



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA DOPRAVNÍ

**HODNOCENÍ VARIABILITY PROCESU
BEZPEČNOSTNÍ KONTROLY CESTUJÍCÍCH
NA LETIŠTI**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

Bc. Jakub Havlíček



K621**Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jakub Havlíček

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Hodnocení variability procesu bezpečnostní kontroly cestujících na letišti**

Název tématu (anglicky): Variability Evaluation of Airport Passengers Security Process

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cíl práce: Návrh hodnocení variability procesu bezpečnostní kontroly cestujících na letišti s využitím metody FRAM
- Analýza postupů bezpečnostní kontroly cestujících letišť
- Analýza metody funkčního popisu a teoretického hodnocení variability výkonnosti procesu bezpečnostní kontroly (FRAM)
- Vytvoření funkčního modelu FRAM bezpečnostní kontroly cestujících letišť
- Návrh hodnocení funkčního modelu FRAM
- Vyhodnocení celkového řešení



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Hollnagel, E. FRAM, the Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems, 2012.
Elias, B. Airport and Aviation Security, CRC Press, 2010.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Andrej Lališ, Ph.D.**
Ing. Roman Vokáč, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **17. července 2019**
(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 diplomové práce: **18. května 2020**
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 letecké dopravy



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

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

.....
Bc. Jakub Havlíček
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 17. července 2019

Poděkování

V této části práce bych chtěl poděkovat všem, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomohli s její realizací. Především bych chtěl poděkovat svým vedoucím diplomové práce Ing. Andreji Lališovi, Ph.D. a Ing. Romanu Vokáčovi, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné připomínky, cenné rady a vstřícnost při konzultacích.

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání 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 13.5.2020

podpis 

Bc. Jakub Havlíček

Abstrakt

Autor: Bc. Jakub Havlíček

Název diplomové práce: Hodnocení variability procesu bezpečnostní kontroly cestujících na letišti

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Rok vydání: Praha 2020

Počet stran: 84

Cílem této práce je navrhnout hodnocení procesu bezpečnostní kontroly cestujících a příručních zavazadel na letišti. Základem vyhodnocení je metoda funkční rezonanční analýzy (FRAM). Matematický aparát pro vyhodnocení navazuje na již realizovaný výzkum aplikování metody FRAM. Sledována je variabilita za podmínek času a přesnosti pro jednotlivé aktivity v systému a uvažovány jsou také vnější podmínky působící na systém. V rámci této práce je vytvořena aplikace, která představuje rozhraní mezi výpočty a uživatelem. Aplikace je vytvořena v prostředí a programovacím jazyku MATLAB s využitím jeho komponentu pro tvorbu grafického rozhraní GUIDE. Hlavní úkol aplikace je vyhodnocení bezpečnosti podle naměřených nebo náhodně vygenerovaných hodnot. Výsledky vyhodnocení ukazují rezonanční cesty v systému, které mohou být příčinou nečekaných událostí.

Klíčová slova: bezpečnostní kontrola na letišti, rezonance, variabilita funkcí, aplikace, FRAM, MATLAB, GUIDE

Abstract

Author: Bc. Jakub Havlíček

Title of the master's thesis: Variability Evaluation of Airport Passengers Security Process

University: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Year of Publication: Prague 2020

Pages: 84

The aim of this work is to design evaluation of the process of airport passenger and cabin luggage security check. The evaluation is based on the Functional Resonance Analysis Method (FRAM). The applied mathematics follows already carried out research of FRAM application. Variability for each system activity in terms of time and precision is monitored and the external conditions affecting the system are also considered. Within this work an application is developed, which represents the interface between the calculations and the user. The application is built in the environment and programming language of MATLAB with the use of GUIDE component for developing graphical interfaces. The main goal of the application is evaluation of security according to real or randomly generated inputs. The results of the evaluation show the resonance paths in the system, which can cause the unexpected events.

Key words: airport security check, resonance, variability of functions, application, FRAM, MATLAB, GUIDE

Obsah

Seznam použitých zkratk	5
Seznam obrázků	6
Seznam tabulek	7
Seznam příloh	7
Úvod	8
1 Motivace a cíl práce	10
2 Současný stav	12
3 Metodika	18
3.1 Safety-II	21
3.2 FRAM	22
3.2.1 Principy	22
3.2.2 Postup metody	23
4 Tvorba modelu	28
4.1 Rozlišovací úroveň	28
4.2 Definice funkcí	29
4.2.1 Popis funkcí	31
4.3 Definice aspektů	35
4.3.1 Definice výstupů	36
4.3.2 Definice ostatních aspektů	38
4.4 Kompletní model	41
5 Matematický postup vyhodnocení modelu	43
5.1 Definice sledovaných veličin	43
5.1.1 Sledované veličiny času	44
5.1.2 Sledované veličiny přesnosti	45
5.2 Přidělení skóre variability sledovaným veličinám	47
5.3 Definice zesilovacích efektů	49
5.3.1 Příklad určení zesilovacích efektů a výpočtu hodnoty CV	53
5.4 Podmínková variabilita	54
5.4.1 Výkonnostní podmínky	54
5.4.2 Scénáře	56
5.4.3 Výpočet podmínkové variability	57
5.5 Výpočet čísla VPN	58
6 Aplikace pro vyhodnocení	59
6.1 Funkce aplikace	59
6.1.1 Volba funkcí, výstupů a scénářů	60

6.1.2	Informační tlačítka	61
6.1.3	Zadávání dat.....	62
6.1.4	Vyhodnocení variability	63
6.2	Využití	66
6.3	Limitace	67
6.4	Diskuze výsledků.....	69
Závěr	77
Zdroje	79

Seznam použitých zkratek

Zkratky	Anglický název	Český název
ATM	Air traffic management	Uspořádání letového provozu
ATS	Automatic Train Supervision	Automatické řízení železniční dopravy
BDO	Behavioral Detection Officers	Bezpečnostní složka sledující podezřelé chování
BWI	Baltimore–Washington International	Mezinárodní letiště Baltimore–Washington
CV	Coupling variability	Variabilita vazby
ETD	Explosive Trace Detection	Detekce stopového množství výbušnin
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis	Analýza možného výskytu a vlivu módů selhání
FMV	FRAM Model Visualiser	Grafický návrhář modelu FRAM
FRAM	Functional Resonance Analysis Method	Metoda funkční rezonanční analýzy
GUIDE	Graphical User Interface Development Environment	Prostředí pro vývoj grafického uživatelského rozhraní
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
MORT	Management Oversight and Risk Tree	Řízení dozoru a strom rizik
OV	Output variability	Variabilita výstupu
RAG	Resilience Assessment Grid	Schéma k posouzení odolnosti
SPC	Scenario Performance Conditions	Výkonnostní podmínky
SPCI	Scenario Performance Conditions Impact	Vliv výkonnostních podmínek
STAMP	System-Theory Based Accident Model and Processes	Model nehod a procesů založený na systémové teorii
TSA	Transportation Security Administration	Úřad pro bezpečnost v dopravě
VPN	Variability Probability Number	Pravděpodobnostní číslo variability
WBI	Whole body imaging	Celotělový skener
WTMD	Walkthrough Metal Detector	Průchozí detektor kovů

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma stanoviště bezpečnostní kontroly [3].....	13
Obrázek 2 - Zobrazení funkce FRAM pomocí hexagonu.....	24
Obrázek 3 - Model FRAM funkcí bez aspektů	31
Obrázek 4 - Model FRAM se zadanými funkcemi a jejich výstupy.....	38
Obrázek 5 - Model FRAM a očíslované funkční tokové vazby	41
Obrázek 6 - Základní okno aplikace	59
Obrázek 7 - Volba funkce a výstupu v aplikaci.....	60
Obrázek 8 - Volba scénáře v aplikaci.....	61
Obrázek 9 - Blok Informace	61
Obrázek 10 - Blok Data.....	62
Obrázek 11 - Blok Vyhodnocení.....	63
Obrázek 12 - Příklad zobrazení pravděpodobnostního rozdělení variability času.....	63
Obrázek 13 - Příklad zobrazení grafu čísel VPN	64
Obrázek 14 - Příklad levé části tabulky ve spodní části okna aplikace	65
Obrázek 15 - Příklad levé části tabulky ve spodní části okna aplikace	66
Obrázek 16 - Příklad pravděpodobnostního rozdělení variability přesnosti.....	68
Obrázek 17 - Příklad grafu VPN pro vysoké hodnoty (vazba 3).....	70
Obrázek 18 - Příklad grafu VPN pro nízké hodnoty (vazba 1).....	70
Obrázek 19 - Příklad průměrných hodnot VPN pro vazbu 1.....	71
Obrázek 20 - Příklad průměrných hodnot VPN pro vazbu 3.....	71
Obrázek 21 - Nejkritičtější vazba (12) v systému	72
Obrázek 22 - Kritické vazby (shora 13, 17, 20 a 22).....	73
Obrázek 23 - Rezonanční cesty (Scénář 1).....	74
Obrázek 24 - Rezonanční cesty (Scénář 6).....	75

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Seznam funkcí	30
Tabulka 2 - Rozlišení funkcí podle jednotlivých agentů.....	30
Tabulka 3 - Seznam výstupů	37
Tabulka 4 - Skóre variability pro kategorie času.....	49
Tabulka 5 - Skóre variability pro kategorie přesnosti	49
Tabulka 6 - Účinky zesilovacích efektů	50
Tabulka 7 - Hodnoty zesilovacího efektu variabilit za podmínek času	51
Tabulka 8 - Hodnoty zesilovacího efektu variabilit za podmínek přesnosti	52
Tabulka 9 - Data pro ukázkový výpočet.....	53
Tabulka 10 - Tvar matice SPCI	54
Tabulka 11 - Významy hodnot z matice SPCI	55
Tabulka 12 - Matice SPCI vlivů podmínek na jednotlivé funkce.....	55
Tabulka 13 - Obecný tvar matice S.....	56
Tabulka 14 - Význam hodnot z matice S	56
Tabulka 15 - Matice S popisující jednotlivé scénáře.....	57
Tabulka 16 - Významy a intervaly barev VPN.....	65

Seznam příloh

Příloha 1 - Grafické znázornění modelu FRAM.....	81
Příloha 2 - Popis modelu FRAM pomocí tabulky	82
Příloha 3 - Základní okno aplikace k vyhodnocení.....	83
Příloha 4 - Formulář pro zadávání dat.....	84

Úvod

Letecká doprava přepravuje každým rokem více a více cestujících. Organizace sdružující letecké dopravce IATA uvádí, že stávající trend naznačuje, že počet přepravených cestujících za rok by se mohl z roku 2017 na rok 2037 zvýšit až dvojnásobně, tedy ze 4.1 miliardy na 8.2 miliardy. [1] Civilní letectví může být terčem teroristických útoků nejen kvůli velkému počtu cestujících koncentrujících se na letištích a velkému počtu v jednotlivých letadlech, dalším důvodem může být také nezákonné zmocnění se letadla a použití ho k útoku na pozemní cíle jako tomu bylo 11. září 2001. Především kvůli sérii těchto nejzávažnějších útoků je civilní letectví na teroristické útoky citlivé, jelikož vážně působí na lidskou psychiku a vyvolávají strach. Aby se podobné útoky už nikdy neopakovaly, musí být bezpečnost v civilním letectví neustále prioritou.

Bezpečnostní postupy a technologie v letecké dopravě musí být na vysoké úrovni a aktuální podle platné legislativy. Standardy a doporučení vydává organizace ICAO ve formě devatenácti Annexů, na jejichž základě si členské státy vytváří své národní legislativní dokumenty. Ochrana civilního letectví před protiprávními činy se věnuje konkrétně Annex 17. Každému členskému státu je podle něj doporučeno zajistit bezpečnostní kontroly a procesy všude tam, kde je to možné. Dosaženo by toho navíc mělo být takovým způsobem, aby běžný provoz byl narušen pouze minimálně a aby kontroly nezpůsobovaly zpoždění dopravních služeb. Při zajišťování efektivity bezpečnostních kontrol musí být zároveň zachována jejich kvalita. [2] Z toho plyne, že při bezpečnostní kontrole by se měly sledovat a vyhodnocovat parametry efektivity a kvality. Pojem efektivita bude v této práci popisovat především rychlost a potřebný čas na odbavovací proces a pojem kvalita bude popisovat úspěšnost kontrol a schopnost odhalit zakázaný předmět či jinou hrozbu. Existuje několik způsobů, jak efektivitu či kvalitu můžeme ovlivnit.

Zvýšit úroveň efektivity můžeme tak, že zkrátíme čas potřebný k procesu bezpečnostní kontroly. Docílit toho můžeme například použitím modernějších technologií, které celý proces mohou urychlit. Mezi tyto technologie patří automatické tratě, celotělové skenery nebo přístroje na detekci výbušnin. Trend budoucího směřování modernějších technologií je takový, že by měly pracovat rychleji nebo umožňovat rychlejší pracovní postupy a zároveň by měly pracovat přesněji a odhalit tak hrozby lépe než starší přístroje. Znamená to, že pravidelné investování do nových technologií by mělo zlepšit oba dva sledované parametry. Pozitivně na oba by také mohl působit vyšší počet zaměstnanců. Nedostatek zaměstnanců totiž neumožňuje otevření potřebného počtu

stanovišť ke kontrole, který rozděljuje tok cestujících a urychluje odbavení jejich celkového počtu. Zaměstnanci navíc mohou být také využiti k dodatečné kontrole, větší počet kontrol by na úkor efektivity naopak zvýšil pravděpodobnost odhalení hrozby. Záleží tedy na tom, jak je pracovní síla rozdělena a jaké úkoly jsou zaměstnancům přiděleny. Kvalita kontroly se dá ovlivnit dále věnováním pozornosti zaměstnancům, a to ve smyslu pravidelných školení nebo kontrolování práce v provozu pomocí auditů. Dalším způsobem, jak proces bezpečnostní kontroly ovlivnit, je pomocí pracovních postupů. Uplatnění mírnějších pracovních postupů bude mít za následek, že proces bude urychlen, a to proto, že požadavky na kontrolu budou minimální. Na druhou stranu ale kvalita procesu bude nedostatečná. Zlepšit ji bude možno implementací naopak přísnějších postupů, pomocí kterých dostatečné kvality dosáhneme, ale efektivitu snížíme. Sledované parametry se dají tedy ovlivňovat mimo jiné pomocí nastavování pracovních postupů a legislativních předpisů.

V dnešní době, kdy počty cestujících a jednotlivých letů stále rostou, je potřeba, aby odbavení cestujících proběhlo co možná nejrychleji a nedocházelo ke zpoždění letů. Tok cestujících v procesu bezpečnostní kontroly, který do odbavení také spadá, musí probíhat plynule a svižně. Pokud budeme ale na efektivitu dbát přespříliš a budeme se snažit minimalizovat čas průběhu bezpečnostního odbavení, nemusí být dodržena předepsaná úroveň kvality kontroly. Zodpovědné orgány musí zajistit, aby se do vyhrazeného prostoru letiště, a tedy i na palubu letadla, nedostaly žádné zakázané předměty a civilní letectví tak bylo chráněno před protiprávními činy.

1 Motivace a cíl práce

Při bezpečnostní kontrole mě pro potřeby zpracování této práce nejvíce zajímá její efektivita a kvalita. Je třeba najít ideální kompromis mezi těmito dvěma sledovanými faktory. Priorita bezpečnostního odbavení je ale stále zajištění bezpečného vyhrazeného prostoru a ochrana civilního letectví. Technologie moderního světa mohou přinášet různé nové hrozby, kterým musí bezpečnostní kontrola čelit. Je tedy třeba neustále procesy sledovat a vyhodnocovat. Analytické týmy by měly používat různé bezpečnostní modely, výpočetní techniku a moderní přístup.

Ve své diplomové práci jsem se rozhodl k práci analytických týmů vyhodnocujících parametry bezpečnostní kontroly přispět. Data v provozu se dají měřit jednoduchým způsobem. Zapisovat se mohou časy jednotlivých dílčích procesů, počty různých kontrol, různé pozorovatelné parametry nebo se mohou sbírat data o proběhlých auditech. Dotazováním můžeme získat další dodatečné informace o konkrétních cestujících. Zmíněná data mohou zaznamenávat pracovníci přímo v provozu nebo mohou být sbírány automaticky, například počty cestujících pomocí turniketů u stanoviště kontroly cestovních dokumentů. Aby získaná data nezůstala nevyužita a poskytla cenné informace o sledovaném systému, je třeba je analyzovat a vyhodnotit. K těmto účelům se používají různé statistické výpočty a bezpečnostní modely. Výsledky slouží k nalezení slabých míst ve sledovaném systému a následnému vylepšení, například pomocí změn pracovních postupů.

Mým cílem je pomocí vhodného nástroje vytvořit model procesu bezpečnostního odbavení cestujících. Bude se jednat o obecný model použitelný pro bezpečnostní kontrolu cestujících na libovolném letišti, kde jsou v platnosti ICAO standardy z Annexu 17. Tento model by měl na zvolené úrovni zahrnovat veškeré činnosti a aktivity spadající do procesu bezpečnostní kontroly cestujících a jejich příručních zavazadel. Dalším krokem po vytvoření modelu bude definování potřebných proměnných. Hodnoty těchto proměnných mohou být naměřeny v provozu nebo vygenerovány pomocí výpočetní techniky. S pomocí vhodného programu provedu výpočty, jejichž výsledky budou popisovat jednotlivé části sledovaného systému.

