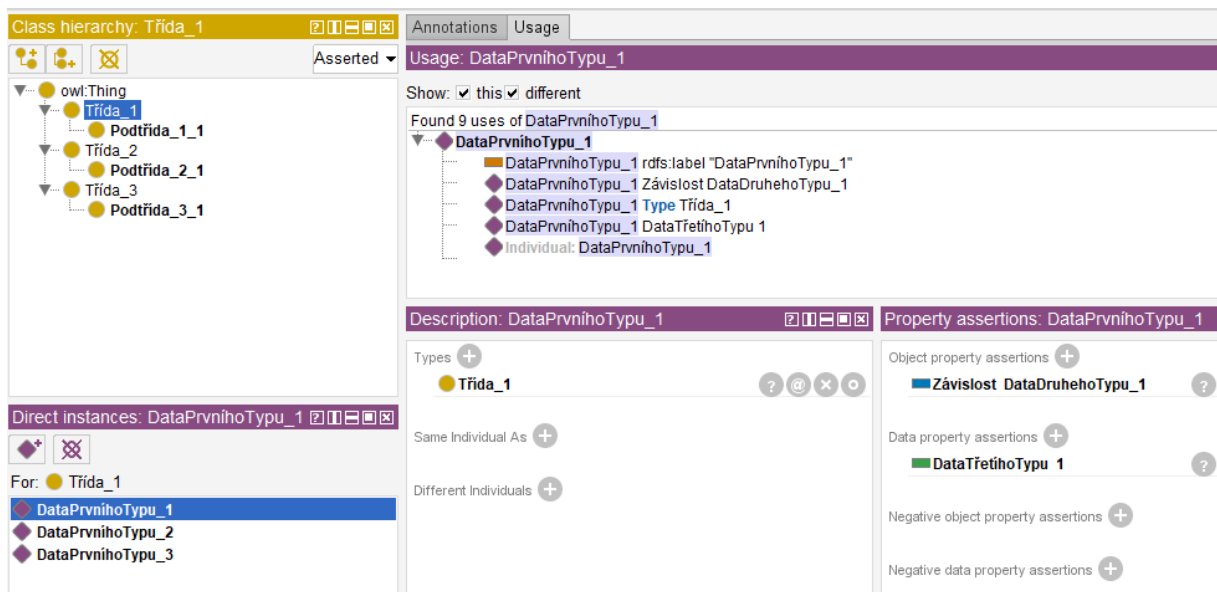
Obrázek 18 - Modul Object properties



Obrázek 19 - Modul Data properties

Individuals by Class

Představuje poslední mnou používaný modul v Protégé při tvorbě konceptuálního modelu. Jak napovídá název, jsou zde uvedeny instance „Individuals“ zobrazené v rámci tříd. Probíhá zde samotná tvorba kompletního modelu, zahrnující propojování tříd, instancí, dat a vlastností všech zmíněných do celku. Na Obrázku 20 je jednoduchý model ukazující třídu „Třída_1,“ obsahující instanci „DataPrvníhoTypu“. Do instance jsou vloženy data „DataTřetíhoTypu“ s číselnou hodnotou „1“. Je zde rovněž vidět závislost na datech „DataDruhéhoTypu_1“



Obrázek 20 - Modul Individuals by Class



3. Výsledky

V následující části práce budu nejdříve popisovat svůj postup převádění struktury AMM do diagramu v jazyce UML, kdy budu ukazovat způsob převádění konkrétních informací a následně jednoduchý model ukazující jednoduchou kompletní část struktury v podobě diagramu. Následně zmíním způsob vkládání informací do programu Protégé při vytváření konceptuálního modelu v něm. Nakonec je popsán princip verifikace modelu, zda je možné jej použít pro tvorbu aplikace pro automatizaci plánování údržby letadel ve společnosti CSAT.

3.1. Tvorba diagramu v UML

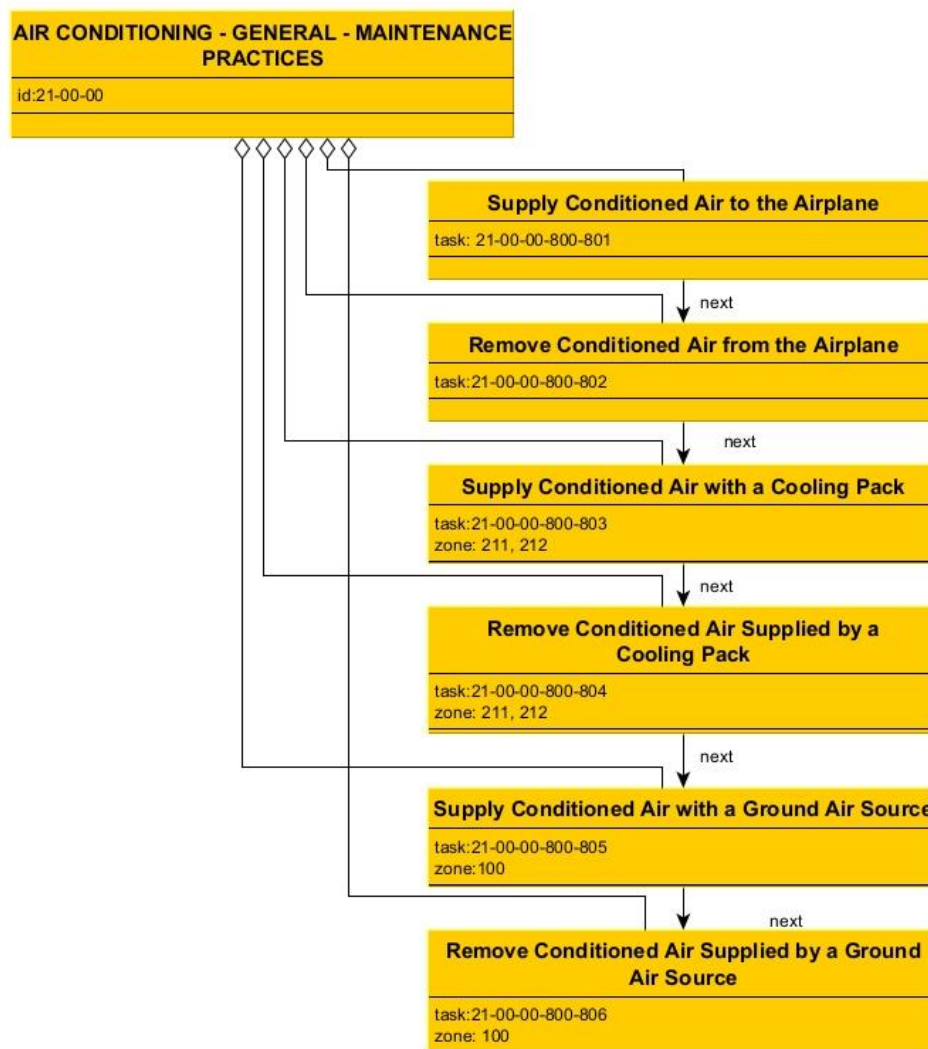
Informace použité pro tvorbu pocházejí z dokumentu AMM [6] poskytnutého společností CSAT. Postupy jsou v AMM děleny nejdříve pomocí tzv. „Subjectů“, které představují seznam všech „Task cards“ potřebných k vykonání celého úkonu. Často je úkon složen z více částí, kdy je například nejdříve nutné demontovat vadný díl, poté nainstalovat nový, a nakonec ověřit funkčnost systému s novým dílem. Každá z těchto třech částí má svůj vlastní „task“, který je dále tvořen „subtasky“. Mezi „task“ a „subtask“ je vztah agregace. „Subtasky“ na sebe navazují pomocí vztahu asociace, doplněné šipkou a poznámkou „next,“ aby byla zřejmá jejich návaznost. Každý objekt má své jedinečné identifikační číslo „id“.

Na Obrázku 21 je ukázána struktura konkrétního „Subject“ v AMM, který je tvořen šesti „task“. Na Obrázku 22 je stejná struktura v UML modelu. Jednotlivé „task“ na sebe navazují asociacemi a se „Subject“ jsou spojeny generalizací. V této základní struktuře ukazují pouze informaci, kterou představuje číselné označení. Informacím, které mohou jednotlivé třídy obsahovat se budu věnovat později.

Obrázek 23 již ukazuje samotný obsah „tasku“, který se skládá ze dvou „subtasků“. Na Obrázku 24 je tato struktura v rámci UML diagramu. Konec celého „tasku“ je vždy označen. Opět jsou zde využity vztahy asociace a generalizace.

<u>SUBJECT</u>	<u>SUBJECT</u>	<u>CONF</u>	<u>PAGE</u>
AIR CONDITIONING - GENERAL - MAINTENANCE PRACTICES	21-00-00		201
Supply Conditioned Air to the Airplane TASK 21-00-00-800-801			201
Remove Conditioned Air from the Airplane TASK 21-00-00-800-802			203
Supply Conditioned Air with a Cooling Pack TASK 21-00-00-800-803			203
Remove Conditioned Air Supplied by a Cooling Pack TASK 21-00-00-800-804			204
Supply Conditioned Air with a Ground Air Source TASK 21-00-00-800-805			205
Remove Conditioned Air Supplied by a Ground Air Source TASK 21-00-00-800-806			206

Obrázek 21 - Struktura AMM



Obrázek 22 - Struktura AMM v UML

TASK 21-00-00-800-801

2. Supply Conditioned Air to the Airplane

(Figure 201)

A. General

SUBTASK 21-00-00-860-111

- (1) It is recommended that the conditioned air to cool the airplane on the ground be supplied from a ground air source, when practical, as an alternative to operating the cooling packs. To supply conditioned air, do this task: Supply Conditioned Air with a Ground Air Source, TASK 21-00-00-800-805.

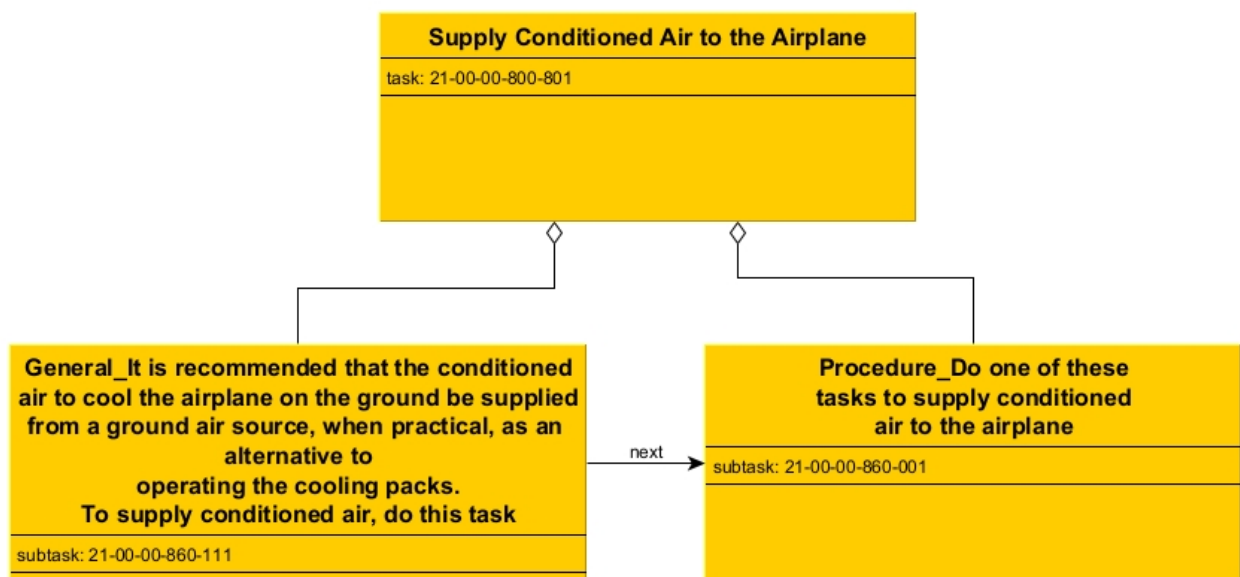
B. Procedure

SUBTASK 21-00-00-860-001

- (1) Do one of these tasks to supply conditioned air to the airplane:
- (a) Do this task: Supply Conditioned Air with a Cooling Pack, TASK 21-00-00-800-803.
 - (b) Do this task: Supply Conditioned Air with a Ground Air Source, TASK 21-00-00-800-805.

————— **END OF TASK** —————

Obrázek 23 – Struktura „tásku“ a dvou „subtásku“ v AMM



Obrázek 24 - Struktura „tásku“ a dvou „subtásku“ v UML

3.2. Typy informací obsažené v AMM

Nyní se budu věnovat jednotlivým typům informací obsaženým v AMM, potřebným při tvorbě konceptuálního modelu. Jejich přidávání zde na rozdíl od následujícího postupu v Protégé probíhalo u všech typů stejně, tedy ve formě atributů. Následně ukáži vzorovou třídu včetně zmíněných typů atributů, které může obsahovat.