V praktické části práce bude vytvořena aplikace, ve které budou výpočty probíhat a která bude navíc představovat rozhraní mezi výpočty a uživatelem. Aplikace bude vytvořena proto, aby byl uživatel schopen do výpočtů zasahovat. Uživatel bude schopen zjistit detailnější informace o výpočtu, částech systému a datech, zobrazit výsledky pro

konkrétní části systému, ale především se bude moci rozhodnout, jestli zadá vlastní naměřená data nebo jestli bude aplikace počítat s daty vygenerovanými. V neposlední řadě bude mít uživatel přístup k modelu, ze kterého se bude aplikace vycházet.

Výsledkem této práce bude tedy aplikace, jejíž hlavním úkolem bude na základě modelu, naměřených nebo vygenerovaných dat a ovlivňujících faktorů ukázat kritická místa celého systému. Aplikace bude mít navíc vedlejší funkce především informativního charakteru, pomocí kterých může uživatel získat detailní údaje.

Existující simulační nástroje se zaměřují především na předpovědi toků cestujících, plánování pracovní síly, využití maximální možné kapacity aktuálního stanoviště a průchodnost. Příkladem takového nástroje je CAST. Aplikace k vyhodnocení v této práci se od běžných simulačních nástrojů jako CAST odlišuje především jiným přístupem a metodikou. Výsledků mojí aplikace je totiž dosaženo s využitím modelů, které se běžně aplikují na vyhodnocení provozní bezpečnosti (safety). Konkrétně se bude jednat o modely opírající se o relativně nový koncept Safety-II, který se oproti staršímu přístupu Safety-I liší v několika aspektech, dokonce i v samotné definici bezpečnosti. Pro zamýšlené vyhodnocení vybraného systému v této práci je použitelný pouze modernější přístup Safety-II, jelikož koncept Safety-I se zaměřuje především na hledání příčin selhání. Pro vyhodnocení bezpečnostní kontroly je ale důležitý proaktivní přístup, který zastává právě Safety-II. Posun v safety ke konceptu Safety-II poskytuje možnosti pro využití nových modelů a nových metod k vyhodnocování bezpečnosti. Tyto prostředky přichází se systémovým pohledem a tento v práci hodlám využít. Vyhodnocení safety i security si jsou blízké a stejně tak, jako byl dříve využíván koncept Safety-I na vyhodnocení security, je možné aplikovat na security i nový přístup Safety-II. Myslím si, že aplikováním tohoto přístupu k vyhodnocení security mohu dosáhnout stejně dobrých výsledků jako bylo dosaženo v kvalitě provozní bezpečnosti. Tento přístup může odhalit například některá slabá místa v systému, která běžným simulačním nástrojům mohou unikat.

2 Současný stav

V současnosti je kontrolováno vše, co směřuje do bezpečnostního vyhrazeného prostoru letiště, a tedy i na palubu letadla. Oproti kontrolám cestujících a jejich příručních zavazadel, kterým se budu ve své práci věnovat, probíhají například také kontroly zapsaných zavazadel, kontroluje se cargo a také posádky a jejich příruční zavazadla.

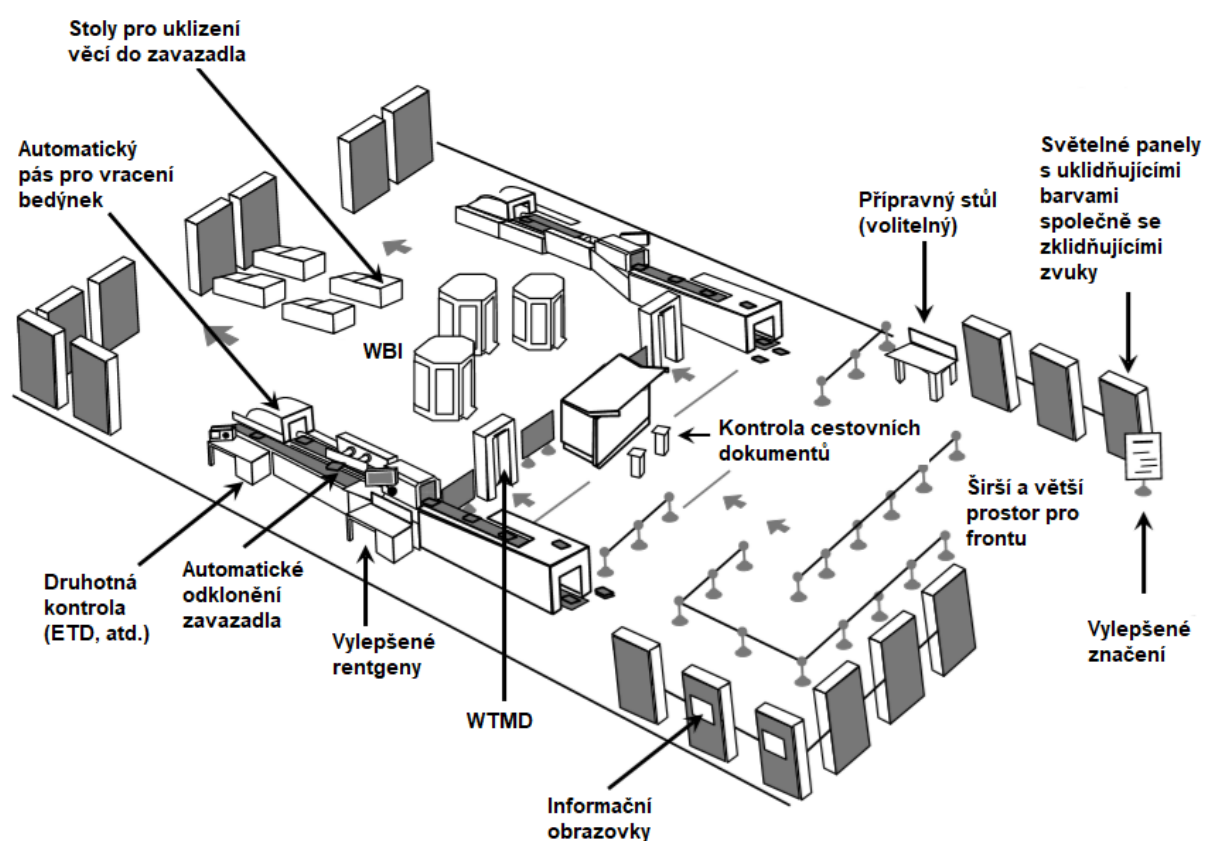
Bezpečnostní kontroly musely být po sérii útoků 11. září 2001 zpřísněny po celém světě. Důkladnější kontroly způsobily delší čekací časy na stanovištích kontroly. Odhalování hrozeb u cestujících a v jejich zavazadlech je hlavním úkolem bezpečnostní kontroly, ale vysokou prioritu má také rychlost kontroly. Úřad pro bezpečnost v dopravě TSA si tedy stanovila cíl, aby časy strávené u bezpečnostní kontroly průměrného cestujícího nepřesahovaly deset minut. Cíle deseti minut však nesmí být dosaženo na úkor kvality kontroly. Rovnováhy mezi vysokou úrovní kvality kontroly a snesitelným časem stráveným při průchodu bezpečnostní kontrolou se dá docílit správným nastavením pracovních postupů a strategií, čehož se snažíme dosáhnout i v dnešní době. [3]

I přesto, že hranice deseti minut byla zpravidla dodržena, na 50 největších letištích časy hranici překračovaly, a to především ve špičkách provozu. Různé počty cestujících v různých časových úsecích dne vyžadují otevření ideálního počtu bezpečnostních stanovišť. K rozhodnutí, kolik stanovišť bude v daný čas v provozu, je potřeba dobře odhadnout počet cestujících pro daný časový úsek, znát maximální hodinovou kapacitu jednotlivých odbavovacích stanovišť a mít určený cíl průměrného čekání jednoho cestujícího. Odhady počtů cestujících v časových intervalech se mohou s menší přesností určovat podle ročních předpovědí nebo podle plánů jednotlivých leteckých společností, pokud jsou poskytnuty. Cíl, kterého má být dosaženo, si určuje provozovatel bezpečnostní kontroly. Má možnost přihlídnout k doporučením mezinárodních organizací jako například IATA. Počty otevřených přepážek by se měly dynamicky měnit podle požadavků provozu tak, aby pracovní síla byla využita efektivně. Dále by pro zvládnutí špičky v provozu měl být správně navrhnout prostor pro tvoření fronty. K tomu je třeba navíc nastavit požadovanou hodnotu velikosti prostoru pro jednoho cestujícího. [3]

Podle organizace IATA by ideální čas strávený u bezpečnostní kontroly pro cestujícího ve třídě economy měl být průměrně 5–10 minut a prostor pro jednoho takového cestujícího 1.0–1.2 metrů čtverečních. [4]

Správný návrh stanoviště bezpečnostní kontroly hraje velkou roli při zlepšování celkové výkonnosti procesu, zvyšuje šanci pro odhalení bezpečnostní hrozby a zvyšuje efektivitu kontroly. Důležité je zastoupení přístrojů pro všechny potřebné účely bezpečnostní kontroly. Potřebná kvalita kontroly může být dodržena pouze tehdy, když veškeré technologie budou pro svůj účel certifikované. Dále se také hledí na velikosti prostoru pro frontu cestujících a prostoru, kde probíhá bezpečnostní kontrola. Některá letiště mohou být omezena prostorem a nemusejí být schopna stanovená doporučení dodržet. To může mít za následek vytvoření davu lidí, který se může stát cílem teroristického útoku. Ve velkém davu je také složitější pro specializované složky BDO (Behavioral Detection Officers) odhalit osoby s podezřelým chováním. [3]

V březnu 2008 spustila TSA program vylepšeného stanoviště bezpečnostní kontroly. Jedním z důvodů byl fakt, že kontrolní stanoviště bylo od sedmdesátých let takřka nezměněno. V dubnu stejného roku vstoupil do provozu první prototyp, který se objevil na Terminálu B letiště BWI (Baltimore–Washington International). [3] Zmiňované bezpečnostní stanoviště zavedené v roce 2008 je zobrazeno na následujícím obrázku (Obrázek 1).



Obrázek 1 - Schéma stanoviště bezpečnostní kontroly [3]

Podobné rozmístění prvků bezpečnostní kontroly je uplatňováno dodnes. Na jednotlivých letištích ve světě se mohou objevovat určité odlišnosti nebo různé konfigurace přístrojů, ale jádro tohoto typu stanoviště je používáno stejné. Konkrétně v Praze na Letišti Václava Havla se na rozdíl od obrázku (Obrázek 1) přepážka kontroly cestovních dokumentů nachází před řazením cestujících do fronty.

Dalším rozdílem je absence celotělových skenerů WBI (Whole Body Imaging) na většině stanovišť. Letiště v Praze ale přístroje na celotělové skenování osob plánuje. Z veřejného výběrového řízení vyplývá, že počet zakoupených přístrojů bude 15 kusů, minimálně by se však mělo jednat o 7 kusů. [5]

Aktuálně jsou používány průchozí detektory kovu, které jsou primárním způsobem kontroly cestujících již od 70. let. Tyto přístroje WTMD (Walkthrough Metal Detector) fungují na principu generování magnetického pole a měření změn v něm, které jsou způsobené přítomným kovem. Alternativou k nim se mohou stát celotělové skenery WBI, které stejně jako přístroje WTMD mají své výhody a nevýhody. [3]

Celotělové skenery také umožňují odhalit cizí předměty na lidském těle. Na rozdíl od průchozích detektorů kovu mohou celotělové skenery zachytit i nekovové předměty, a to díky odlišnému principu fungování. Místo sledování změn v magnetickém poli vytvářejí obrazy lidí a cizích předmětů pomocí rentgenového záření nebo milimetrových vln. Znamená to, že jsou schopné zachytit i výbušniny na těle cestujících pod oblečením. Technologie WBI je i přes tuto výhodu kontroverzní a společnost ji přijímá pomalu, a to z toho důvodu, že celotělové skenery mohou zobrazit kontrolovanou osobu bez oblečení a dochází tak ke ztrátě soukromí. K zamezení zneužití možnosti zobrazení cestujících bez oblečení existuje řada opatření. První z nich je zobrazení pouze siluety kontrolované osoby případně s indikací místa, kde se objevuje cizí předmět. Další opatření představuje sledování snímků ze skeneru ze vzdáleného pracoviště, takže zaměstnanec si siluetu cestujícího nespojí s konkrétní osobou. V neposlední řadě mají cestující možnost zvolit si kontrolu pomocí WTMD nebo fyzickou kontrolu od zaměstnance. [3]

Dalším přístrojem, který se v dnešní době používá a na Obrázku 1 je součástí druhotné kontroly, je přístroj na detekci stopového množství výbušnin (ETD). Používá se k odhalení stopového množství výbušnin v chemickém složení vzorku páry nebo částic získaných z cestujících, z příručních a zapsaných zavazadel nebo také z carga. Používá se při druhotných kontrolách cestujících a v dodatečných kontrolách zavazadel, které k této kontrole byly vybrány. Přístroje ETD mohou fungovat na různých principech, mezi které patří například hmotnostní spektrometrie, plynová chromatografie, chemiluminescence

nebo iontová mobilní spektrometrie. ETD technologie mohou být součástí různých detekčních přístrojů jako jsou například skenery ke kontrole tekutin nebo průchozí ETD portály. [3]

První zmíněný ETD přístroj z předchozího odstavce je skener ke kontrole tekutin, který vstoupil do provozu z důvodu odhaleného záměru propašování tekuté výbušniny na palubu letadel v srpnu 2006 ve Velké Británii. Po odhalení bylo nejdříve zakázáno pronášení veškerých tekutin do vyhrazeného bezpečnostního prostoru na několik týdnů. Mezi několik výjimek, které TSA stanovila, patřilo dětské mléko nebo tekuté léky. Později v září stejného roku byla zavedena volnější opatření, která dovolují cestujícím nést s sebou na palubu letadla omezené množství tekutin. Opatření bývá nazýváno „3-1-1“ a odkazuje na limit tekutin, který je v příručním zavazadle povolen, tedy maximálně *tři* unce na nádobu v plastovém uzavíratelném sáčku o objemu *jeden* americký quart pro *jednu* osobu. Koncept 3-1-1 přijaly po TSA následně také Evropská unie a několik dalších států, aby byly bezpečnostní požadavky na letištích ve světě sjednoceny. V EU je omezení pro jednu osobu 100 ml na nádobu a 1 litr na objem sáčku. Namísto technologie ETD se dá ke kontrole tekutin v nádobách bez potřebného kontaktu se vzorkem tekutiny použít například také ultrazvuk, rentgenové záření nebo technika elektromagnetické rezonance. [3]

Další zmíněné ETD přístroje, které existují, jsou průchozí ETD portály. Testování těchto přístrojů bylo zahájeno v roce 2004. Přístroje po ofouknutí cestujících sbírají a analyzují vzorky vzduchu a testují přítomnost stopového množství výbušnin. Po problémech se spolehlivostí těchto přístrojů se TSA začala soustředit na již popsané systémy WBI. [3]

Ke kontrole příručních zavazadel se používají zobrazovací systémy s použitím rentgenového záření. Existují klasické rentgenové zařízení a zařízení využívající zpětný rozptyl rentgenového záření. Oproti klasickým rentgenovým přístrojům, které měří pohlcování záření různými materiály, technologie založené na zpětném rozptylu měří rozptyl nebo odraz paprsků od skenovaných materiálů. Nevýhodou klasických rentgenů při rozpoznávání organických hmot je menší absorpce rentgenového záření skenovanými materiály. Zpětný rozptyl je tedy schopný lépe odhalit organické výbušniny. I přesto pro kontrolu příručních zavazadel preferuje TSA více používání klasických rentgenů s vysokým rozlišením schopných několika pohledů než používání rentgenů fungujících na zpětném rozptylu. [3]

Na Obrázku 1 je vidět, že přeprava příručních zavazadel do a z rentgenu probíhá po pásu na tratích s automatickým odkloněním zavazadla a automatickým vracením bedýnek.

Odklonění zavazadla slouží k oddělení zavazadel bez problému a zavazadel vybraných k druhotné kontrole například z důvodu podezření na nebezpečný předmět. Druhotná kontrola zahrnuje fyzické dohledání předmětů v zavazadle a provedení testu na přítomnost stop výbušných látek pomocí ETD technologií. Zkontrolovaná neodkloněná zavazadla pokračují dále po trati k vyzvednutí cestujícími. Automatické vracení bedýnek má funkci sledování a zkontrolování bedýnky, zda je prázdná. Pokud v bedýnce zůstanou i malé předměty jako mince, systém může upozornit cestujícího. Dokud bedýnka není úplně prázdná, není vrácena zpět na začátek trati. Tato vlastnost přepravních pásů snižuje pracovní zatížení bezpečnostních pracovníků a urychluje průchod bezpečnostní kontrolou. Bedýnky se totiž vrátí ihned a bezpečnostním pracovníkům je ulehčena práce o hromadění bedýnek a odnášení nebo odvážení na začátek kontroly. [3]

Letiště Praha automatické tratě zavedlo v červnu roku 2018 na Terminálu 2. Jedná se o centrální bezpečnostní odbavení cestujících do zemí schengenského prostoru a s novými automatickými tratěmi se otevřelo celé nové stanoviště bezpečnostní kontroly. Nové tratě disponují vlastnostmi, které byly popsány v předchozím odstavci, a to automatické odklání zavazadel k sekundární kontrole a automatické vracení bedýnek, které mají větší objem než předchozí. Navíc se mohou na začátku tratě připravovat až tři cestující zároveň, což průběh kontroly značně urychluje. Celé bezpečnostní stanoviště je schopno odbavit větší počet cestujících za hodinu a hodinová kapacita je tedy také vyšší než na bývalém stanovišti bez automatických tratí. Společně s oznámením otevření nového bezpečnostního stanoviště oznámilo pražské letiště také jeho plánovaný budoucí rozvoj, který může být realizován zakoupením celotělových skenerů, které mohou doplnit nebo nahradit dosavadní průchozí detektory kovů. Nové stanoviště je vybaveno osmi automatickými tratěmi a šesti manuálními. [6]

Stejně jako na Obrázku 1 tak i na novém centrálním bezpečnostním odbavení Terminálu 2 na letišti v Praze jsou prvky usnadňující cestujícím proces kontroly. Jedná se o stoly před a za bezpečnostní kontrolou.

První stůl slouží k přípravě cestujících ještě před přistoupením k samotné kontrole. Zde si mohou zorganizovat své věci, zbavit se nepotřebných věcí nebo zakázaných předmětů, vyprázdnit lahve s nápoji nebo si připravit tekutiny do plastového uzavíratelného sáčku. Toto stanoviště umožňuje připraveným cestujícím přistoupit ke kontrole přednostně a ostatní si svá zavazadla mohou připravit v klidu mimo frontu, což bezpečnostní odbavení urychluje. Naopak za kontrolou se nachází stoly poskytující cestujícím prostor k uklizení svých věcí, které před kontrolou deklarovali nebo jim byly

ze zavazadla vyndány. Toto stanoviště dává cestujícím opět možnost nehromadit se v prostoru za bezpečnostní kontrolou a umožňuje jim tak plynulejší odchod ze stanoviště. [3]

Posledním prvkem z Obrázku 1, který ještě nebyl zmíněn, je prostor pro tvoření fronty. Zde se pro lepší orientaci a informovanost cestujících nachází informační obrazovky a značení. Pokyny cestujícím mohou být také podávány hlášením z reproduktorů. Cestujícím se zde připomene, jakým způsobem připravit své zavazadlo a tekutiny, jak se připravit na průchod bezpečnostní prohlídkou a celkově jak se na tomto stanovišti chovat. [3]

Důsledkem širších prostorů pro tvoření fronty je oproti regulaci toku cestujících také to, že se nevytváří příliš velký dav lidí. Velká koncentrace cestujících se může stát cílem teroristických útoků, jelikož se stále jedná o prostor před bezpečnostní kontrolou. Oddělení prostoru před kontrolou od prostoru veřejného pomocí stanoviště kontroly palubních vstupenek a cestovních dokladů může snížit riziko útoku na koncentrovaný dav lidí. Stanoviště validace palubních vstupenek před řazením cestujících před bezpečnostní kontrolou je zavedeno například na letišti v Praze.

Bezpečnostní složky BDO mají při větším prostoru lepší možnost sledování cestujících a hledání osob s podezřelým chováním. K tomu jim také napomáhá vytváření klidnějšího prostředí, ve kterém se nebezpečné záměry a podezřelé chování dá odhalit lépe. Společně s jednodušší detekcí nebezpečných osob jsou dalšími výhodami klidnějšího prostředí uvolnění časového napětí u bezpečnostních pracovníků, omezení jejich rozptýlení a tím i zvýšení jejich výkonu. Klidnějšího prostředí se dá docílit instalací panelů v klidných barvách, vhodného osvětlení doplněno o uklidňující zvuky či hudbu. [3]

3 Metodika

Jelikož je bezpečnost (security) parametr, který v našem systému sledujeme, je možné ho vyhodnotit různými způsoby. Vývoj nahlížení na bezpečnost se v průběhu historie měnil. V počátcích sledování bezpečnosti se vnímal především technický stav přístrojů a vybavení, později se postupně přidávaly lidské faktory, organizační faktory a řídicí mechanismy. Dnes je pohled na bezpečnost velice komplexní záležitostí, jelikož nás zajímají všechny zmíněné faktory. Díky tomu, že bezpečnosti, jak safety tak security, věnujeme čím dál tím větší pozornost, se počty nehod i katastrofálních nehod rapidně snížily. Za poslední dekádu se jedná konkrétně o snížení z 4,07 (k roku 2009) na 2,66 (k roku 2019) nehody na jeden milion letů. Lepší statistiku měl jen rok 2016 s číslem 2,15 nehody na jeden milion letů. [7]

Minimální počty nehod jsou výsledkem aktivního sledování bezpečnostní situace, sbíráním dat a jejím následným vyhodnocováním, čehož bývá dosaženo použitím bezpečnostních modelů. Mezi několik důvodů, proč je nutné využívat moderního přístupu, patří rychlý vývoj nových technologií, nové typy hrozeb, vysoká komplexnost systémů nebo také nízká tolerance k nehodovosti. Jedním z dalších důvodů je omezená možnost získávání nových dat. Nové zkušenosti nemůžeme nabývat paradoxně z toho důvodu, že naše systémy jsou čím dál bezpečnější. Čím méně nehod se vyskytne, tím méně informací máme a nemůžeme tak s jistotou říct, jestli je náš systém bezpečný. [8]

Postupem času vznikaly nové bezpečnostní modely s různými přístupy. V následujícím odstavci popíšu několik modelů, které se používaly nebo používají. Existují technické modely, modely sledující lidský faktor, organizační modely a systémové modely. Z jedné z těchto čtyř kategorií si pro svou práci vyberu jeden konkrétní model a na základě něj vypracuji aplikaci k vyhodnocení stavu systému podle generovaných nebo měřených dat.

Příkladem technického modelu je FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), která popisuje a analyzuje systémy technického charakteru a zastává koncept Safety-I. Důvodem k využívání modelu FMEA je několik, například se jedná o vyhodnocení současného stavu, posouzení rizika a dosažení bezpečného a spolehlivého systému. Do kategorie modelů popisující lidský faktor spadá například Reasonův model, který je opět založen na konceptu Safety-I. Člověk je podle Reasonova modelu vnímán jako slabý a chybující článek systému a rizikům se předchází tvorbou bariér. Dále existují také kategorie organizačních modelů, mezi které patří například MORT (Management Oversight and Risk Tree). Ten zastává také přístup Safety-I a představuje metodu pro

analýzu specifických událostí, které pramení v organizačních faktorech. Cílem analýzy MORT je vyšetřit pomocí diagramu, jak byly konkrétní části systému vystaveny riziku a jak se jim může předejít pomocí změn na organizační úrovni. Poslední kategorie modelů jsou systémové modely, ty využívají principů konceptu Safety-II a popisují systém jako celek. Příklady systémových modelů jsou FRAM (Functional Resonance Analysis Method), RAG (Resilience Assessment Grid) nebo STAMP (System-Theory Based Accident Model and Processes). [9] [10] [11]

Model FMEA ani žádný jiný technický model nebyl vybrán pro mou práci, jelikož jejich základem je dekompozice systému, což není vhodný přístup pro typ vybraného systému. V systému bezpečnostní kontroly totiž mohou rizika plynout i z emergence. Stejně jako technické modely nebyla vybrána ani kategorie modelů popisující lidský faktor, protože na vybraný systém bezpečnostní kontroly působí mnohem více faktorů než jen člověk. Organizační modely vybrány také nebyly, protože jsou stejně jako jejich zástupce model MORT využívány pro šetření proběhlých událostí. Zvolený systém bezpečnostní kontroly je ale třeba vyhodnocovat proaktivním způsobem.

Popis systému pomocí pouze specializovaných modelů by byl neúplný a modely tak nejsou vhodné pro zamýšlený výsledek mé práce. Modely soustředící se pouze na jeden parametr, technický, sociální či organizační, jsou vhodné především tehdy, když nás vliv ostatních parametrů nezajímá. V rámci bezpečnostní kontroly se dají specializované modely aplikovat například na konkrétní subsystém a ten následně vyhodnotit.

Rozhodl jsem se, že ve své práci využiji model s komplexním přístupem nahlížející na celý systém. Bude se tedy jednat o kategorii systémových modelů. Systémový model vyberu s ohledem na systém, který budu vyhodnocovat, což je bezpečnostní kontrola cestujících a jejich příručních zavazadel na letišti. Jedná se tedy o složitý sociotechnický systém, takže je třeba zohlednit jak ovlivňující lidský faktor, tak i použité přístroje a vybavení stanoviště. Systémové modely umožňují zohlednit také organizační a řídicí faktory, které by v popisovaném systému bezpečnostní kontroly neměly být zanedbány.

Systémový model byl navíc upřednostněn z toho důvodu, že oproti zbylým kategoriím využívá koncept Safety-II. Hlavní výhodou Safety-II je především to, že vstupem do vyhodnocení modelu budou hodnoty z každodenního provozu, které jsou podle této teorie zodpovědné za správné i špatné chování systému. Přístup Safety-I se totiž nepozastavuje nad tím, proč mají jednotlivé komponenty na systém dobrý vliv, zaměřuje se pouze na špatné události, následně hledá příčinu a snaží se ji eliminovat. To je pro kvalitní vyhodnocení nedostačující. Dat z každodenního provozu, kdy systém pracuje

tak, jak má, můžeme získat mnoho. Oproti tomu dat o špatných událostech máme méně. Většinu času totiž systém pracuje normálně a mimořádné události se vyskytují pouze ojediněle. Data o dobrých událostech můžeme také získat kdykoliv, není třeba čekat na chybné chování systému. Více dat znamená přesnější výsledky, a proto byl zvolen přístup Safety-II. Podrobnější porovnání Safety-I a Safety-II bude uvedeno v následující podkapitole.

I přesto, že systémové bezpečnostní modely byly primárně vyvinuty pro vyhodnocování provozní bezpečnosti, tedy safety, v mé práci je budu aplikovat na bezpečnost security, tedy ochranu před protiprávními činy. Modely se dají zároveň využít na další systémové vlastnosti jako kvalita nebo výkonnost. Podmínkou pro použití je přítomnost emergence ve sledované vlastnosti systému. Emergentní vlastnosti nevznikají na základě výčtu jednotlivých komponent, ale díky jejich interakcím. Musí se na ně zároveň nahlížet s ohledem na všechny jejich technické a sociální aspekty. Systémové bezpečnostní modely jsou tedy použitelné i pro vyhodnocení bezpečnosti security, jelikož se jedná o emergentní vlastnost. [12]

Z celé kategorie systémových modelů byl vybrán konkrétně model FRAM (Functional Resonance Analysis Method). Tento model je totiž schopen popsat detaily nežádoucích jevů, například jak a kde v systému vznikají. Mezi systémové modely patří také RAG (Resilience Assessment Grid), který poskytuje návod, jak vytvořit odolný systém. Na rozdíl od modelu FRAM se tedy nejedná o analytický nástroj nežádoucích událostí, a proto nebyl vybrán. Dalším příkladem systémového modelu je STAMP (System-Theory Based Accident Model and Processes). Jedná se o model, který je schopen nežádoucí jevy v systému řídit, ale oproti modelu FRAM bohužel neposkytuje detaily o vzniku těchto jevů, což je cílem praktické části této práce, a proto také nebyl vybrán.

Výběr zvolené metody pro tuto práci také podpořilo několik studií. Ty na vyhodnocení security aplikovaly také metodu FRAM a k vyhodnocení security ji označují za vhodnou. Například v práci autorů Steen a Aven z roku 2011 [13] je analyzován kybernetický útok na železnici, který vyvrcholí ve střet dvou vlaků. Autoři potvrzují, že pro vytvoření efektivní analýzy rizik je FRAM velmi důležitý. Jiný článek autora Belmonte a dalších [14] ukazuje výhody použití modelu FRAM společně s tradičními analytickými security nástroji. Konkrétně je zde FRAM aplikován opět na železniční provoz za využití systému ATS (Automatic Train Supervision).

3.1 Safety-II

Postupem času se pohled na bezpečnost změnil a vznikl tak Safety-II, modernější přístup, který mění definici bezpečnosti a její vyhodnocování. Původní přístup Safety-I uvažoval pouze se dvěma možnými výstupy, a to akceptovatelný a neakceptovatelný. Zároveň nebyla vyřešena problematika lidského faktoru, s lidmi se nemůže totiž pracovat jako se stroji. Proto existují zvláště modely věnující se technické části systému a modely sledující lidské chování. Safety-I předpokládá, že pro každé selhání se dá najít příčina a vytvořením bariér se jí v budoucnosti předejde. Typický pro tento přístup je Heinrichův domino model, který od příčin a podmínek přes selhání jednotlivých zabezpečení pokračuje k odchylkám, nehodám, škodám na majetku, menším zraněním až ke katastrofickým scénářům. Ať se jedná pouze o malé odchylky nebo nejhorší scénáře, vždy je na začátku podle Safety-I určitá příčina nebo podmínka. Heinrichův model 300-29-1 udává poměr mezi nehodami různých závažností. Na jednu závažnou nehodu připadá 29 nehod s menšími následky a celých 300 situací, kdy došlo k ohrožení, ale nikoliv k nehodě.

Safety-II přichází s novým přístupem, kdy je na člověka nahlíženo jako na důležitou část celku, a ne pouze jako na strůjce nebezpečných situací. Člověk dokáže rozpoznat nebezpečí a řeší situaci na základě reálných podmínek. V některých případech může být člověk lepší bariérou než technologické zabezpečení a je tedy v systému nenahraditelný. Zároveň člověk umí přizpůsobit svou výkonnost dle aktuálních nároků. Bezpečnost se tedy zajišťuje sledováním, vyhodnocováním a přímým či nepřímým řízením lidské výkonnosti a její variability. Neočekávanou kombinací variabilit výkonnosti s negativními následky nazýváme rezonance, ta vzniká z důvodu emergence. Nejen nepříjemné hodnoty variabilit, ale i kombinace variabilit, které jsou v limitech, může vést k neočekávané události.

Mezi největší rozdíl, který Safety-II přináší, patří definice samotné bezpečnosti. Pro Safety-I je bezpečnost takový stav, kdy se objevuje co nejméně špatných událostí, pro Safety-II je to mnohem pozitivněji takový stav, kdy se objevuje co nejvíce událostí dobrých. Dále Safety-I uznává reaktivní způsob managementu bezpečnosti, oproti Safety-II způsob proaktivní, kdy se špatným událostem snaží předcházet. Safety-I vnímá člověka příliš jako zdroj nebezpečných stavů, Safety-II naopak jako nezbytnou součást systémů schopnou reagovat v souladu s aktuálními podmínkami a zajišťující flexibilitu a odolnost systému. [15]

3.2 FRAM

Bezpečnostní model, který zastává moderní přístup Safety-II, je Metoda funkční rezonanční analýzy, ve zkratce FRAM (Functional Resonance Analysis Method). FRAM je určen pro modelování komplexních sociotechnických systémů, takže je schopen popsat zcela úplně vybraný systém bezpečnostní kontroly cestujících a jejich zavazadel. Na základě modelu FRAM se dají pomocí variabilit vyhodnotit resonance v systému, které mohou vést k neočekávaným událostem, mohou tak představovat nebezpečí a mohou způsobovat nehody. Zvoleného cíle mé práce bude dosaženo za pomoci tohoto systémového modelu.

3.2.1 Principy

FRAM byl vytvořen jako metoda, která se nezaměřuje na selhání, ale na každodenní aktivity. Slouží k analýze událostí, které proběhly a zároveň může být použita na události budoucí. Metoda FRAM je postavena na následujících čtyřech principech:

- **Selhání a úspěchy jsou ekvivalentní**, což znamená, že mají stejný původ a oba se dějí ze stejných důvodů. Každá akce je provedena s dobrým úmyslem, jestli byla ale provedena správně, poznáme až podle výstupu provedené akce. Zaměřováním se pouze na špatné události má za následek to, že o správném chování systému víme velmi málo. Příčinu selhání hledáme v různých oblastech systému, stejně tak bychom měli uvažovat i o dobrých událostech. Přesto se ale většinou předpokládá, že dobré události vychází pouze ze správného návrhu a správného chování. Z tohoto principu plyne, že se musíme zabývat i dobrými výstupy, a ne se soustřeďovat pouze jenom na výstupy selhání. Může se totiž stát, že dobré výsledky jsou docíleny špatnými akcemi a při neodhalení mohou mít v budoucnu výsledky opačné.
- Každodenní výkonnost sociotechnických systémů, jehož součástí je alespoň jeden člověk, je vždy přizpůsobena podmínkám, **výkonnost je variabilní**. Stroje bývají nastaveny na konstantní výkon, u člověka je výkonnost proměnná podle aktuálních podmínek. Mezi tyto podmínky patří vnitřní psychika jako únava nebo bdělost, psychické jevy jako kreativita nebo přizpůsobivost, organizační faktory jako požadavky na kvalitu nebo kvantitu, sociální faktory, kontextové faktory nebo také nečekané změny pracovního prostředí. Všem vyjmenovaným podmínkám se lidé v sociotechnických systémech musí přizpůsobit. Na variabilní výkonnost u lidí je nahlíženo jako na pozitivní vlastnost.