Reference

Prvním typem informací jsou reference uvedené na Obrázku 25, které lze uvádět jak v rámci „tasků“, tak „subtasků“. Představují odkazy na jiné části manuálu, není tedy nutné uvádět pokaždé ten samý postup znovu, ale je na něj pouze odkázáno. Může se jednat o odkazy na jakoukoliv část AMM, ne pouze na postupy v aktuální kapitole.

Z hlediska modelování jsou rozlišovány na „rReference“ a „mReference“. První zmíněná vychází ze slova „recommended“ (doporučená) a představuje „task“, nebo podmínku, která buďto nemusí být nutně splněna, nebo je možnost volby z více variant. Například, zda zvolíme jako zdroj vzduchu Cooling pack, nebo externí přívod. Druhý typ je označen písmenem „m“ ze slova „mandatory“ (povinná), podmínka tedy musí být pro pokračování postupu splněna. V AMM tato označení použita nejsou, jelikož se jedná o data potřebná až při vytváření konceptuálního modelu, nikoliv při samotné údržbě, rozlišení tedy lze vidět až na Obrázku 29, kde je třída „subtask“ včetně atributů.

B. References

Reference	Title
24-22-00-860-811	Supply Electrical Power (P/B 201)
36-00-00-860-801	Supply Pressure to the Pneumatic System (Selection) (P/B 201)

Obrázek 25 - Reference

Panely

Jsou uváděny pouze ve třídách „subtask“ a říkají, jaké panely jsou v provádění této části údržby využívány. Pro plánování představují důležitou informaci, jelikož některé úkony vyžadují mít konkrétní panel otevřený a jiné zavřený. Otevírání přístupového panelu přitom v závislosti na jeho typu může trvat i řády hodin. Příklad panelu v AMM je na Obrázku 26

B. Access Panels

Number	Name/Location
191E	Low Pressure ECS Panel - Forward

Obrázek 26 – Panely

Vybavení

Zde jsou ve formě kódu zmíněny informace o vybavení nezbytném k provedení „subtasku“. Z hlediska plánování je velmi důležité mít přehled o potřebném vybavení, jelikož mezi ně patří i přístroje, které je nutné mít předem rezervované, či objednané. Obrázek 26 ukazuje sekci vybavení v AMM.

A. Tools/Equipment

NOTE: When more than one tool part number is listed under the same "Reference" number, the tools shown are alternates to each other within the same airplane series. Tool part numbers that are replaced or non-procurable are preceded by "Opt.", which stands for Optional.

Reference	Description
SPL-6692	Vacuum Tank - Pressure Relief Valve Tester

Obrázek 27 - Vybavení

Zóny

Poslední typ informací představují zóny, zobrazené na Obrázku 28, které říkají, kde bude konkrétní úkon prováděn, přičemž jsou uvedeny ve třídě „task“. Pro plánování je důležité rozmístění personálu na letadle během údržby, aby nemohlo dojít k tomu, že budou dva mechanici potřebovat na stejném místě v tu samou chvíli provádět dva různé úkony.

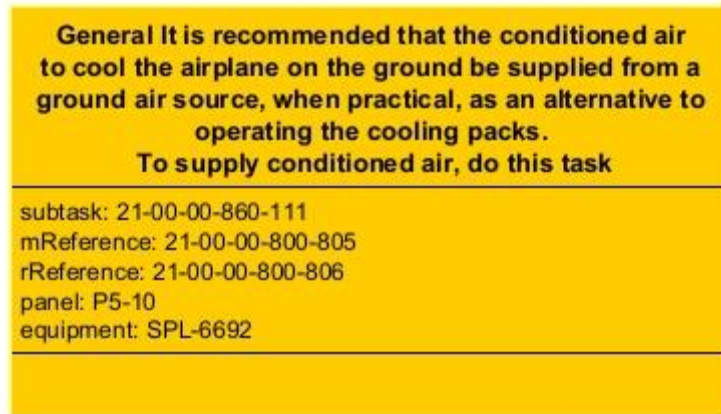
C. Location Zones

Zone	Area
211	Flight Compartment - Left
212	Flight Compartment - Right

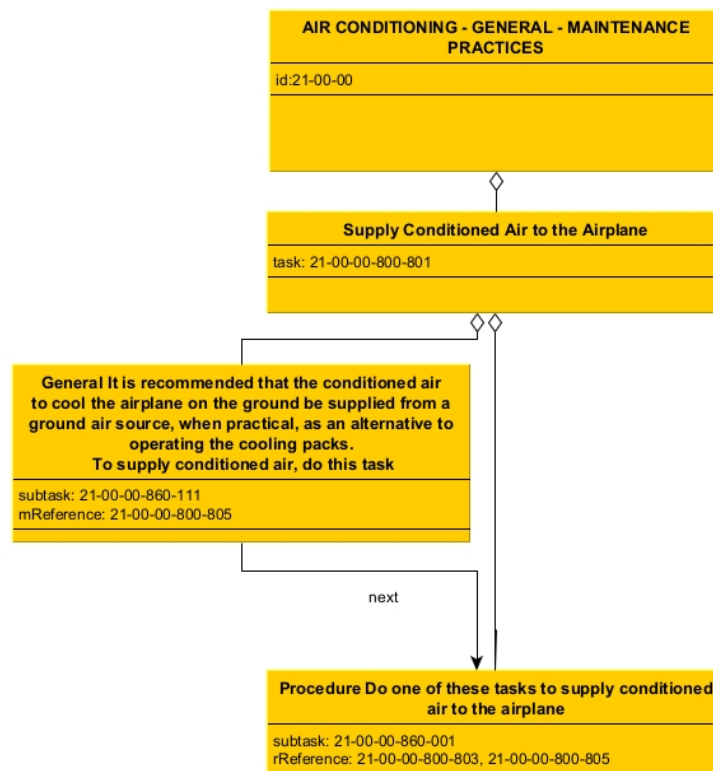
Obrázek 28 - Zóny

Obrázek 29 ukazuje vzorovou třídu „subtask“ včetně všech atributů, které v ní mohou být obsaženy. Jedná se pouze o příklad, jelikož třídy zpravidla neobsahují všechny typy informací najednou.

Na Obrázku 30 lze vidět jednoduchý model s kompletní strukturou návazností „Subject“, „task“ a dvakrát „subtask“ včetně informací uvedených v příslušných třídách ve formě atributů.