- Mnoho výstupů, které zjistíme, vzniklo z důvodu **emergence**. To stejné platí i pro výstupy, které zůstanou bez povšimnutí. Vždy, když se objeví nečekaná událost, hledáme důvod vzniku. Pokud řešení této otázky najdeme pomocí principů dekompozice a kauzality, emergence nemusela v tomto případě hrát roli. Avšak pokud je příčina pomocí dekompozice a kauzality nezjistitelná, důvodem vzniku události je právě emergence. Emergence může představovat jev, který existoval pouze v daný moment procesu na konkrétním místě a na rozdíl od výsledného výstupu nezanechal žádné stopy. Tento jev se nedá ovlivňovat, namísto toho musíme řídit podmínky, které ho vyvolaly. Po jevu emergence tedy nezůstanou žádné stopy, můžeme ho ale vysledovat pomocí variability výkonnosti, která se nemění náhodně ale systematicky. Bezpečnostní analýza je tedy založena na přítomnosti variability.
 - Vazby a závislosti mezi funkcemi jsou popsány tak, jak se vyvíjejí v dané situaci, a to pomocí **resonance**. Resonance nahrazuje vazby založené na příčině a následku. Vazby nemůžeme jednoduše popsat dopředu s přesností, jedním z důvodů může být třetí princip – emergence. Resonance znamená, že systém může oscilovat s různými amplitudami. I malé podněty mohou způsobit velké amplitudy. Pokud se budeme bavit o funkční resonanci, tak podněty budou jednotlivé variability, které jsou podle druhého principu měněny systematicky.
- [16]

3.2.2 Postup metody

Postup metody se dá obecně rozdělit do čtyř základních kroků:

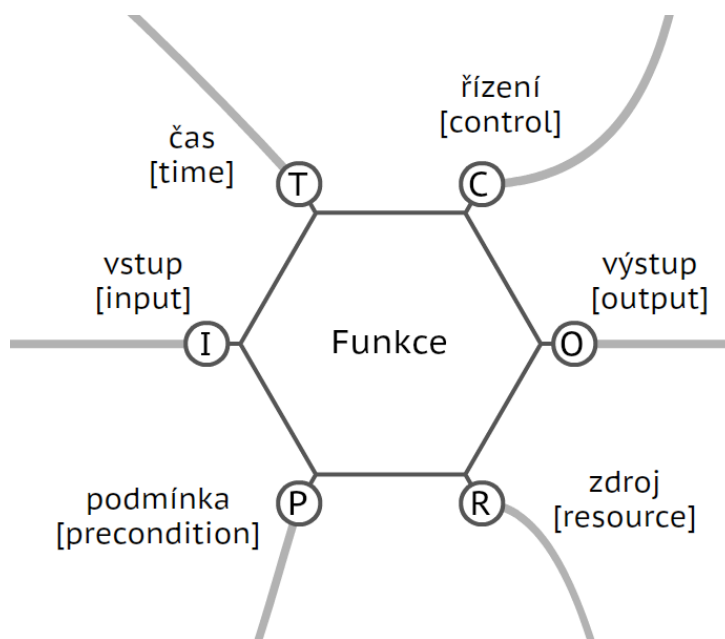
- Identifikace a popis funkcí systému
- Identifikace variability výkonnosti
- Stanovení kombinací variabilit
- Zvážení a návrh řídicích opatření vůči nežádoucím resonancím

Nejdříve je potřeba rozhodnout, jestli se bude jednat o FRAM analýzu vyšetřování minulých událostí nebo hodnocení rizika, že se špatné události teprve odehrají. Metoda FRAM může tedy představovat analýzu reaktivní i proaktivní.

Prvním úkolem je nalezení funkcí, které jsou součástí každodenního provozu systému. Důležité je, aby byly funkce popsány do detailu a jako každodenní aktivita, nikoliv obecně jako úkol, který má být proveden. FRAM pracuje s funkcemi jako s aktivitami,

které byly doopravdy provedeny nebo se daným způsobem provádí. Funkce tedy nepředstavují zamýšlený průběh, ale ten reálný. Funkce jsou prováděny za účelem konkrétního výstupu. Není třeba začínat u funkce, která je první na časové ose. Můžeme začít libovolnou funkcí, například tou, která je zjevně nejdůležitější pro popisovaný systém, a postupně odkrývat všechny ostatní funkce nezbytné pro každodenní provoz a splnění daného úkolu systému.

Pro popis procesů se často používá osvědčený vývojový diagram, který má většinou začátek, konec a směr je určený pomocí šipek. Slabinou vývojových diagramů je ale nedostatek informací o významu vazeb mezi prvky, které explicitně nejsou definovány. Předpokládá se, že podrobnosti si čtenář vyvodí z kontextu sám, a tak může dojít k nesrozumitelnostem. V kontrastu s tímto způsobem popisu metoda FRAM nepředstavuje diagram, nemá tedy daný začátek a konec a vazby mezi funkcemi nejsou zobrazeny šipkami. Vazby mezi jednotlivými funkcemi jsou vytvořeny na základě aspektů, které jsou funkcím metodou FRAM přiřazeny. Tyto vazby mezi funkcemi jsou dobře definované. Metoda FRAM zobrazuje funkce pomocí hexagonu, který můžeme vidět na následujícím obrázku (Obrázek 2). [16]



Obrázek 2 - Zobrazení funkce FRAM pomocí hexagonu

Z předchozího obrázku (Obrázek 2) je zřejmé, že jednotlivé aspekty dané funkce se nachází ve vrcholech hexagonu. Tento zápis má praktický význam, ale jelikož jsou vstupní body aspektů vždy označeny písmenem, vazby mohou být umístěny kamkoliv a ani samotný hexagon nemusí být orientován tak jako na obrázku (Obrázek 2). Existuje celkem šest druhů aspektů popisující funkci, kterými jsou: [16]

- **Vstup** (*input* – I), který spouští funkci. Může mít podobu hmotnou, podobu energie nebo informace. Většina funkcí má definovaný *vstup*, ale není to požadováno. Pokud existuje, *vstup* jedné funkce by měl odpovídat *výstupu* funkce jiné. Variabilita aspektu *vstup* má vliv na variabilitu celé funkce.
- **Výstup** (*output* – O), který představuje výsledek dané funkce nebo změnu stavu a může tak představovat signál pro spuštění další funkce. Může mít opět podobu hmoty, energie nebo informace. *Výstup* je spjatý s variabilitou funkce, je-li variabilita funkce kolísavá, bude to platit i o jejím aspektu *výstup* a naopak. Kolísání variability funkce má tedy vliv na její *výstup*, a protože ten se stane *vstupem* do další funkce, ovlivní i její variabilitu. Variabilita může být ovlivněna jak negativně, tak i pozitivně.
- **Podmínka** (*precondition* – P), která popisuje předpoklad pro spuštění funkce. Pokud existuje, musí být splněna, aby daná funkce mohla být provedena. Jedna funkce může mít i více *podmínek* pro spuštění. *Podmínka* jedné funkce vzniká jako *výstup* funkce jiné. To stejné platí i pro tři zbývající aspekty *zdroj*, *čas* a *řízení*, které také vznikají na základě příslušného *výstupu*.
- **Zdroj** (*resource* – R), který představuje podmínku k provedení funkce nebo představuje entitu, která je spuštěním funkce vyčerpána. V rámci tohoto aspektu rozlišujeme *zdroj* a *realizační podmínku*. Rozdíl mezi těmito dvěma je, že první zmíněný je během vykonání funkce vyčerpán, zato druhý není. *Realizační podmínka* musí pouze existovat nebo být k dispozici, zatímco je funkce aktivní. Rozdíl mezi *podmínkou* (P) a *realizační podmínkou* (R) je takový, že *podmínka* musí být přítomna jen při spuštění funkce, zato *realizační podmínce* musí být k dispozici po celou dobu provádění funkce. Stejně jako předchozí může *zdroj* či *realizační podmínka* představovat hmotu, energii nebo informaci, navíc také může popisovat software, nástroje nebo lidskou práci.
- **Řízení** (*control* – C), které představuje způsob dohledu a řízení dané funkce za účelem správného plnění jejího úkolu. *Řízení* může představovat plány, pracovní postupy nebo instrukce. Každá funkce musí mít své *řízení*, buď externí nebo zabudované uvnitř.
- **Čas** (*time* – T), který představuje časové omezení funkce ovlivňující její spuštění, ukončení nebo trvání. Na aspekt času můžeme nahlížet jako na druh řízení nebo také zdroje. Čas může určovat, kdy bude funkce provedena v závislosti na

provedení jiné funkce. Tento aspekt může také vyjadřovat časové podmínky v rámci jedné funkce, mezi které patří nejdřívejší a nejpozdější čas spuštění společně s nejdřívejším a nejpozdějším časem ukončení funkce. [16]

Funkce popisují vždy aktivitu, která byla provedena nebo může být provedena, a podle toho by měly být slovně popsány, nejlépe se zahrnutím slovesa. Účelem funkce je vytvoření něčeho nebo změnění stavu, a proto by měl mít popis výstupu tvar stavu nebo podmínky.

Druhým krokem při metodě FRAM je identifikace variabilit funkcí z vytvořeného modelu. V modelu FRAM se zabýváme reálnými variabilitami a zároveň musíme mít stanoveny jejich limitní hodnoty, abychom poznali, kdy je variabilita mimo definované rozmezí. Variabilita spadající mimo dané meze může následující funkci ovlivnit jak negativně, tak i pozitivně. Měříme variabilitu *výstupu*, který je shodný s variabilitou funkce. Variabilita *výstupu*, tedy i funkce, může být způsobena ze třech důvodů:

- Jako výsledek variability funkce, tzv. vnitřní variabilita.
- Kvůli pracovnímu prostředí a podmínkám, ve kterém je funkce vykonávána, tzv. vnější variabilita.
- Jako výsledek vlivů předcházejících („upstream“) funkcí. Na aspekty (*vstup, podmínka, zdroj, čas a řízení*) následující („downstream“) funkce je tak přenesena variabilita výstupů předcházejících funkcí. Tomuto spojení se říká funkční toková vazba („functional upstream-downstream coupling“) a je základem pro funkční resonanci.

Celková variabilita funkce může být způsobena jedním z těchto vyjmenovaných důvodů nebo kombinací několika z nich, respektive jejím řetězením.

Základní vyhodnocení variability zohledňuje podmínky časové a podmínky přesnosti. Hodnoty časových podmínek mohou spadat do čtyřech různých kategorií, a to *příliš brzy, včas, pozdě* nebo *vůbec*. Kategorie v rámci podmínek přesnosti výstupu jsou *přesný, přijatelný* a *nepřesný*. Kategorie *včas* a *přesný* mají většinou za následek to, že výstup nebude variabilní. Zato kategorie *vůbec* a *nepřesný* většinou variabilitu zvýší znatelně. Pokročilejší a podrobnější rozbor variability může oproti času a přesnosti zahrnovat také rychlost, vzdálenost, sílu, směr, trvání, objekt nebo posloupnost. [16]

Ve třetím kroku se stanovují kombinace variabilit, sleduje se tedy funkční resonance, a to s cílem odhalit nečekané nebo nepřijatelné výsledky. Variabilita výstupu

předcházející funkce může mít na následující funkci vliv zesilující, tlumící nebo nemusí mít efekt žádný. O jaký vliv se bude jednat rozhoduje mimo jiné typ aspektu sledované funkce. Vlivy výstupů v podmínkách přesnosti bývají stejné pro všechny aspekty, pro *nepřesný* je to většinou zesílení variability, pro *přesný* to bývá utlumení a *přijatelný* většinou nemá žádný efekt. Stejně vlivy, a to pravděpodobné zesílení variability, se naskytují pro výsledky časových podmínek pro kategorie *pozdě* i *vůbec*. Zbylé kategorie časových podmínek, *brzy* a *včas*, se již mohou podle aspektů měnit.

Čtvrtým a posledním krokem je navržení opatření vůči nežádoucím resonancím. Metoda FRAM umožňuje odhalovat problémové oblasti systému, řešením jsou bezpečnostní opatření jako eliminace rizika, prevence formou bariér, ochrana před možnými následky nebo zjednodušení funkce systému. Dalším opatřením může být sledování problémového místa nebo jeho tlumení. [16]

4 Tvorba modelu

Model vytvořený pomocí metody FRAM je základem vyhodnocení daného systému, a proto je jeho tvorba mým prvním krokem. Vytvořený model popisuje činnost sledovaného systému, konkrétně úkony spojené s bezpečnostní kontrolou cestujících a jejich zavazadel.

4.1 Rozlišovací úroveň

Rozlišovací úroveň byla vybrána tak, aby byly popsány základní činnosti, které v systému probíhají. Tyto činnosti, které v metodě FRAM představují jednotlivé funkce, nejsou popsány do většího detailu, protože to vyhodnocení bezpečnosti v rozsahu této práce nevyžaduje. Detailnější popis systému by přinesl řadu nových sledovaných veličin k vyhodnocení, které by musely být definovány a naměřeny nebo vygenerovány. Výpočet by byl složitější, ale výsledky by na druhou stranu mohly být při takovém podrobnějším popisu přesnější. Funkce systému jsou popsány na jednotné rozlišovací úrovni.

Tradiční rámec popisu abstrakční hierarchie systémů uvažuje dvě dimenze, první je nazvána abstrakce a druhá představuje úroveň dekompozice. Abstrakce určuje rozlišovací úroveň, která má pět základních úrovní, kterými jsou funkční účel, abstraktní funkce, obecná funkce, fyzická funkce a fyzická forma. Systém nemusí být popsán na jedné ze zmíněných úrovní, úroveň existuje celá řada. Funkční účel je úroveň popisu systému zaměřená na funkční efekt systému na své prostředí, naopak úroveň fyzická forma představuje nejdetailnější způsob popisu systému, který se soustředí přímo na fyzickou formu jednotlivých komponentů systému. Druhá dimenze je definována pěti úrovněmi dekompozice, úrovně jsou celý systém, podsystém, funkční jednotka, podsestavy a komponenty. Jelikož přístup dekompozice může vést k neefektivní analýze, která zanedbá skryté vazby mezi jednotlivými aktivitami, je pro systémové modely jako FRAM využíván jiný rámec abstrakční hierarchie. Tento rámec přebírá z tradičního rámce pouze dimenzi abstrakce a druhá dimenze úrovně dekompozice je nahrazena, a to dimenzí agentů. Agenti reprezentují skupiny funkcí se společným lokálním nebo globálním a běžným nebo mimořádným cílem. Agenti mohou představovat celé organizace, vybavení, jednotlivé pracovníky nebo jejich skupiny. Počet agentů pro daný systém závisí na jeho funkcích a cíli analýzy. [17] [18]

Rozlišovací úroveň již byla vybrána, bude se jednat o úroveň blízkou zmíněné obecné funkci systémů. Agenti pro sledovaný systém budou určeni až v následující kapitole (4.2) po definici funkcí systému.

4.2 Definice funkcí

Na základě vybrané rozlišovací úrovně byly definovány funkce systému, které budou začínat vždy velkým písmenem. Jedná se o obecné činnosti probíhající při procesu bezpečnostní kontroly. Sledovaný systém je popsán jako kontrola cestujících a jejich příručních zavazadel, z toho plyne, že mezi první definované funkce patří *Kontrola cestujících pomocí WTMD* a *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG*. Před kontrolami pomocí WTMD a RTG probíhá příprava cestujících i jejich zavazadel. Přípravy probíhají většinou současně, ale pro vyhodnocení bude vhodné sledovat přípravy odděleně, proto jsou definovány dvě další funkce *Příprava cestujících* a *Příprava příručního zavazadla*. Kontrola pouze pomocí přístrojů ale vždy nestačí, proto musí být definovány další funkce, a to *Dodatečná kontrola cestujících* a *Dodatečná kontrola příručního zavazadla*. Pro ucelenost modelu jsou přidány dále dvě funkce, které probíhají ve chvíli, když dodatečná kontrola není vyžadována, jedná se o funkce *Cestující míjí zaměstnance* a *Příruční zavazadlo míří na čistou trať*. Aby nechyběl chronologický začátek a konec procesu, jsou definovány navíc funkce *Příchod cestujících* a *Odchod cestujících*. V neposlední řadě v systému hrají roli kromě cestujících a jejich příručních zavazadel také zaměstnanci bezpečnostní kontroly a využívané technologie nutné ke splnění všech požadavků na kontrolu. Proto jsou jim v modelu věnovány další dvě funkce, a to *Dozorování* a *Zajištění funkčnosti technologií*.

Celkem bylo pro model bezpečnostní kontroly pomocí metody FRAM definováno 12 funkcí, které na dané rozlišovací úrovni zcela popisují sledovaný systém. Následující tabulka (Tab. 1) obsahuje seznam očíslovaných definovaných funkcí.