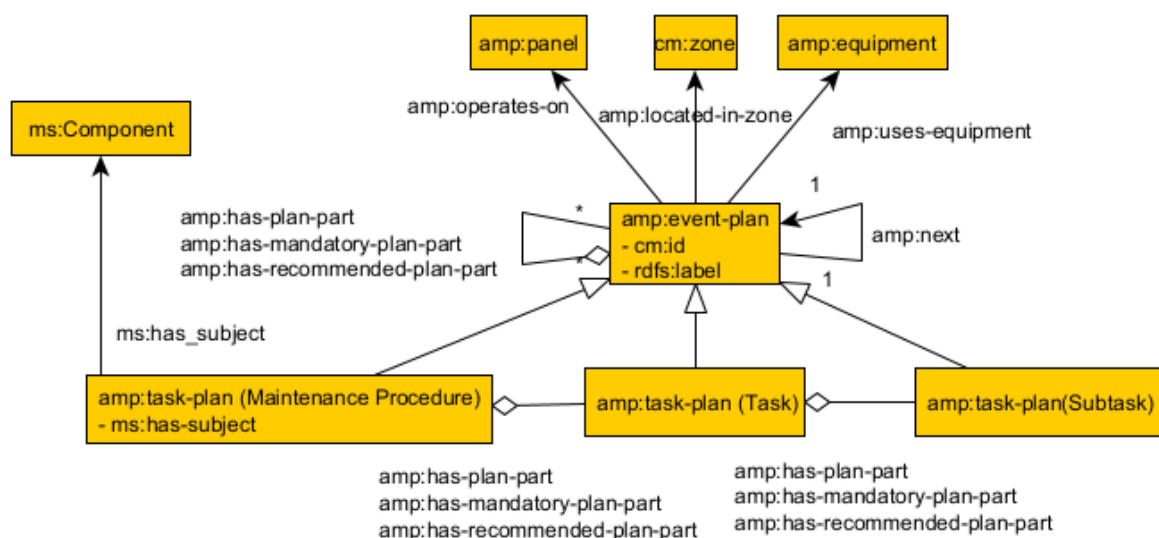
Obrázek 29 - Třída v UML s kompletními atributy



Obrázek 30 - Jednoduchá kompletní struktura

3.3. Vytváření konceptuálního modelu v Protégé

Na základě struktury modelů vytvořených v UML a způsobu přidělování jednotlivých atributů, bylo ve spolupráci s Fakultou elektrotechnickou ČVUT vytvořeno následující schéma, které slouží k zadávání informací z UML diagramů do programu Protégé za účelem vytvoření modelu. Vytvoření tohoto schématu bylo nezbytné, jelikož byla data vkládána do již vytvořené struktury, která byla Fakultou elektrotechnickou vytvořena v rámci tvorby plánovacího software.



Obrázek 31 - Schéma pro zadávání dat

Popis schématu pro vytváření modelu Protégé

Uprostřed schématu lze vidět třídu „event-plan,“ která tvoří základní část konceptuálního modelu. V ní je vytvářena struktura ze „Subjectů,“ „tasků“ a „subtasků“. Oproti modelu vytvořenému v UML je zde navíc přidána třída „Component,“ která říká, jakého systému se týká sekvence „tasků“ uvnitř třídy „Subject“. Třída „Subject“ tedy již neobsahuje identifikační číslo, ale je přidělena k „Component,“ který jej má. Dále je ukázán způsob přidělování atributů, který má již sofistikovanější formu. Tyto atributy jsou do Protégé vkládány pomocí modulu „Object properties“. Každý typ atributů má svůj jedinečný typ vlastností, jednotlivé typy jsou vždy uvedeny vedle čar interpretujících vzájemné vztahy mezi ostatními třídami a tou středovou. Návaznosti „next“ z UML modelu jsou zde zajištěny pomocí vlastnosti se stejným názvem, které se týkají „tasků“ a „subtasků“. Takhle propojená struktura je sice kompletní, ale protože jsou všechny „Individuals“ umístěny v jedné třídě „task-plan,“ mohlo by při nefunkční



návaznosti „next“ dojit k situaci, kdy by nebylo zřejmé, jakého „Subject“ je „task“ součástí, nebo jakého „tasku“ je součástí „subtask“. Pro tento případ zde byla přidána vlastnost „has-plan-part“, která obsahuje v případě „Subjectu“ všechny dílčí „tasky“ a „subtasky“. V případě „tasků“ pak všechny dílčí „subtasky“. Pro data určená k pozdějšímu využití při automatizaci je zcela nezbytná jednoznačnost uvedených vztahů, která je tímto zajištěna.

3.3.1. Vkládání konkrétních informací do Protégé

V následující části popíšu postup vkládání konkrétních informací do Protégé v rámci modulů, které jsem popisoval předtím. Kompletní ontologie obsahuje i velké množství objektů a tříd, které jsem při používání Protégé nevyužil, vzhledem k rozsáhlosti celé ontologie budu popisovat pouze části na kterých jsem pracoval.

Class

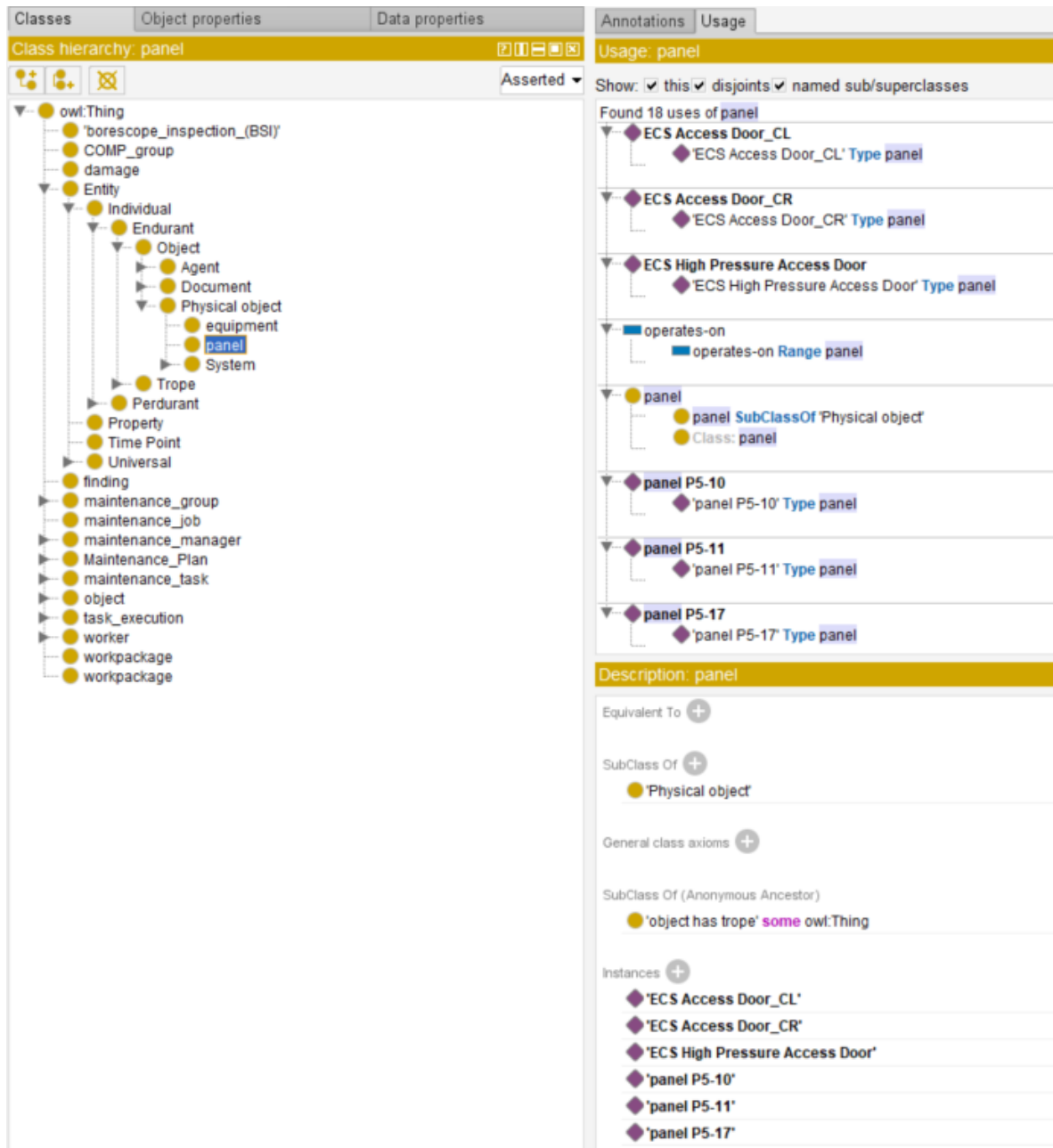
První ze tříd, která je součástí struktury dat v Protégé je třída „panel,“ kterou ukazuje Obrázek 32. V levém sloupci je vidět, jakých tříd je součástí. Pravá část obrázku uvádí všechna použití této třídy. Mezi ně patří přiřazené „Individuals,“ znázorněné symbolem fialového kosočtverce, představující konkrétní panely a jejich názvy. Symbol modrého obdélníku popisuje vlastnost objektů „operates-on,“ kterou jsou s třídou „panel“ propojeny. Žlutý symbol kruhu uvádí pozici třídy „panels“ vůči celé struktuře tříd uvedené nalevo. Lze vidět, že je podtřídou třídy „Physical object“.

Individuals

Obrázek 33 ukazuje konkrétní „subtask“ obsahující přiřazená data. V sekci použití lze vidět, že je součástí tříd „task“ a „task-plan“. Následně ještě obsahuje informaci o přiřazeném štítku. Zbylé informace je přehledněji vyčíst z části „Property assertions“ v pravém dolním rohu. Je zde uvedena vazba „next“ zajišťující návaznost kroků, uveden panel, který je při úkolu využíván (operates-on) a nakonec povinná reference (has-mandatory-plan-part). Poslední informací jsou data udávající jedinečné „id“ číslo „subtasku“.

Object properties

Obrázek 34 ukazuje modul „Object properties,“ s konkrétní vlastností „has-mandatory-plan-part,“ která je podtřídou třídy „has-plan-part“. Lze zde opět vidět jednotlivé objekty, které tuhle vlastnost využívají.



The screenshot displays a software interface with two main panels. The left panel, titled "Class hierarchy: panel", shows a tree structure of classes. The root is "owl:Thing", which branches into "Entity" and "Property". "Entity" further branches into "Individual" and "Perdurant". "Individual" branches into "Endurant" and "Object". "Object" branches into "Agent", "Document", and "Physical object". "Physical object" branches into "equipment", "panel", and "System". "Trope" is also shown as a child of "Individual". Other classes like "finding", "maintenance_group", "maintenance_job", "maintenance_manager", "Maintenance_Plan", "maintenance_task", "object", "task_execution", "worker", "workpackage", and "workpackage" are listed at the bottom of the hierarchy.

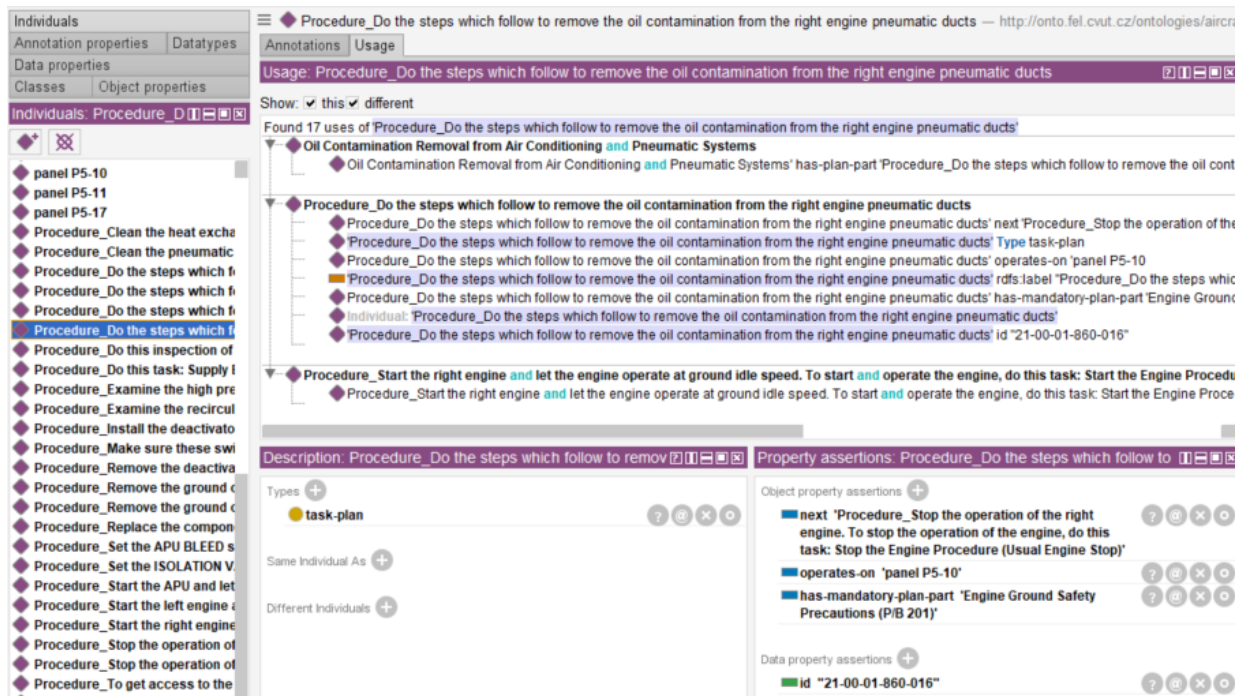
The right panel, titled "Usage: panel", shows 18 uses of the "panel" class. The uses are listed as follows:

- ECS Access Door_CL (Type panel)
- ECS Access Door_CR (Type panel)
- ECS High Pressure Access Door (Type panel)
- operates-on (operates-on Range panel)
- panel (SubClassOf 'Physical object', Class: panel)
- panel P5-10 (Type panel)
- panel P5-11 (Type panel)
- panel P5-17 (Type panel)

Below the usage list, the "Description: panel" section shows the following information:

- Equivalent To: +
- SubClass Of: +
 - 'Physical object'
- General class axioms: +
- SubClass Of (Anonymous Ancestor):
 - 'object has trope' some owl:Thing
- Instances: +
 - 'ECS Access Door_CL'
 - 'ECS Access Door_CR'
 - 'ECS High Pressure Access Door'
 - 'panel P5-10'
 - 'panel P5-11'
 - 'panel P5-17'

Obrázek 32 - Modul Class se třídou „panel“



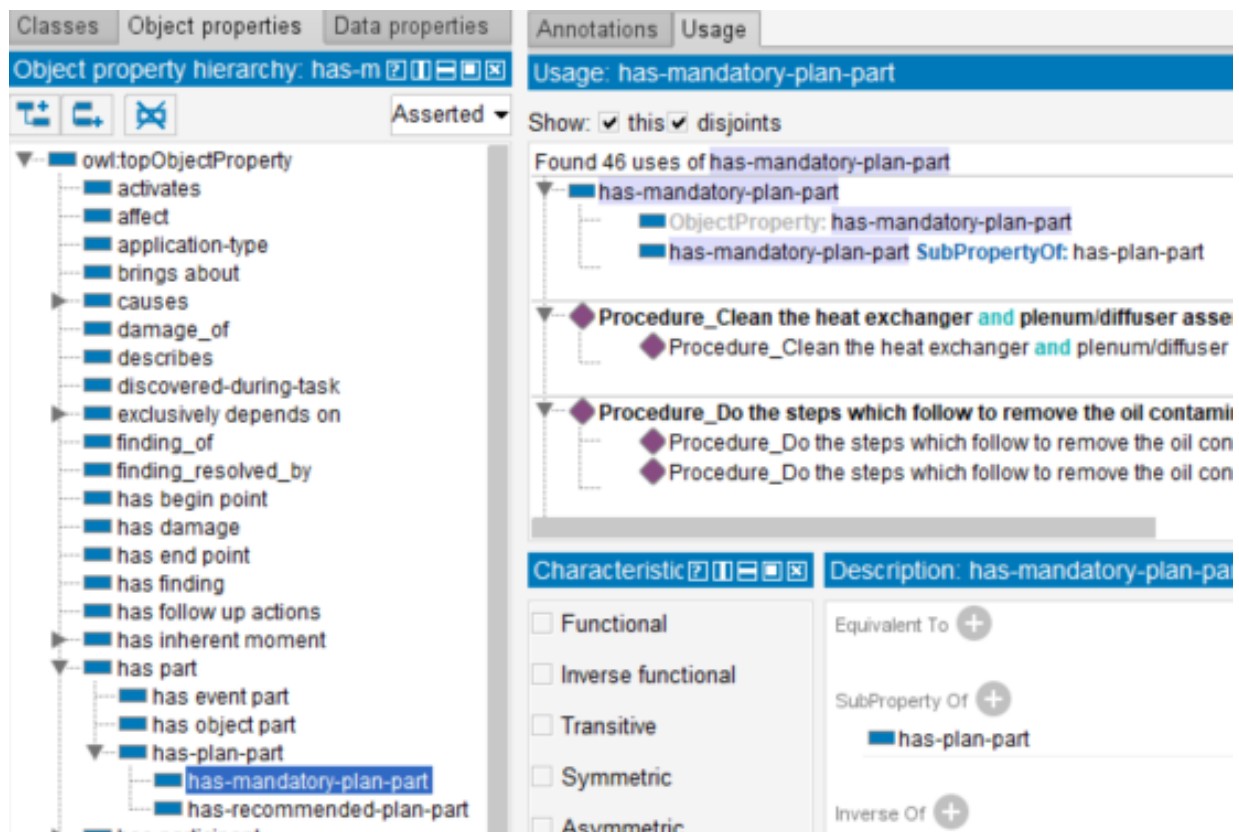
Obrázek 33 - Modul Individuals s konkrétním „subtask“

Data properties

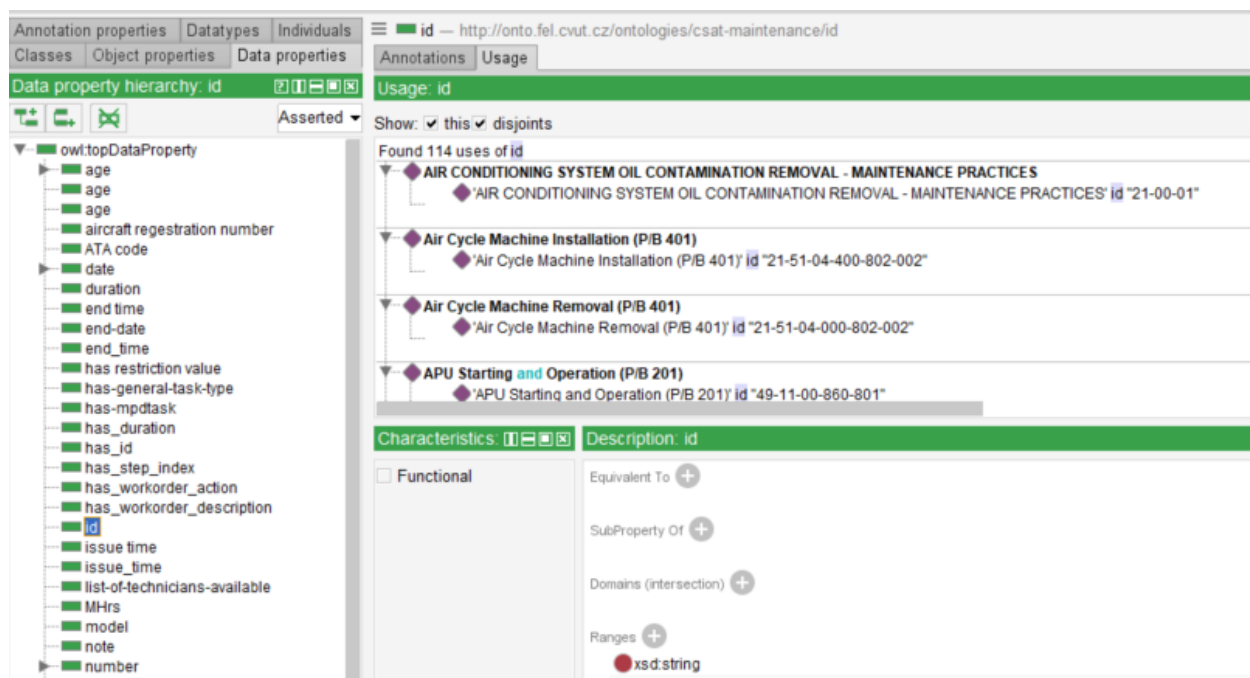
Na Obrázku 35 lze vidět modul „Data properties“ s přidělenou vlastností dat „id“. Jak ukazuje sloupec využití, je tahle vlastnost použita u všech „Component,“ „task“ a „subtask“.