Tabulka 1 - Seznam funkcí

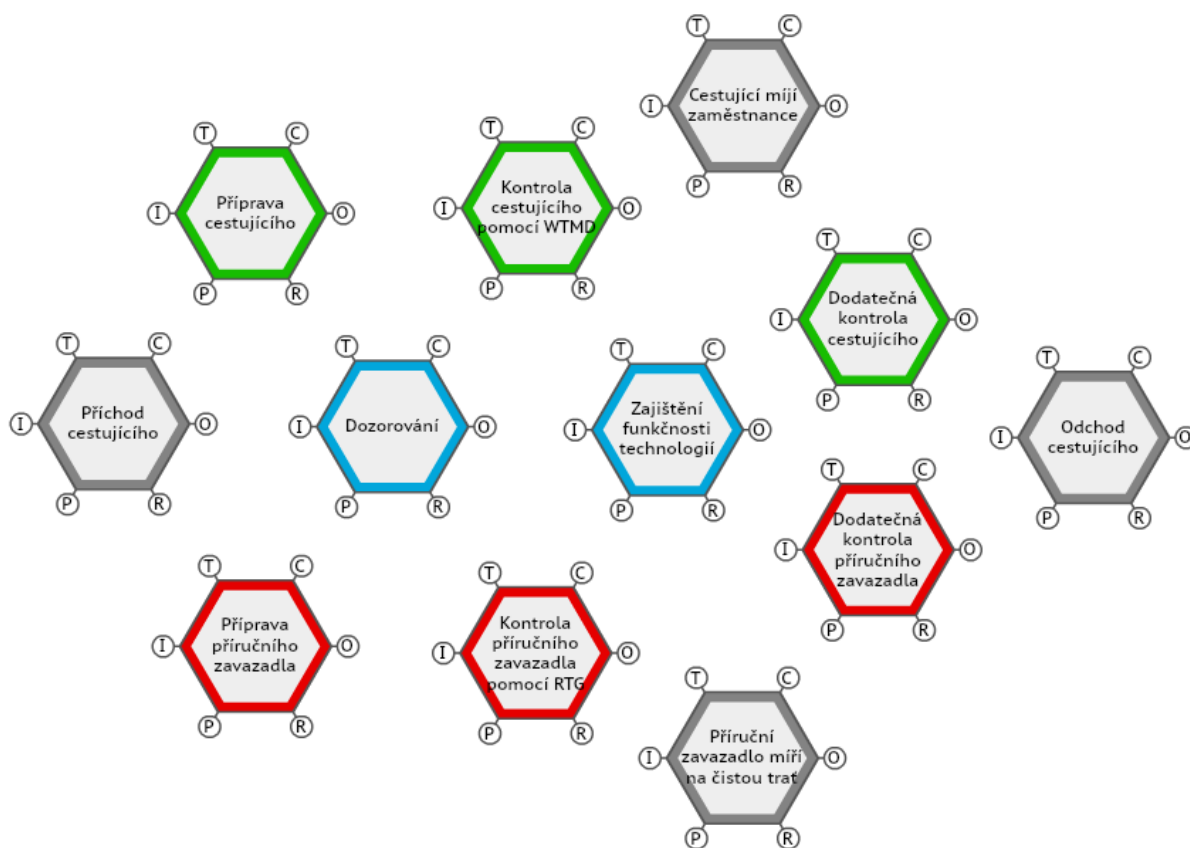
#	Funkce
1	Příchod cestujícího
2	Příprava cestujícího
3	Kontrola cestujícího pomocí WTMD
4	Dodatečná kontrola cestujícího
5	Cestující míjí zaměstnance
6	Odchod cestujícího
7	Příprava příručního zavazadla
8	Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG
9	Dodatečná kontrola příručního zavazadla
10	Příruční zavazadlo míří na čistou trať
11	Dozorování
12	Zajištění funkčnosti technologií

Funkce modelu jsou rozděleny do čtyřech kategorií agentů. Těmi jsou agenti s cílem zkontrolovat cestujícího (zelená barva) a agenti s cílem zkontrolovat příruční zavazadlo (červená barva). Další skupina agentů zahrnuje prostředky pro provádění kontrol (modrá barva) a poslední skupina agentů sleduje pouze pohyb cestujícího nebo příručního zavazadla v rámci bezpečnostní kontroly mezi jednotlivými aktivitami (šedá barva). Seznam funkcí přidělených k jednotlivým agentům je zobrazen na následující tabulce (Tab. 2).

Tabulka 2 - Rozlišení funkcí podle jednotlivých agentů

Agent	Funkce
Kontrola cestujícího	Příprava cestujícího
	Kontrola cestujícího pomocí WTMD
	Dodatečná kontrola cestujícího
Kontrola příručního zavazadla	Příprava příručního zavazadla
	Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG
	Dodatečná kontrola příručního zavazadla
Zajištění prostředků	Dozorování
	Zajištění funkčnosti technologií
Pohyby cestujících a příručních zavazadel	Příchod cestujícího
	Cestující míjí zaměstnance
	Odchod cestujícího
	Příruční zavazadlo míří na čistou trať

Model je graficky vykreslen pomocí volně dostupného programu FRAM Model Visualiser (FMV)¹ a po zadání vybraných dvanácti funkcí s přidělením k daným agentům, ale bez definování jakýchkoli aspektů, má následující podobu (Obrázek 3).



Obrázek 3 - Model FRAM funkcí bez aspektů

4.2.1 Popis funkcí

Funkce číslo jedna *Příchod cestujícího* popisuje chronologicky první funkci, která v rámci definovaných funkcí procesu a jednoho cestujícího probíhá. Tato funkce popisuje pouze interval mezi okamžikem, kdy se cestující dostane na řadu k přípravě sebe a svého zavazadla a okamžikem, kdy k přípravné přepážce dorazí. Tato funkce tedy nezahrnuje řazení cestujících do front ani validaci cestovních dokladů, pouze konečnou fázi příchodu k volné přepážce.

Další funkcí v seznamu je *Příprava cestujícího*. Tato funkce probíhá u přípravné přepážky bezpečnostní kontroly, která může být součástí manuálních nebo automatických tratí. Automatické vracení bedýnek je výhodou a činnost tak probíhá rychleji a plynuleji než u tratí bez této schopnosti. *Příprava cestujícího* je vykonávána společně s funkcí *Příprava příručního zavazadla* s pořadovým číslem 7. *Příprava cestujícího* zahrnuje sejmutí

¹ <https://functionalresonance.com/FMV/index.html>

pokrývky hlavy, svlečení svrchní části oděvu jako je bunda, vesta, kabát a podobně, odložení šál a šátků, vyjmutí obsahu kapes, sundání pásku, hodinek, náramků, popřípadě také zutí obuvi. Cestující dále musí odložit předměty jako je deštník nebo hole, pokud dokáže jít bez nich. Všechny zmíněné předměty uskladňuje cestující do bedýnky nebo bedýnek, které následně míří společně s příručními zavazadly ke kontrole pomocí rentgenu. Důvodem vykonávání této funkce je snížení času a zvýšení přesnosti samotné kontroly cestujícího, která následuje a na přípravě je závislá.

Cestujícího po přípravě čeká *Kontrola pomocí WTMD*, tedy funkce s pořadovým číslem 3. Jedná se o funkci popisující první fázi bezpečnostní kontroly cestujícího. Cílem této kontroly je odhalení zakázaných předmětů na osobě cestujícího. Zakázané předměty jsou podrobněji popsány u funkce *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG* s pořadovým číslem 8. Alternativou kontroly pomocí WTMD je kontrola pomocí WBI, která má svoje výhody i nevýhody. Model v této práci popisuje ale takovou bezpečnostní kontrolu, která probíhá pouze pomocí přístroje WTMD.

Pokud je po kontrole pomocí WTMD vyžadována dodatečná kontrola cestujícího, proběhne funkce *Dodatečná kontrola cestujícího*. Dodatečná kontrola může být provedena například z důvodu namátkového výběru nebo z důvodu nedokonalé přípravy cestujícího (funkce číslo 2). Tato funkce je prováděna bezpečnostním pracovníkem například pomocí ručního detektoru kovů nebo s využitím metody ETD. Proveden může být také opakovaný průchod WTMD nebo ruční prohlídka cestujícího. Důvod plnění této funkce je stejný jako u předchozí funkce, a to odhalení potenciálních zakázaných předmětů na těle cestujícího.

Jestliže dodatečná kontrola vyžadována není, je pro úplnost modelu definována funkce *Cestující míjí zaměstnance*. Bezpečnostní pracovník cestujícího dále nekontroluje, protože dostatečná kontrola proběhla už pomocí přístroje WTMD. Funkce číslo 5 popisuje pouze průchod cestujícího zónou, kde probíhá dodatečná kontrola, pokud je potřeba.

Pořadové číslo 6 má funkce *Odchod cestujícího*. Jedná se o uzavření procesu bezpečnostní kontroly a odchod zkontrolovaného cestujícího společně se svým zkontrolovaným příručním zavazadlem ze stanoviště bezpečnostní kontroly dále směrem k odletové bráně. Funkce popisuje činnosti spojené s úklidem deklarovaných věcí před kontrolou zpět do zavazadla a posbírání všech ostatních věcí, které před kontrolou cestující odložil do bedýnek. K těmto úkonům by měl cestující využít stoly vedle trati, pokud jsou k dispozici. Zároveň do této funkce může spadat čekání

cestujícího v prostorách bezpečnostní kontroly. V ideálním případě by cestující stanoviště bezpečnostní kontroly měl opustit hned, jak je to možné, aby se zde lidé zbytečně nehromadili a nebránili plynulému odbavení cestujících.

Následující funkce se již týkají příručního zavazadla. Funkce *Příprava příručního zavazadla* probíhá, jak již bylo zmíněno, společně s funkcí *Příprava cestujícího* s číslem 2. Probíhá u přípravné přepážky bezpečnostní kontroly buď u manuální trati nebo u automatické. Pozitivně na tuto funkci působí automatické vracení bedýnek. Příručním zavazadlem je myšleno jakékoliv zavazadlo, které si cestující bere s sebou do bezpečnostního vyhrazeného prostoru a na palubu letadla. Může se jednat o malý kufr, batoh nebo tašku přes rameno. Pod přípravu příručního zavazadla spadá umístění zavazadla do bedýnky a deklarování všech věcí, které musí být zkontrolovány mimo zavazadlo. Deklarované předměty jsou umístěny buď do další bedýnky nebo do stejné bedýnky jako zavazadlo nebo předměty související s osobou cestujícího. Mezi tyto předměty patří větší elektronika jako je notebook, větší herní konzole, tablet nebo elektronická čtečka. Dále musí být deklarovány tekutiny. Pravidla pro množství a složení tekutin, které jsou povolené v příručním zavazadle jsou v EU jasně daná. Cestující si musí připravit veškeré tekutiny z příručního zavazadla do certifikovaného průhledného uzavíratelného sáčku, který má objem jeden litr. Do sáčku, který se musí nakonec zavřít, patří veškeré kapaliny, gely, pěny, pasty a aerosoly. Tyto tekutiny musí být v originálních nádobách, jejichž objem nesmí přesáhnout 100 ml. Výjimky tvoří například léky a dětská výživa.

Analogicky jako po přípravě cestujícího následovala jeho kontrola pomocí přístroje, po přípravě příručního zavazadla proběhne pro toto zavazadlo funkce *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG*. Tato funkce popisuje vyhodnocování rentgenových snímků všech předmětů pronášených do bezpečnostního vyhrazeného prostoru. Důvodem této činnosti je opět odhalení možných zakázaných předmětů, tentokrát v příručním zavazadle nebo v bedýnce projíždějící rentgenem. Mezi zakázané předměty patří celá řada předmětů, které mohou ohrozit bezpečnost cestujících, posádky a personálu letiště nebo mohou ohrozit celý let. Seznam těchto předmětů bývá cestujícím k dispozici na webových stránkách daného letiště nebo ve veřejných odletových halách letiště. Zakázané předměty spadají většinou do některé z následujících kategorií: ostré předměty, střelné zbraně, výbušniny, hořlaviny, žíraviny nebo radioaktivní látky. Mezi zakázané předměty patří také například obranné spreje nebo tupé útočné zbraně typu boxer.

Stejně jako u cestujícího probíhá dodatečná kontrola, tak i pro příruční zavazadlo je definována funkce *Dodatečná kontrola příručního zavazadla*. Tutu činnost vykonává bezpečnostní pracovník vždy, když je dodatečná kontrola vyžadována. To bezpečnostní pracovník pozná tak, že příruční zavazadlo je vyřazeno z čisté trati. Čistá trať je trať, kde zůstávají zkontrolovaná zavazadla bez nutnosti provést dodatečnou kontrolu. Z čisté trati si zkontrolovaní cestující odebírají své bedýnky. Dodatečná kontrola příručního zavazadla představuje například dohledání zakázaného předmětu a individuální vyřešení situace s cestujícím. Řešením může být například to, že se cestující zakázaných předmětů vzdá nebo opustí prostor bezpečnostní kontroly zpět do veřejné haly letiště. Pro dodatečnou kontrolu se může využívat metody ETD nebo přístrojů pro kontrolu lahví. Úkon dodatečné kontroly končí tím, že je zavazadlo předáno nebo vyzvednuto cestujícím.

Pokud dodatečná kontrola příručního zavazadla vyžadována není, je opět pro doplnění modelu definována funkce *Příruční zavazadlo míří na čistou trať*. Tato funkce s pořadovým číslem 10 představuje cestu dostatečně zkontrolovaného zavazadla pomocí rentgenu po čisté trati až k vyzvednutí cestujícím.

Předposlední definovaná funkce má název *Dozorování*. Tato funkce popisuje dozorování zaměstnanců na stanovišti bezpečnostní kontroly. Zároveň popisuje dávání instrukcí cestujícím, řešení různých situací s nimi nebo přímo jejich kontrolu. Tato funkce je nesmírně důležitá pro správný chod celého systému. Jedním z důvodů je to, že zaměstnanci ví, jaký výsledek má systém přinášet a pomocí této funkce jsou výstupy směřovány požadovaným směrem.

Poslední definovaná funkce, bez které se sledovaný systém nemůže obejít, je *Zajištění funkčnosti technologií*. Tato funkce se týká veškerých přístrojů, které jsou na stanovišti bezpečnostní kontroly využívány. Jedná se především o přístroje využívané ke kontrole cestujících nebo jejich zavazadel jako je průchozí detektor kovů, ruční detektor kovů, přístroj pro detekci stopového množství výbušnin, rentgen nebo přístroj pro kontrolu lahví. Dále se může jednat o pomocné technologie přímo nesouvisející s kontrolou, jako je hlavně automatická trať na bedýnky. Konkrétně může být řeč o systému automatického vracení bedýnek nebo systému vyřazování bedýnek z čisté trati. Zároveň se může jednat o přístroje komunikační, například vysílačky, kdy jejich nefunkčnost může omezit komunikaci mezi jednotlivými bezpečnostními pracovníky. Tato funkce je také velice důležitá, protože bez funkčních technologií, na které se bezpečnostní kontrola spoléhá, se častokrát nedá kontrola provést tak, aby byla v souladu s platnými

předpisy. Pokud se tak provést dá, pravděpodobně nebude dodržena dostatečná rychlost bezpečnostního odbavení.

4.3 Definice aspektů

Definovaným funkcím jsou dále podle metody FRAM přiřazeny aspekty. Názvy aspektů začínají pro snadnější rozlišení od funkcí malým písmenem. Existuje právě šest druhů aspektů, konkrétně vstup, výstup, čas, řízení, zdroj a podmínka. Každá z definovaných funkcí by mohla mít několik aspektů, avšak jejich počet a podrobnost jsou určeny na základě zvolené rozlišovací úrovně. Názvy aspektů jednotlivým funkcím jsou přiřazeny pomocí programu FMV. Shodný aspekt výstupu některé funkce s jedním z dalších zbylých pěti aspektů jiné funkce dává vzniku funkční tokové vazbě mezi danými dvěma funkcemi. Aspekt výstupu popisuje, jak se změní stav systému splněním dané funkce, ostatní aspekty popisují, jakou změnu stavu daná funkce potřebuje k provedení. Funkční toková vazba může být vytvořena pouze mezi dvěma různými funkcemi, metoda FRAM nedovoluje vytváření cyklů vazeb v rámci jedné funkce.

Většina funkcí má definován alespoň jeden vstup a výstup, není to ale pravidlem a v modelu se objevují funkce bez těchto aspektů. Jedná se o funkce *Dozorování* a *Zajištění funkčnosti technologií*, které nemají definované vstupy. Předpokládá se, že jsou spuštěny během celého procesu. Fakt, že tyto funkce nemají definovaný vstup, vysvětluje to, že v závěrečném vyhodnocení není sledován vliv funkční tokové vazby na tyto funkce. Vyhodnocovány jsou až vlivy funkčních tokových vazeb na následující funkce, jelikož výstupy u zmíněných dvou funkcí definovány jsou. Naopak funkce *Odchod cestujícího* vstup definován má a výstup nikoliv. Znamená to, že vlivy na následující funkce této funkční tokové vazby vyhodnocovány nejsou, protože žádné následující funkce pro daný model nejsou popsány, tím pádem neexistuje ani daná vazba. Vliv na funkci *Ochod cestujícího*, jakožto na funkci následující funkční tokové vazby, vyhodnocován je, protože vstup této funkce existuje.

Jelikož je aspekt výstupu vždy spjatý s některým jiným aspektem, budou v dalších dvou podkapitolách popsány zvlášť. Nejdříve jsou definovány aspekty výstupů funkcí a následně ostatní aspekty. Pro definované aspekty vstupu, času, řízení, zdroje a podmínky musí v rámci modelu existovat vždy příslušný výstup a stejně tak pro každý definovaný výstup musí existovat alespoň jeden další jiný aspekt se stejným názvem, aby byla vytvořena vazba.

4.3.1 Definice výstupů

Pro první funkci *Příchod cestujícího* jsou definované hned dva různé výstupy. Jedná se o výstupy *cestující dorazil* a *příruční zavazadlo dorazilo*. Výstupy jsou zvolené s ohledem na již definované funkce, kde jsou průběhy kontrol cestujících a jejich zavazadel sledovány odděleně. Výsledkem splnění první funkce je přistoupení cestujícího se svým zavazadlem k přípravné přepážce bezpečnostního odbavení. Tento výsledek představuje změnu stavu v systému a je popsán dvěma zvolenými výstupy.

Pro druhou funkci *Příprava cestujícího* je definován výstup jeden. Splněním této funkce je dosaženo stavu, kdy je cestující připraven ke kontrole, jedná se tedy o výstup *cestující připraven*.