Individuals by Class

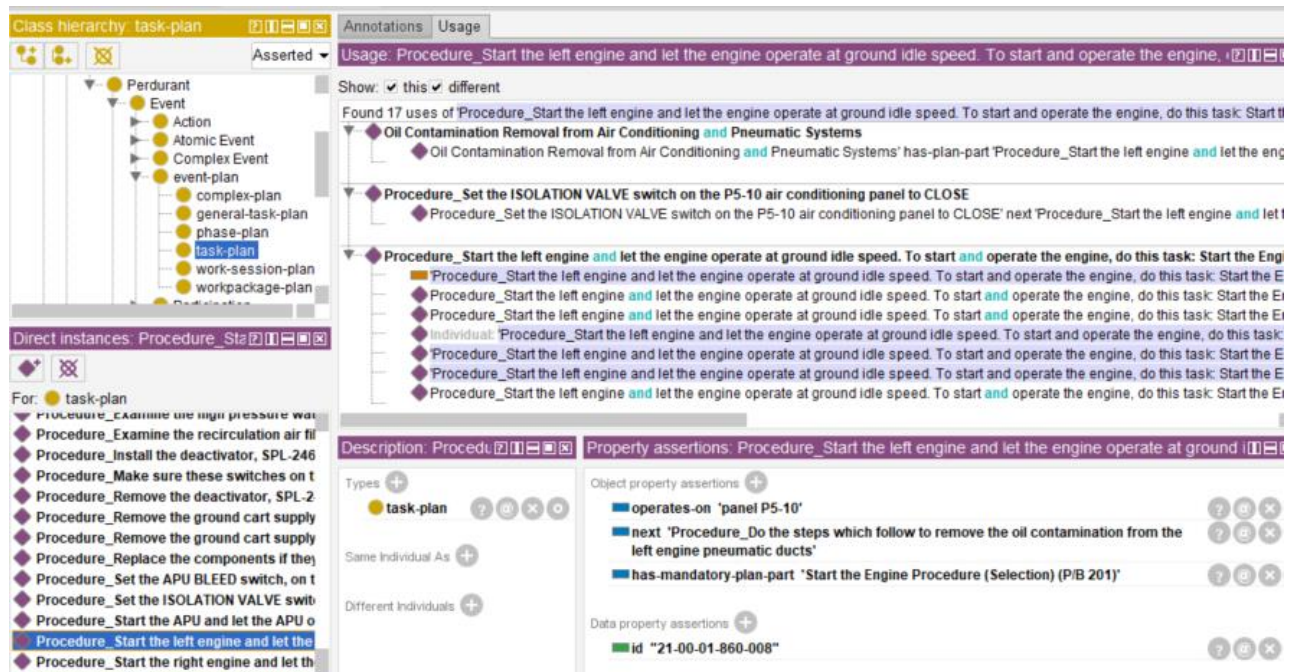
Modul „Individuals by Class“ zobrazuje všechny informace obsažené v modulu „Individuals,“ přičemž je zde navíc v pravém horním rohu uvedena informace o tom v jaké třídě se aktuálně zobrazený objekt nachází.



Obrázek 34 - Modul Object properties s vlastností „has-mandatory-plan-part“



Obrázek 35 - Modul Data properties s vlastností dat „id“



Obrázek 36 - Modul Individuals by Class se objektem „subtask“

3.4. Ověření funkčnosti modelu pomocí testovacího skriptu

Po vytvoření modelu v programu Protégé podle UML diagramů bylo nutné ověřit, zda jsou informace ve všech částech struktury uvedeny správně a zda je model jako celek funkční. Verifikace probíhala pomocí testovacího skriptu na Fakultě Elektrotechnické, ČVUT v Praze. Skript automaticky zkoušel návaznost jednotlivých informací a dodržování předepsané struktury. Výstupem z něj byly nejdříve chyby, u kterých bylo uvedeno, jaké části struktury se týkají. Opravením těchto chyb pak při opakovaném ověření byl výstup, že konceptuální model údržby klimatizačního a přetlakového systému B737NG je funkční. Je tedy připraven pro zpracování do formy aplikace umožňující automatizaci údržby v rámci MRO organizací provádějící údržbu na B737NG. Model vytvořený v této bakalářské práci je přiložen jako externí soubor s názvem „ata-21.ttl“.



4. Diskuze

V následující části se věnuji zhodnocení poznatků získaných při tvorbě konceptuálního modelu.