Další funkce *Kontrola cestujícího pomocí WTMD*, která je v pořadí třetí, může mít za následek dvě různé změny stavu. Průchozí detektor může alarm spustit nebo alarm nespustit. Pokud je alarm spuštěn jedná se o výstup *alarm zazněl*, pokud spuštěn není, je definován druhý výstup této funkce *alarm nezazněl*.

Funkce číslo 4 a číslo 5, tedy *Dodatečná kontrola cestujícího* a *Cestující mívá zaměstnance*, mají identické výstupy. Výsledek obou funkcí je zkontrolovaný cestující, který žádnou další kontrolu nevyžaduje. Výstup pro obě dvě funkce má název *cestující zkontrolován*.

Funkce *Odchod cestujícího*, jak již bylo řečeno, žádný definovaný výstup nemá. Výsledkem této funkce je odchod cestujícího od stanoviště bezpečnostní kontroly, ale takový výsledek nemá vliv na žádné definované funkce, proto zůstává šestá funkce bez výstupu.

Výsledkem funkce *Příprava příručního zavazadla* je podobně jako u funkce *Příprava cestujícího* dokončení přípravy, tentokrát příručního zavazadla. Výstup sedmé funkce je slovně popsán jako *příruční zavazadlo připraveno*.

Výsledek další funkce *Kontrola příručního zavazadla* může mít dvě různé podoby. V jednom případě je kontrola pomocí RTG potřeba doplnit o dodatečnou kontrolu, výstup má v tomto případě tvar *příruční zavazadlo vybráno pro dodatečnou kontrolu*. Druhá možnost uvažuje dostatečné zkontrolování pomocí rentgenu bez požadavku na dodatečnou kontrolu, výstup je tehdy popsán jako *příruční zavazadlo čisté*.

Poslední výstup týkající se konkrétně příručního zavazadla popisuje změnu v systému takovou, že příruční zavazadlo je definitivně zkontrolováno. Výstup má název *příruční*

zavazadlo zkontrolováno. Výstup popisuje dokončení dvou různých funkcí, a to *Dodatečná kontrola příručního zavazadla* a *Příruční zavazadlo míří na čistou trať*.

Předposledním definovaným výstupem je *dozor*. Jedná se o produkt předposlední funkce *Dozorování*. Na rozdíl od ostatních výstupů, kde se jedná o dokončení daných funkcí, tento výstup popisuje průběh funkce, který by měl být nepřetržitý. Název tohoto výstupu bude totiž shodný s aspektem řízení u několika dalších funkcí v modelu.

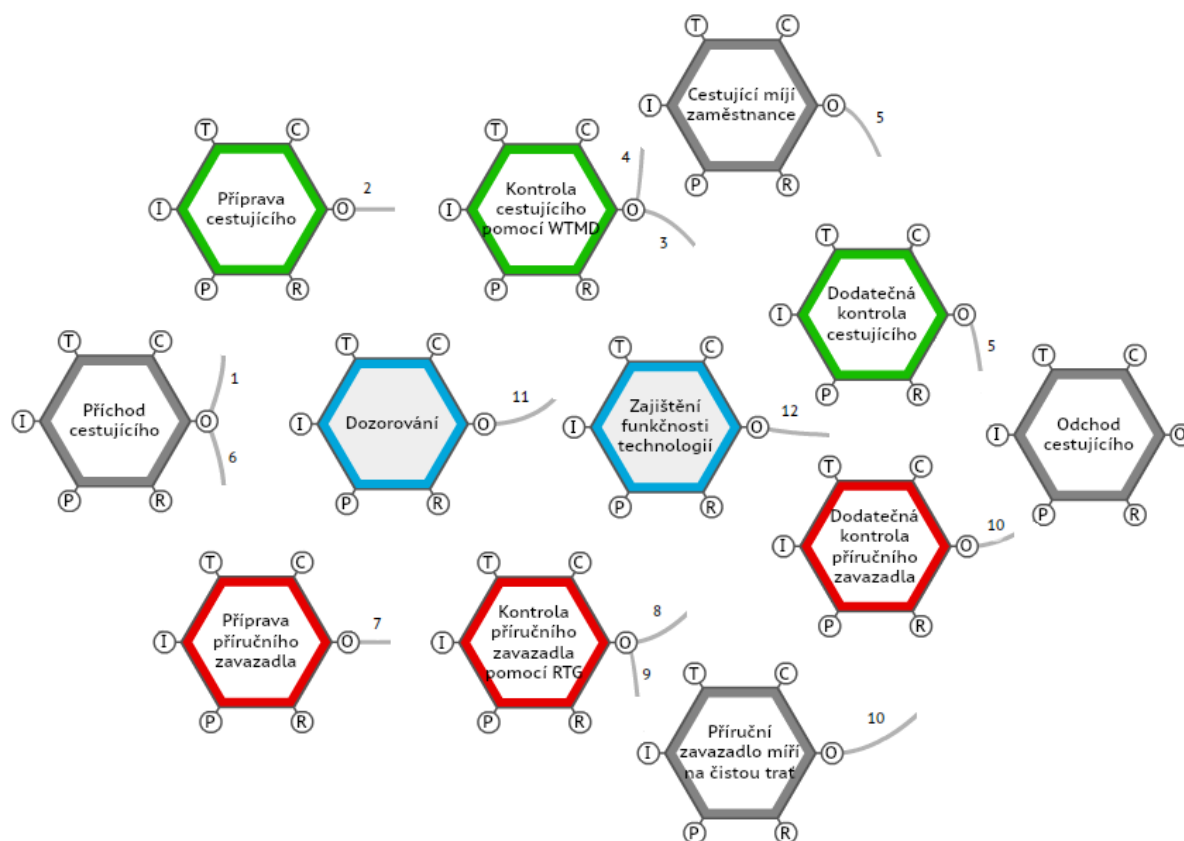
Poslední výstup, který byl pro tento model definován, je *technologie v pořádku*. Tento výstup, podobně jako je tomu u předchozího výstupu *dozor*, popisuje průběh funkce *Zajištění funkčnosti technologií*. Opět se jedná o výstup, který nepopisuje úspěšné splnění úkonu dané funkce, ale jeho nepřerušovaný průběh. Důvodem je to, že název tohoto výstupu představuje realizační podmínku, tedy aspekt zdroje, u několika funkcí v modelu, které budou vyjmenovány v další podkapitole.

Pro daný model bylo definováno celkem 12 výstupů. Stejný počet funkcí v tomto modelu je pouze shoda náhod. Funkce v modelu mají počty výstupů totiž různé, v případě modelu v této práci jsou počty výstupů v intervalu nula, jedna nebo dva. Není pravidlem, že počty funkcí a výstupů v modelu musí být stejné. Přehledný seznam definovaných výstupů je uvedený v následující tabulce (Tab. 3).

Tabulka 3 - Seznam výstupů

#	Výstup
1	cestující dorazil
2	cestující připraven
3	alarm zazněl
4	alarm nezazněl
5	cestující zkontrolován
6	příruční zavazadlo dorazilo
7	příruční zavazadlo připraveno
8	příruční zavazadlo vybráno pro dodatečnou kontrolu
9	příruční zavazadlo čisté
10	příruční zavazadlo zkontrolované
11	dozor
12	technologie v pořádku

Po zadání výstupů příslušným funkcím do grafického znázornění, má model následující podobu (Obrázek 4). Zatím nebyly kromě výstupů zadány aspekty pro žádnou funkci, takže zadané výstupy nemohou vytvořit vazby, proto jsou zobrazeny pouze začátky jednotlivých vazeb. Názvy výstupů odkazují pouze na číselné ohodnocení pořadí příslušných výstupů z předchozí tabulky (Tab. 3).



Obrázek 4 - Model FRAM se zadanými funkcemi a jejich výstupy

4.3.2 Definice ostatních aspektů

U první funkce jsou definovány dva různé aspekty vstupu. Funkce *Příchod cestujícího* je podle její definice spuštěna ve chvíli, když se cestující dostane na konec fronty k přípravným přepážkám a zároveň je přepážka volná. Jelikož v modelu procesy před touto funkcí nejsou sledovány, bude vstup funkce *Příchod cestujícího* určen pouze uvolněním bezpečnostní přepážky. Přípravná bezpečnostní přepážka se uvolní ve chvíli, kdy jsou dokončeny obě funkce *Příprava cestujícího* a *Příprava příručního zavazadla*, to znamená, že aspekty vstupu první funkce jsou definovány jako *cestující připraven* a *příruční zavazadlo připraveno*. Dané vstupy popisují stavy předchozího cestujícího a jeho příručního zavazadla, nikoliv cestujícího, který je sledován během funkce *Příchod cestujícího*.

Pro funkci číslo 2 *Příprava cestujícího* je definován vstup *cestující dorazil*, bez něhož nemůže být funkce logicky spuštěna. Nad správným plněním této funkce dohlíží zaměstnanec bezpečnostní kontroly, který cestujícím dává instrukce, kterými se řídit. Znamená to, že je pro tuto funkci definován aspekt řízení *dozor*. Stejně tak je potřeba funkční technologie, konkrétně pohyblivé pásy a popřípadě systém automatického vracení bedýnek. Je tedy definován aspekt zdroje *technologie v pořádku*. Požadavek na

fungující technologii platí nejen pro spuštění funkce, ale po celou dobu jejího trvání. To znamená, že v tomto případě, a také ve všech dalších případech, kde je v modelu definován aspekt zdroj, se jedná specificky o realizační podmínku.

Funkce *Kontrola cestujícího pomocí WTMD* má aspekt vstupu *cestující připraven*. Znamená to, že funkce *Příprava cestujícího* musí být dokončena. Pro tuto funkci jsou definované dvě podmínky, které musí být před zahájením splněny. V první řadě musí proběhnout funkce *Příprava příručního zavazadla*, která musí kontrole cestujícího předcházet. Dále musí být předchozí cestující po kontrole, ať už se jedná o kontrolu dodatečnou nebo dostatečné zkontrolování přístrojem WTMD. Aspekty podmínek jsou tedy *příruční zavazadlo připraveno* a *cestující zkontrolován*. Stejně jako předchozí funkce a několik následujících je i tato funkce řízena zaměstnanci bezpečnostní kontroly a zároveň je k jejímu vykonání potřeba funkčních technologií, v tomto případě se jedná o průchozí detektor kovů. Jsou tedy definovány aspekty řízení *dozor* a zdroj *technologie v pořádku*.

Následující funkce *Dodatečná kontrola cestujícího* je spuštěna ve chvíli, kdy dá průchozí detektor kovů signál. Aspekt vstupu je pro tuto funkci *alarm zazněl*. Opět je u této funkce podle její definice potřeba přidat aspekt řízení *dozor* a aspekt zdroje *technologie v pořádku*.

Funkce *Cestující míjí zaměstnance* má společně se svým výstupem pouze jeden další aspekt. Jedná se o aspekt vstupu, kterým je *alarm nezazněl*. Tato funkce je oproti předchozí funkci spuštěna ve chvíli, kdy má funkce *Kontrola cestujícího pomocí WTMD* opačný výsledek.

I přesto, že funkce *Odchod cestujícího* nemá žádné aspekty výstupu, jsou pro něj definovány aspekty vstupu a podmínky. Činnosti spjaté s úklidem předmětů deklarovaných před kontrolou a odchodem cestujícího ze stanoviště bezpečnostní kontroly mohou začít probíhat pouze tehdy, proběhla-li bezpečnostní kontrola cestujícího. Vstupem pro funkci *Odchod cestujícího* je tedy *cestující zkontrolován*. Vstup může být přijat od výstupu funkce *Dodatečná kontrola cestujícího* nebo funkce *Cestující míjí zaměstnance*. Před zahájením zmiňovaných činností musí být zároveň k dispozici příruční zavazadlo, které je stejně jako cestující již po kontrole. Aspekt podmínky je pro tuto funkci definován jako *příruční zavazadlo zkontrolované*. Jedná se opět buď o výstup funkce *Dodatečná kontrola příručního zavazadla* nebo funkce *Příruční zavazadlo míří na čistou trať*.

Funkce s pořadovým číslem 7 *Příprava příručního zavazadla* je spuštěna pouze za přítomnosti zavazadla. Aspekt vstupu je tedy pro tuto funkci definován jako *příruční zavazadlo dorazilo*. Funkce probíhá zároveň s funkcí *Příprava cestujícího*, takže zaměstnanci bezpečnostní kontroly dávají instrukce cestujícím, kteří funkci *Příprava příručního zavazadla* provádějí, aspekt řízení je tedy *dozor*. Stejně jako u funkce *Příprava cestujícího*, i tato funkce vyžaduje stejnou fungující technologií, aspektem zdroje je *technologie v pořádku*.

Následující funkce *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG* vyžaduje připravené příruční zavazadlo, a to konkrétně takovým způsobem jako je popsáno v definici funkce *Příprava příručního zavazadla*. Aspekt vstupu je tedy definován jako *příruční zavazadlo připraveno*. Aby mohlo být jedno příruční zavazadlo pomocí rentgenu zkontrolované, musí být kontrola předchozího zavazadla dokončena. Aspektem podmínky této funkce je tedy *příruční zavazadlo zkontrolované*. Tento aspekt může být výstupem funkce *Dodatečná kontrola příručního zavazadla* nebo funkce *Příruční zavazadlo míří na čistou trať* a popisuje stav předchozího zavazadla, nikoliv sledovaného během funkce *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG*. Jak již název funkce napovídá, ke správnému průběhu funkce je potřeba přístroje rentgenu. Navíc je také potřeba technologie automatických tratí, to znamená že musí být definován aspekt zdroje *technologie v pořádku*. Vyhodnocování snímků z rentgenu má na starosti bezpečnostní pracovník a je tedy definován aspekt řízení *dozor*.

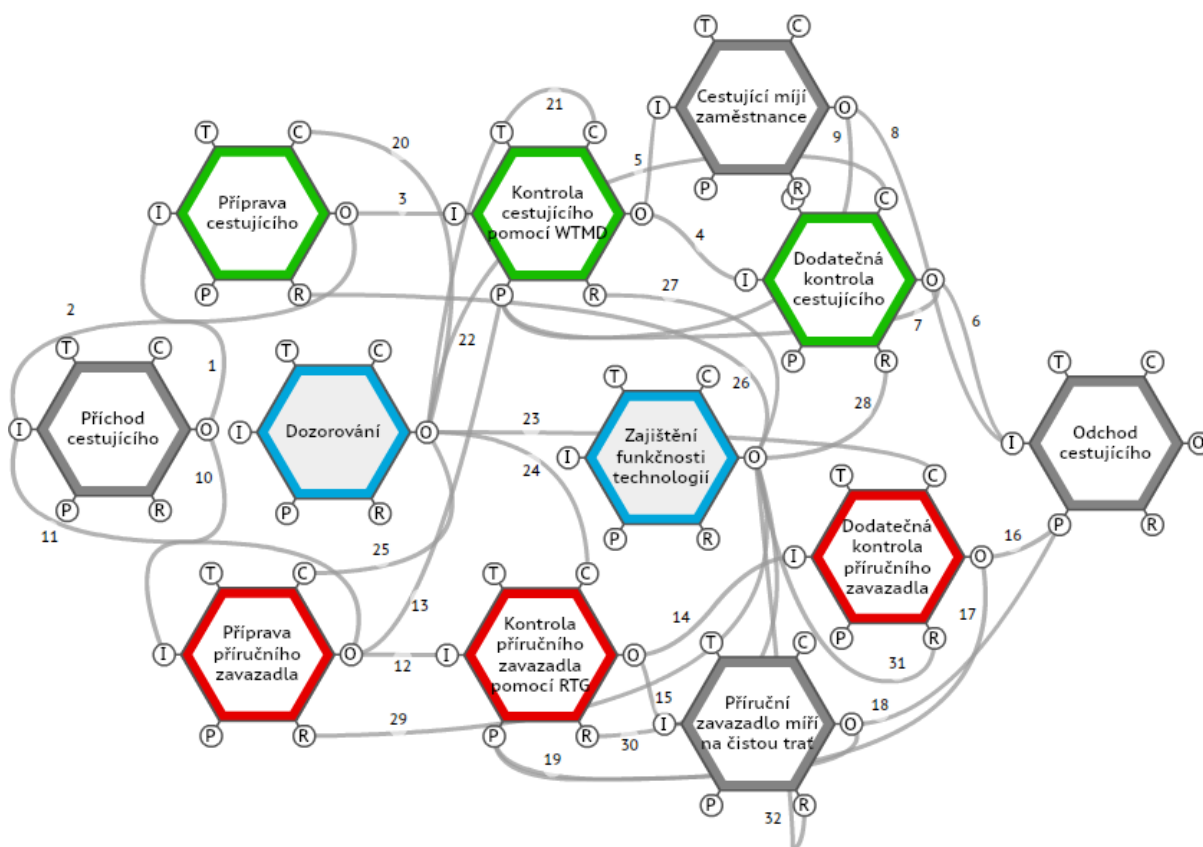
Další funkcí je *Dodatečná kontrola příručního zavazadla*, jejíž vstup je závislý na výsledku předchozí funkce, a to *Kontroly příručního zavazadla*. Dodatečná kontrola proběhne pouze tehdy, pokud je příruční zavazadlo k dodateční kontrole v předchozí funkci vybráno. Aspekt vstupu má název *příruční zavazadlo vybráno pro dodatečnou kontrolu*. Tato funkce je poslední v modelu, která má definovaný aspekt řízení *dozor*. Dodatečnou kontrolu totiž provádí bezpečnostní pracovník, takže bez aspektu řízení nemůže být funkce splněna. Zaměstnanec bezpečnostní kontroly provádějící dodatečnou kontrolu využívá různé technologie jako například přístroj ke kontrole lahví nebo přístroj pro detekci stopového množství výbušnin. Ke správnému plnění funkce musí být tyto technologie k dispozici, a proto je definován zdroj *technologie v pořádku*.

Poslední funkcí týkající se příručního zavazadla je funkce *Příruční zavazadlo míří na čistou trať*. Tato funkce je spuštěna při opačném výsledku funkce *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG*, a to výsledku takového, kdy je zavazadlo zkontrolováno dostatečně a další kontrolu nevyžaduje. Aspekt vstupu je definován jako *příruční*

zavazadlo čisté. Pokud je využívána automatická trať, je potřeba, aby během cesty příručního zavazadla fungovala. Proto je pro tuto funkci definován naposledy aspekt zdroje *technologie v pořádku*.

Pro funkce *Dozorování* a *Zajištění funkčnosti technologií* nejsou definované žádné další aspekty, pouze jejich výstupy. Znamená to, že působení funkční tokové vazby na tyto dvě funkce není předmětem vyhodnocení, protože taková vazba v modelu není definována.

Po zadání všech aspektů mohou vzniknout v modelu vazby. Model po zadání aspektů má tvar, který je uveden na následujícím obrázku (Obrázek 5). Jednotlivé funkční vazby jsou na obrázku pouze očíslované a nejsou ukázána jména výstupů. Přehlednější kompletní model s názvy výstupů a ostatních aspektů je uveden až v Příloze 1.



Obrázek 5 - Model FRAM a očíslované funkční tokové vazby

4.4 Kompletní model

Definice funkcí, jejich výstupů a jejich ostatních aspektů představuje dostatek informací pro zkompletování modelu. Konečný model popisující bezpečnostní kontrolu cestujících a jejich příručních zavazadel na letišti má pro shrnutí 12 různých funkcí, 12 různých výstupů a dohromady 32 funkčních tokových vazeb. Funkční tokové vazby jsou předmětem vyhodnocení modelu.

V příloze této práce jsou uvedeny dva možné popisy modelu, které jsou významově na stejné úrovni. Příloha 1 obsahuje grafické znázornění zkompletovaného modelu metody FRAM pomocí hexagonů. Vykreslení modelu bylo provedeno s využitím programu FRAM Model Visualiser (FMV). Jednotlivé funkce a funkční tokové vazby jsou v rámci tohoto modelu očíslovány. Z důvodu překrývání některých vazeb a s tím souvisejících možných nejasností je uveden navíc druhý příklad popisu. Příloha 2 popisuje model pomocí tabulky, ve které jsou vypsány všechny funkce společně se všemi svými aspekty. Tento popis je zcela jasný, zato není tolik názorný jako grafické řešení modelu. V záhlaví tabulky není uveden aspekt času, protože žádná z funkcí modelu tímto aspektem nedisponuje.

5 Matematický postup vyhodnocení modelu

Vytvořený model FRAM sám o sobě žádné číselné vyhodnocení systému neposkytuje. Tvoří pouze základ k vyhodnocení, navíc jsou ještě potřeba specifická data o systému a matematický postup výpočtu. Jediný autor, který se vyhodnocení metody FRAM věnuje a zároveň přichází s matematickým aparátem pro vyhodnocení variability, je Riccardo Patriarca [19]. Využití výpočtu je důležité, protože přináší číselné ohodnocení, které dokáže variabilitu popsat podrobněji než pouze její slovní popis. Na jeho práci jsem se tedy rozhodl navazovat a jeho postup vyhodnocení aplikuji i na vybraný systém bezpečnostní kontroly. Zmiňovaná práce obsahuje jeden konkrétní příklad vyhodnocení složitěho socio-technického systému, který má podobné rysy jako můj zvolený systém. Příklad využití metody je tedy možné krok po kroku sledovat a částečně se jím řídit. Následující podkapitoly budou sledovat postup vyhodnocení, se kterým přichází R. Patriarca.

R. Patriarca pomocí Safety-II a metody FRAM vypracovává postup, jak odhalit kritické funkce a vazby v systému. Využívá k tomu pravděpodobnostní přístup založený na simulaci Monte Carlo, která spočívá v generování náhodných veličin. Zmíněný příklad, který R. Patriarca v práci uvádí, se týká ATM systémů. Příklad je tedy stejně jako můj vybraný systém komplexní systém ze socio-technické oblasti, a navíc také popisuje část leteckého průmyslu. [19]

5.1 Definice sledovaných veličin

V první řadě je potřeba definovat data, která budou daný systém popisovat a bez nichž by nemohlo vyhodnocení proběhnout. Hodnoty takto definovaných proměnných budou představovat vstupy pro výpočet a budou generovány aplikací nebo mohou být zadány uživatelem ručně. Data budou přidělena jednotlivým funkcím, které byly pro model definovány.

Čas a přesnost jsou základní podmínky, podle kterých FRAM vyhodnocuje variabilitu funkce. V souladu s metodou FRAM budou základní podmínky v této práci k určení variability využity. Metoda FRAM umožňuje popsat variabilitu funkce mnohem detailněji než pouze za podmínek času a přesnosti. Mezi podmínky, které by dále mohly popisovat variabilitu funkce, patří například charakteristiky jako rychlost, vzdálenost nebo síla. K vyhodnocení mého modelu je ale uvažovat nebude. Je to z důvodu zvolené rozlišovací úrovně, která by měla zůstat jednotná pro model i jeho vyhodnocení. Pokud by pro všechny jednotlivé funkce bylo zvoleno více podmínek, byl by popis do mnohem většího

detailu, než je samotný model. Samotný výpočet a generování nebo zadávání dat by bylo mnohem komplikovanější. Základní podmínky času a přesnosti popisují variabilitu již z velké části a přidáním dalších podmínek by přesnost vyhodnocení pravděpodobně tolik nevzrostla. R. Patriarca si ve svém vyhodnocení vystačil také pouze se základními podmínkami.

Významy proměnných pro jednotlivé funkce budou v následujících dvou podkapitolách popsány zvláště pro podmínky časové variability a podmínky přesnosti.

5.1.1 Sledované veličiny času

Jednotky pro všechny hodnoty v této kapitole jsou sekundy.

Pro první funkci *Příchod cestujícího* bude veličina času definována jako čas od uvolnění přepážky předchozím cestujícím do příchodu čekajícího cestujícího k ní.

Čas další funkce *Příprava cestujícího* je pro vyhodnocení definován jako čas přípravy pouze věcí souvisejícího s osobou cestujícího. Pro funkci *Příprava příručního zavazadla* se jedná o čas přípravy pouze věcí souvisejících s příručním zavazadlem. Jelikož se průběhy těchto dvou funkcí prolínají, může být pro variantu ručního zadávání dat naměřen čas od příchodu k přepážce do odchodu cestujícího od ní. Tato hodnota je součtem časů pro zmíněné dvě funkce. Se známým poměrem času jedné ze dvou funkcí a času součtu můžeme celkovou hodnotu součtu rozdělit. Informace o poměru může být odhadnuta nebo vypočítána ze vzorku měření těchto časů zvláště. Tato informace je uvedena pouze jako návrh zjednodušení měření.

Pro funkci *Kontrola cestujícího pomocí WTMD* je čas definován jako čas od výzvy pracovníka k průchodu do samotného průchodu cestujícím. Kontrola je ukončena zazněním či nezazněním alarmu.

Čas funkce *Dodatečná kontrola cestujícího* je měřen jako čas od prvního zaznění alarmu přístroje WTMD nebo od zahájení kontroly cestujícího bezpečnostním pracovníkem do odchodu cestujícího od pracovníka.

Doplňující funkce *Cestující má zaměstnance* má definován čas od průchodu cestujícího průchozím detektorem kovů do odchodu od bezpečnostních pracovníků ke svým zavazadlům neboli do opuštění zóny, ve které probíhají dodatečné kontroly cestujících.

Funkce *Odchod cestujícího* nemá definován výstup, neovlivňuje tedy následující funkci, proto je zbytečné pro ni měřit, zadávat nebo generovat data, zůstala by totiž po výpočtu nevyužita.

Čas pro funkci *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG* definuji jako čas mezi vjezdem bedýnky po pásu do rentgenu a rozhodnutím na křižovatce trati, jestli bude zavazadlo dále pokračovat k dodatečné kontrole nebo na čistou trať.

Pro funkci *Dodatečná kontrola příručního zavazadla* představuje hodnota času interval mezi rozhodnutím o vyřazení příručního zavazadla z hlavní trati až do ukončení dodatečné kontroly a předání zkontrolovaných věcí cestujícímu.

Další funkce *Příruční zavazadlo míří na čistou trať* má definovaný čas jako interval mezi nevyřazením bedýnky z hlavní trati a převzetím cestujícím.

Hodnoty času pro funkci *Dozorování* budou popisovat čas, jaký je věnován cestujícímu a jeho zavazadlu bezpečnostními pracovníky. Jedná se o čas, který je jednotlivým cestujícím a jim příslušícímu příručnímu zavazadlu věnován od začátku funkce *Příchod cestujícího* do ukončení funkce *Odchod cestujícího*, obě funkce se týkají stejného cestujícího.

Poslední funkce *Zajištění funkčnosti technologií* nebude mít hodnoty času definovány. Žádná definice se na vyhodnocení za podmínek času totiž nehodí. Tato funkce bude tedy vyhodnocena pouze za podmínek přesnosti, což je možné, protože nezadané hodnoty času nebudou celkovou variabilitu snižovat ani zvyšovat.

5.1.2 Sledované veličiny přesnosti

Některé hodnoty přesnosti jsou definovány kvantitativně, jiné kvalitativně. Kvantitativní popis určuje počty bedýnek, zaměstnanců nebo použitých technologií. Kvalitativní popis představuje přímo ohodnocení variability dané funkce, číslo 1 představuje variabilitu kategorie přesný, číslo 2 kategorii přijatelný a číslo 3 nepřesný. Oba dva případy vyjádření budou bez jednotky.

Hodnoty přesnosti pro první funkci *Příchod cestujícího* představuje počet cestujících přicházejících k jedné přepážce.

Funkce *Příprava cestujícího* a *Příprava příručního zavazadla* probíhají zároveň, takže analogicky s postupem z předchozí podkapitoly o hodnotách času se může přesnost měřit pro obě funkce zároveň a následně využít poměru k rozdělení celkové hodnoty. Přesnost těchto funkcí bude určovat počet využitých bedýnek. Pro funkci *Příprava cestujícího* se jedná o bedýnky využitě na osobní věci cestujícího z kapes, pokrývkou hlavy nebo svrchní část oděvu. Pro funkci *Příprava příručního zavazadla* se jedná o bedýnky

využité na samotné zavazadlo a deklarované předměty z něj. Výčet všech předmětů odkládaných do bedýnek pro obě funkce je uveden v kapitole s definicemi funkcí (4.2).

Hodnoty pro přesnost funkce *Kontrola cestujícího pomocí WTMD* udávají na základě průběhu této funkce přímo hodnoty přesnosti, a to 1 nebo 3. Hodnota 1 (přesný) představuje takový průběh kontroly, který je plynulý a zahrnuje pouze jednu osobu. Pokud se během kontroly pomocí průchozího detektoru kovů cestující zastavuje nebo vchází do rámu společně s jinými cestujícími, je přidělena přesnosti hodnota 3 (nepřesný). Pro hodnotu 2 (přijatelný) žádný průběh funkce není předdefinován, protože pro tuto funkci existují pouze krajní možnosti výstupu, tedy přesný a nepřesný.

Funkce *Dodatečná kontrola cestujícího* má definované hodnoty přesnosti tak, že opět popisují přímo variabilitu za podmínek přesnosti, jsou tedy přidělovány hodnoty 1, 2 nebo 3 podle průběhu funkce. Hodnota 1 (přesný) je přidělena v případě, že kontrola probíhá na takovém místě, že ostatní cestující nevyžadující dodatečnou kontrolu mohou procházet. Hodnota 2 (přijatelný) je přidělována, pokud probíhají dvě kontroly současně nebo pokud probíhá pouze jedna dodatečná kontrola a jeden cestující je zároveň pod dozorem zaměstnance a na kontrolu čeká. Hodnota 3 (nepřesný) je přidělována funkci v tom případě, že probíhá pouze jedna dodatečná kontrola na takovém místě nebo takovým způsobem, že tok cestujících je přerušen.

Pro funkci *Cestující míjí zaměstnance* žádná proměnná přesnosti definována není. Předpokládám, že průběh této funkce bude probíhat vždy v rámci kategorie přesný, všechny hodnoty budou tedy 1, což celkovou variabilitu funkce neovlivní.

Stejně jako veličina času pro funkci *Odchod cestujícího* ani veličina přesnosti není definována.

Funkce *Kontrola příručního zavazadla* nebude mít definovanou veličinu přesnosti, takže budou opět zadávány hodnoty 1 (přesný), které nijak celkovou variabilitu funkce neovlivní.

Další veličina popisující přesnost pro funkci *Dodatečná kontrola příručního zavazadla* je definována jako počet využitých zařízení a způsobů při druhotné kontrole, mezi které může patřit například ruční dohledání, využití ETD nebo přístroj ke kontrole lahví.

Veličiny přesnosti funkce *Příruční zavazadlo míří na čistou trať* budou popisovat přímo variabilitu pro danou funkci, tedy hodnoty 1, 2 a 3 budou popisovat přesný, přijatelný a nepřesný výsledek. Pokud se bedýnky jednoho cestujícího řadí za sebou, je uvedena

hodnota 1 (přesný). Pokud je mezi ně vložena jedna cizí bedýnka, je uvedena hodnota 2 (přijatelný), je-li vloženo cizích bedýnek více, bude uvedena hodnota 3 (nepřesný).

Funkci *Dozorování* budou z hlediska přesnosti popisovat veličiny určující počet zaměstnanců věnující se jednomu cestujícímu.

Funkce *Zajištění funkčnosti technologií*, která nemá definované veličiny času, bude popsána pouze hodnotami přesnosti, které výjimečně nebudou popisovat ani počty, ani přímo variabilitu. V tomto případě se bude jednat o procento funkčních přístrojů z celkového počtu potřebných přístrojů na sledovaném stanovišti.

5.2 Přidělení skóre variability sledovaným veličinám

Po určení sledovaných veličin pro jednotlivé funkce je třeba přidělit každé hodnotě skóre variability. Ve svém postupu jsem se od metody, kterou popisuje R. Patriarca, v této fázi částečně odchýlil. Důvodem je to, že R. Patriarca způsob, jak převést naměřená data na skóre, vůbec neuvádí.

R. Patriarca již vychází z pravděpodobnostního rozdělení hodnot do jednotlivých kategorií a skóre má tedy již přidělené. Skóre v metodě, kterou uvádí, nabývá hodnot 1, 2, 3 a 4, čím větší hodnota, tím větší variabilita. Tyto hodnoty řadí konkrétní výstup do jedné ze čtyř kategorií. V podmínkách času jsou to kategorie včas, brzy, pozdě a vůbec, v podmínkách přesnosti to jsou kategorie přesný, přijatelný, nepřesný a špatný. [19]

Ve své práci jsem se rozhodl, že vynechám kategorie popsané hodnotou 4, tedy kategorie vůbec a špatný. Je to z toho důvodu, že kdyby se takové hodnoty v provozu objevily, tak budou již zahrnuty v kategoriích pozdě a nepřesný, což už samo o sobě bude představovat velkou variabilitu. Zároveň by zařazení naměřené hodnoty do kategorie popsané hodnotou skóre 4 mohlo být problematické a nejasné.

Dále jsem se rozhodnul neuvažovat pouze celá čísla popisující kategorie, tedy 1, 2 a 3, ale místo toho budu uvažovat relativní hodnoty, které budou závislé na naměřených hodnotách. Maximální hodnotě naměřené nebo vygenerované v sadě pro jednu funkci v rámci podmínek času nebo přesnosti bude přidělena hodnota skóre 3. Ostatním hodnotám bude skóre variability přiděleno úměrně podle maxima příslušné sady. Výhodou použití relativního ohodnocení je to, že není potřeba definovat, jaké intervaly naměřených nebo vygenerovaných hodnot budou představovat jednotlivé kategorie, což by mohlo do vyhodnocení přenést nepřesnosti.

První krok postupu přidělování skóre variability bude tedy pro funkci j probíhat podle následujících rovnic (1) (2).

$$V_j^T(k) = 3 * \frac{t(k)}{\max(t)} \quad (1)$$

$V_j^T(k)$... skóre variability času výstupu funkce j pro měření v pořadí k

$t(k)$... naměřená nebo vygenerovaná hodnota času v pořadí k

$$V_j^P(k) = 3 * \frac{p(k)}{\max(p)} \quad (2)$$

$V_j^P(k)$... skóre variability přesnosti výstupu funkce j pro měření číslo k

$p(k)$... naměřená nebo vygenerovaná hodnota přesnosti v pořadí k

Pomocí těchto rovnic bude všem měřeným nebo generovaným hodnotám přiděleno číslo skóre variability od 0 do 3. Nyní je možné rozdělit sadu dat pro každou funkci za podmínek času nebo přesnosti na tři intervaly, a to první interval od 0 do 1, druhý interval od 1 do 2 a třetí od 2 do 3. Tři intervaly představují pro podmínky časové variability kategorie včas, brzo a pozdě, pro variabilitu přesnosti kategorie přesný, přijatelný a nepřesný.