Zcela jednoznačně se dá konstatovat náročnost přípravy dat pro automatizaci jakéhokoliv komplexního procesu. Náročnost je z velké části způsobem již samotným objemem dat, který je v případě Manuálu údržby letadel značný i v případě zpracování pouze části celé kapitoly konkrétního ATA kódu. V mém případě se jednalo dny strávené zadáváním informací často i z velmi malé části manuálu. V případě zadávání velkého objemu dat ručně může docházet k překlepům a chybám, které snižují jejich využitelnost. Lidé provádějící strukturování dat musejí mít potřebné znalosti a dovednosti pro orientaci v dokumentu a identifikaci důležitých informací. Navíc se musejí orientovat v prostředí programů používaných při zpracování dat. Pro takto extrahovaná data je posléze nutno vytvořit strukturu pro samotné modelování do podoby využitelné při automatizaci a následně vytvořit model. Na druhou stranu poté tato data mohou posloužit při automatizaci, která je schopná čas strávený zpracováním dat a tvorbou modelů využít pro mnohem rychlejší provádění úkonů, než jakého by byl schopen člověk. Nedošlo by k jeho úplnému nahrazení, ale nemusel by trávit tolik času rutinními činnostmi. Je tedy nutné nejdříve správně posoudit, zda je oblast, pro kterou by byla automatizace využitelná, natolik složitá, že se vyplatí do tvorby automatizačního nástroje investovat. O automatizaci se dle mého pohledu vyplatí uvažovat v případě údržby velkých dopravních letadel, kdy údržbová organizace obstarává práci na mnoha letadlech najednou. V případě malých organizací, nebo jednodušších typů letadel mi tenhle nástroj přijde vzhledem ke své komplexnosti přijde nevyužitelný ve formě, kdy by se vyplatil.

Nejvýraznějšími limitacemi mé práce je nekompletnost modelu a omezené znalosti v údržbě letadel. První spočívá ve faktu, že pro na tvorbu modelu bylo omezené množství času, nebylo tak možné zpracovat jej kompletně. Celý dokument je tvořen více než tisícem stran, takže je jeho zpracování velmi časově náročné. Druhou zmíněnou je skutečnost, že jsem nebyl ani přes maximální pečlivost schopen zadávat data se stoprocentní přesností.



5. Závěr

Význam této práce spočíval v zjištění využitelnosti detailních dat z Manuálu údržby letadel při automatizaci plánování údržby. Data jsou totiž sice mnohdy dostupná i v elektronické podobě, ale ne formě, která umožňuje plně využít jejich potenciál. Tato data však velmi často mohou obsahovat informace, které jsou při plánování využitelné a mohou sloužit k výraznému zlepšení efektivity celého procesu plánování. Automatizace může kromě vyšší efektivity a zisku provozovatele přispět i ke zvýšení bezpečnosti, která je v letecké dopravě prioritní. Cílem této práce bylo nejprve vytvoření optimální struktury pro vytvoření modelu na základě, kterého bylo možné data strukturovat do podoby využitelné ke tvorbě aplikace pro automatizaci. Po vytvoření finálního konceptuálního modelu bylo nutné provést jeho verifikaci, zda jsou data ve funkční podobě. Verifikací, kterou provedla Fakulta elektrotechnická byla potvrzena funkčnost a správnost modelu. Omezením bránícím ve větším rozvoji automatizace je jednoznačně náročnost zpracování dat do požadované podoby, což je vzhledem k objemu těchto dat velmi komplikované. Navíc je náročné i z hlediska času.

Na základě úspěšné verifikace konceptuálního modelu jsem přesvědčen, že může být v budoucnu součástí kompletního plánovacího software. Věřím, že automatizace rutinních činností je tou správnou cestou a doufám, že bude tento směr nadále rozvíjen. Jedná se sice nejprve o velkou investici, ale slouží nejen ke zvyšování budoucích výdělků, ale hlavně bezpečnosti.



6. Seznam použité literatury

- [1] PALMER, Richard. *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. 2. vydání. New York: McGraw-Hill, 2006. ISBN 9780071784115.
- [2] ŽEŽULA, Jiří. Provoz a údržba letadel. *Flying revue* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.flying-revue.cz/provoz-a-udrzba-letadel>
- [3] ARLOW, Jim a Ila NEUSTADT. *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objektivě orientovaná analýza a návrh prakticky*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-802-5115-039.
- [4] *The A, C and D of aircraft maintenance* [online]. 2016 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.qantasnewsroom.com.au/roo-tales/the-a-c-and-d-of-aircraft-maintenance/>
- [5] BOEING. *Training Manual 737-600/700/800/900:CHAPTER 21 AIR CONDITIONING AND PRESSURIZATION*. 2020.
- [6] BOEING. *Aircraft Maintenance Manual 737-600/700/800/900:CHAPTER 21 AIR CONDITIONING AND PRESSURIZATION*. 2021.
- [7] *Maintenance Control* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.swiss-as.com/amos-mro/modules/maintenance-control>
- [8] *Material Management* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.swiss-as.com/amos-mro/modules/material-management>
- [9] *Engineering* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.swiss-as.com/amos-mro/modules/engineering>
- [10] *Planning* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.swiss-as.com/amos-mro/modules/planning>
- [11] ČÁPKA, David. *UML-Doménový model* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>
- [12] ČÁPKA, David. *UML - Class diagram* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-class-diagram-tridni-model>



- [13] MOBLEY, Keith. *Total Plant Performance Management: A Profit-Building Plan to Promote, Implement, and Maintain Optimum Performance Throughout Your Plant*. 2011. ISBN 9780123908452.
- [14] HUSÁKOVÁ, Martina. *Znalostní technologie* [online]. [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: https://lide.uhk.cz/fim/ucitel/fshusam2/lekarnicky/zt1/zt1_kap02.html
- [15] YAOHUA, Li 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), s 620-626 ISSN 1004731X.
- [16] CALLEWAERT, Pieter, Wim VERHAGEN a Richard CURRAN. *Integrating maintenance work progress monitoring into aircraft maintenance planning decision support* [online]. In: . Transportation Research Procedia, s. 58-69 [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.02.006>
- [17] SICHAO, Lv, Wang HUI a Sun WENZOU. *Research on optimization model and algorithm of aircraft maintenance plan based on improved genetic algorithm* [online]. 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
- [18] *Protégé* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://protege.stanford.edu/>
- [19] *OASES Modules* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://oases.aero/oases-modules/>
- [20] *Task numbering system* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257722996_Study_of_maintenance_task_generation_concept_model_to_virtual_maintenance
- [21] *Třída* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>
- [22] *Asociace* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>
- [23] *Agregace* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>



- [24] *Kompozice* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
<https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>
- [25] *Generalizace* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
<https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>
- [26] *Doménový diagram* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
<https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-domenovy-model-diagram>
- [27] *Složitější třída* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
<https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-class-diagram-tridni-model>
- [28] *Realizace* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
<https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-class-diagram-tridni-model>
- [29] *Asociační třída* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
<https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-class-diagram-tridni-model>
- [30] *Diagram tříd* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
<https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-class-diagram-tridni-model>
- [31] *Ontologie* [online]. In: . [cit. 2022-08-08]. Dostupné z:
https://lide.uhk.cz/fim/ucitel/fshusam2/lekarnicky/zt1/zt1_kap02.htm