Po rozdělení na tři intervaly některým hodnotám nepřísluší správné skóre variability. Například první interval od 0 do 1 za podmínek času obsahuje hodnoty s nejmenší variabilitou, ale ve skutečnosti jsou právě tyto hodnoty vypočteny na základě nejnižších naměřených nebo vygenerovaných časových hodnot, tedy těch, které proběhly brzo. Nejmenší variabilitu by měly mít střední hodnoty, které představují kategorii včas. Musí proběhnout vyměnění hodnot variabilit mezi dvěma intervaly, které proběhne tak, že ke všem hodnotám z prvního intervalu je přičtena jednička a ze všech hodnot z intervalu druhého je jednička odečtena. Třetí interval od 2 do 3 představuje hodnoty s variabilitou největší a jsou vypočteny z nejvyšších naměřených nebo generovaných hodnot, které proběhly pozdě. U třetího intervalu je tedy přiřazení hodnot správně. Jediná výjimka u časové variability je podle definice sledovaných veličin u funkce *Dozorování*. U této funkce se sleduje čas věnovaný cestujícím, takže hodnoty skóre variability se nemůže rozdělit do klasických třech kategorií, místo toho budou rozděleny do kategorií adekvátní, příliš a málo. Střední hodnoty pro tuto funkci budou přiřazeny do kategorie adekvátní a budou se řadit do intervalu od 0 do 1, nejnižší hodnoty budou představovat kategorii málo a patřit budou do intervalu 2 až 3 a nejvyšší hodnoty budou spadat do kategorie příliš a jejich skóre variability bude náležet intervalu od 1 do 2.

Sledované veličiny přesnosti jsou na základě výpočtu přiřazeny do intervalů skóre variability většinou správně. Bud' je variabilita zadána přímo před výpočtem, který ji poté nezmění nebo platí, že čím větší počet, tím větší variabilita. Výjimkou, kdy musí proběhnout záměna hodnot mezi intervaly, jsou funkce *Dodatečná kontrola zavazadla* a *Zajištění funkčnosti technologií*. U první zmíněné se musí intervaly zaměnit tak, aby platilo, že čím větší počet použitých zařízení, tím větší přesnost. U druhé musí platit, že čím větší procento funkčních technologií, tím větší přesnost výstupu funkce.

Pokud je výstup funkce vykonán včas, variabilita bude nízká. Pokud bude vykonána brzy nebo pozdě, variabilita bude větší. Větší variabilitu bude ale představovat stejně jako v metodě, na kterou navazují, výstup z kategorie pozdě, protože ten způsobí ztrátu času při výkonu následující funkce. Ztráta času by měla ve většině případů způsobovat větší variabilitu než pouhé brzké spuštění funkce. Jednotlivým kategoriím pro podmínky času jsou v první z dvojice tabulek (Tab. 4) přiřazeny intervaly skóre variability.

Kategoriím za podmínek přesnosti jsou přiřazeny intervaly podle druhé tabulky (Tab. 5). Přesný výstup funkce bude rozhodně představovat nejmenší možnou variabilitu a s rostoucí nepřesností bude růst i variabilita.

Tabulka 4 - Skóre variability pro kategorie času

Kategorie	Interval skóre
Včas	(0,1)
Brzy	(1,2)
Pozdě	(2,3)

Tabulka 5 - Skóre variability pro kategorie přesnosti

Kategorie	Interval skóre
Přesný	(0,1)
Přijatelný	(1,2)
Nepřesný	(2,3)

Variabilita výstupu funkce j je vypočtena podle následující rovnice (3). [19]

$$OV_j = V_j^T * V_j^P \quad (3)$$

OV_j ... variabilita výstupu funkce j ,

V_j^T ... skóre variability za podmínek času pro funkci j ,

V_j^P ... skóre variability za podmínek přesnosti pro funkci j

5.3 Definice zesilovacích efektů

Výstupy funkcí ovlivňují variabilitu funkcí následujících. Variabilita následující funkce může být ovlivněna kladně i negativně, a to podle toho, o jakou kategorii skóre variability se jedná. Například výstup funkce, který představuje aspekt podmínky pro funkci

následující, může variabilitu příslušné tokové funkční vazby zvýšit, v případě proběhne-li pozdě, protože způsobí ztrátu času ve výkonu následující funkce. Proběhne-li první funkce včas, může variabilitu následující funkce utlumit. Podobně je to dáno pro podmínky variability přesnosti, přesný výstup může mít tlumící efekt na následující funkci, nepřesný bude mít pravděpodobně efekt zesilující. Určování konkrétních efektů funkčních tokových vazeb musí být vyhodnoceno jednotlivě s ohledem na charakter funkcí a na základě expertní znalosti systému.

Zesilovací efekty musí být tedy podle jejich účinku ohodnoceny číselně, aby mohly být zahrnuty do celkového vyjádření variability funkční tokové vazby. Variabilitu výstupu nezmění hodnota 1, ta bude příslušet možnosti, kdy kategorie výstupu nebude mít žádný efekt. Menší hodnoty než 1 budou variabilitu tlumit, větší hodnoty budou variabilitu naopak zesilovat. Pro můj model budou stejně jako v příkladu, který uvádí R. Patriarca, veličiny zesilovacích efektů nabývat hodnot podle následující tabulky (Tab. 6).

Tabulka 6 - Účinky zesilovacích efektů

a_{ij}^T (nebo a_{ij}^P)	Efekt kategorie variability výstupu funkce i na funkci j
0.5	Tlumící efekt
1	Žádný efekt
2	Zesilující efekt

Hodnoty z předchozí tabulky (Tab. 6) mohou být pro jednotlivé vazby systému odhadnuty na základě expertní znalosti nebo vypočteny podle měření vhodných veličin. Čím detailněji jsou hodnoty efektů definované, tím přesnější bude vyhodnocení. Zesilovací efekty nemusí nabývat pouze třech hodnot, jak je uvedeno v tabulce (Tab. 6). V systému se může objevit výstup s variabilitou tak velkou, že ji bude popisovat číslo větší než 2. Naopak některý výstup může mít natolik tlumící účinek, že hodnota 0.5 bude příliš vysoká a výstup pak může být popsán libovolným menším číslem. Číslo musí být ale vždy kladné, aby celková variabilita nebyla vynulována.

Následující tabulka (Tab. 7) obsahuje hodnoty zesilovacích efektů variabilit za podmínek času (a^T) pro jednotlivé funkční tokové vazby, které jsou definované výstupem funkce a následující funkcí. Jednotlivé hodnoty byly přiřazeny na základě expertní znalosti systému. Kategorie v hlavičce v závorkách adekvátní, příliš a málo platí pouze pro všechny následující funkce výstupu *dozor*. Pro výstup *technologie v pořádku* a všechny jeho příslušné následující funkce je zvolena hodnota zesilovacího efektu 1, a to z toho

důvodu, aby celková variabilita nebyla ovlivněna, protože funkce s tímto výstupem nemá definované sledované veličiny.

Tabulka 7 - Hodnoty zesilovacího efektu variabilit za podmínek času

#	Výstup	Funkce	brzy (adekvátní)	včas (příliš)	pozdě (málo)
1	cestující dorazil	Příprava cestujícího	0,5	1	2
2	cestující připraven	Příchod cestujícího	0,5	1	2
3		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	2	1	0,5
4	alarm zazněl	Dodatečná kontrola cestujícího	1	1	1
5	alarm nezazněl	Cestující míjí zaměstnance	1	1	1
6	cestující zkontrolován (F4)	Odchod cestujícího	0,5	1	2
7		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	0,5	1	2
8	cestující zkontrolován (F5)	Odchod cestujícího	1	1	1
9		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	1
10	příruční zavazadlo dorazilo	Příprava příručního zavazadla	0,5	1	2
11	příruční zavazadlo připraveno	Příchod cestujícího	0,5	1	2
12		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	2	1	0,5
13		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	2	1	0,5
14	příruční zavazadlo vybráno pro dodatečnou kontrolu	Dodatečná kontrola příručního zavazadla	2	1	0,5
15	příruční zavazadlo čisté	Příruční zavazadlo míří na čistou trať	2	1	0,5
16	příruční zavazadlo zkontrolováno (F9)	Odchod cestujícího	0,5	1	2
17		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	1	1
18	příruční zavazadlo zkontrolováno (F10)	Odchod cestujícího	1	1	1
19		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	1	1
20	dozor	Příprava cestujícího	0,5	1	2
21		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	0,5	2
22		Dodatečná kontrola cestujícího	0,5	1	2
23		Dodatečná kontrola příručního zavazadla	1	2	1
24		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	2	0,5
25		Příprava příručního zavazadla	1	0,5	2
26	technologie v pořádku	Příprava cestujícího	1	1	1
27		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	1
28		Dodatečná kontrola cestujícího	1	1	1
29		Příprava příručního zavazadla	1	1	1
30		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	1	1
31		Dodatečná kontrola příručního zavazadla	1	1	1
32		Příruční zavazadlo míří na čistou trať	1	1	1

Druhá tabulka (Tab. 8) popisuje hodnoty zesilovacích efektů variabilit za podmínek přesnosti (a^p) pro jednotlivé funkční tokové vazby. Hodnoty byly opět určeny expertně a pro jednotlivé vazby zvlášť. Nabývají stejných hodnot jako zesilovací efekty variabilit času, tedy půl, jedna a dva. Pro funkce *Cestující míjí zaměstnance* a *Kontrola zavazadla pomocí RTG* nejsou definované sledované veličiny, proto kategorie variabilit jejich výstupů tvořící funkční tokové vazby číslo 8, 9, 13 a 14 mají přidělenou hodnotu zesilovacího efektu 1.

Tabulka 8 - Hodnoty zesilovacího efektu variabilit za podmínek přesnosti

#	Výstup	Funkce	přesný	přijatelný	ne-přesný
1	cestující dorazil	Příprava cestujícího	1	1	2
2	cestující připraven	Příchod cestujícího	1	1	1
3		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	1
4	alarm zazněl	Dodatečná kontrola cestujícího	1	1	2
5	alarm nezazněl	Cestující míjí zaměstnance	1	1	2
6	cestující zkontrolován (F4)	Odchod cestujícího	1	1	2
7		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	2
8	cestující zkontrolován (F5)	Odchod cestujícího	1	1	1
9		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	1
10	příruční zavazadlo dorazilo	Příprava příručního zavazadla	1	1	2
11	příruční zavazadlo připraveno	Příchod cestujícího	1	1	1
12		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	0,5	1	2
13		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	1
14	příruční zavazadlo vybráno pro dodatečnou kontrolu	Dodatečná kontrola příručního zavazadla	1	1	1
15	příruční zavazadlo čisté	Příruční zavazadlo míří na čistou trať	1	1	1
16	příruční zavazadlo zkontrolováno (F9)	Odchod cestujícího	0,5	1	2
17		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	1	2
18	příruční zavazadlo zkontrolováno (F10)	Odchod cestujícího	1	1	2
19		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	1	1
20	dozor	Příprava cestujícího	1	0,5	0,5
21		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	1
22		Dodatečná kontrola cestujícího	1	0,5	0,5
23		Dodatečná kontrola příručního zavazadla	1	1	1
24		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	1	1
25		Příprava příručního zavazadla	1	0,5	0,5
26	technologie v pořádku	Příprava cestujícího	1	1	2
27		Kontrola cestujícího pomocí WTMD	1	1	2
28		Dodatečná kontrola cestujícího	1	1	2
29		Příprava příručního zavazadla	1	1	2
30		Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	1	2
31		Dodatečná kontrola příručního zavazadla	1	1	2
32		Příruční zavazadlo míří na čistou trať	1	1	2

Variabilita funkční tokové vazby je určena součinem variability výstupu a zesilovacích faktorů za podmínek času a přesnosti podle následujícího vzorce (4). [19]

$$CV_{ij} = OV_j * a_{ij}^T * a_{ij}^P \quad (4)$$

CV_{ij} ... variabilita funkční tokové vazby mezi funkcemi i a j

OV_j ... variabilita výstupu funkce j

a_{ij}^T ... zesilovací efekt časové variability výstupu funkce j na funkci i

a_{ij}^P ... zesilovací efekt variability přesnosti výstupu funkce j na funkci i

Ve výpočtu variability funkční tokové vazby (CV) pomocí daného postupu a vypsáných konstant je možné určit maximální možnou hodnotu. Pokud bude výstup funkce nejvíce

nepřesný ze všech měřených dat v sadě, zároveň bude proveden nejpozději ze všech hodnot v sadě a zároveň oba zesilující efekty budou mít zesilující účinek, dosáhne funkční toková vazba maximální možné variability CV, a to 36 (3*3*2*2). Minimální hodnota se přesně určit nedá, bude se blížit nule, vždy ale bude kladná.

5.3.1 Příklad určení zesilovacích efektů a výpočtu hodnoty CV

Pro lepší srozumitelnost přidělování variability výstupu podle naměřených dat, určování zesilovacích efektů a výpočtu variability funkční tokové vazby uvedu jednoduchý příklad. Pro funkci *Příprava cestujícího* byly naměřeny sady dat pro čas a pro přesnost, každá z nich obsahuje 5 hodnot. Konkrétně se jedná o data uvedená v následující tabulce (Tab. 9).

Tabulka 9 - Data pro ukázkový výpočet

	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5
Čas [s]	25	30	80	35	25
Přesnost [-]	2	3	1	1	1

Otázkou je, jaká variabilita bude působit na funkční tokové vazbě, mezi funkcí *Příprava cestujícího* a *Kontrola cestujícího* pomocí WTMD pro data číslo 1. Nejdříve se přidělí skóre variability výstupu za podmínek času a přesnosti podle uvedených vzorců, a to následovně.

$$V^T = 3 * \frac{t(1)}{\max(t)} = 3 * \frac{25}{80} = 0,9375 \rightarrow \text{jedná se o první interval } (0,1) \rightarrow \text{kategorie } \mathbf{brzy}$$

\rightarrow variabilita musí být vyšší a je přičtena hodnota 1 $\rightarrow V^T = 1,9375$

$$V^P = 3 * \frac{p(1)}{\max(p)} = 3 * \frac{2}{3} = 2 \rightarrow \text{jedná se o druhý interval } \langle 1, 2 \rangle \rightarrow \text{kategorie } \mathbf{přijatelný}$$

\rightarrow variabilita je ve správném intervalu $\rightarrow V^P = 2$

Dále jsou podle tabulek (Tab. 7 a Tab. 8) určeny zesilovací efekty. Ve třetích řádcích obou tabulek se nachází vazba mezi požadovanými funkcemi. Podle kategorií variability brzy a přijatelný jsou určeny hodnoty zesilovacích efektů následovně:

$$a^T = 2, \quad a^P = 1.$$

Variabilitu funkční tokové vazby mezi funkcemi *Příprava cestujícího* a *Kontrola cestujícího* pomocí WTMD bude určovat součin nalezených čtyř hodnot, a to následovně.

$$CV = V^T * V^P * a^T * a^P = 1,9375 * 2 * 2 * 1 = 7,5$$

Stejně se dají vypočítat hodnoty variabilit ostatních funkčních tokových vazeb a také pro ostatní naměřená nebo vygenerovaná data.

5.4 Podmínková variabilita

Celkové ohodnocení variability pro jednotlivé funkční tokové vazby ovlivňuje kromě hodnoty CV dále ještě jeden faktor. Tím je hodnota podmínkové variability, která popisuje působení různých vlivů na každodenní chod systému. V následujících podkapitolách budou určeny hodnoty nutné pro výpočet podmínkové variability.

5.4.1 Výkonnostní podmínky

V první řadě je nutno definovat konkrétní počet m podmínek SPC (Scenario Performance Conditions), které na daný systém mohou mít vliv. Pro systém bezpečnostní kontroly se může jednat například o zkušenosti zaměstnanců, pracovní postupy, počasí a další. Těchto několik zmíněných příkladů je pro vybraný systém společně s dalšími podmínkami rozděleno do čtyř ($m=4$) kategorií, kterými jsou:

- **SPC¹ – Podmínky zaměstnanců** – pracovní zátěž, zkušenosti, dovednosti;
- **SPC² – Organizační podmínky** – pracovní postupy, školení zaměstnanců;
- **SPC³ – Podmínky cestujících** – jazyk, zkušenost s bezpečnostní kontrolou, počasí (zima → více oblečení);
- **SPC⁴ – Vnější podmínky** – různá narušení, nečekané události.

Dále se určí vlivy definovaných podmínek na jednotlivé funkce, které popisuje matice SPCI (Scenario Performance Conditions Impact). Matice SPCI má pro sledovaný model této práce následující tvar (Tab. 10).

Tabulka 10 - Tvar matice SPCI

	SPC ¹	SPC ²	SPC ³	SPC ⁴
Funkce 1	b_1^1	b_1^2	b_1^3	b_1^4
Funkce 2	b_2^1	b_2^2	b_2^3	b_2^4
...
Funkce 12	b_{12}^1	b_{12}^2	b_{12}^3	b_{12}^4

Hodnoty b_j^k v matici SPCI popisují vliv výkonnostní podmínky SPC^k na funkci systému j . V případě, že hodnota je rovna nule, znamená to, že výkonnostní podmínka na danou funkci nemá žádný vliv. Pokud je hodnota rovna jedné, je to z důvodu, že podmínka má na danou funkci naopak vliv velký. Například podmínky cestujících SPC^3 nebudou nijak

ovlivňovat první funkci *Příchod cestujících*, ale zato budou mít velký vliv na druhou funkci *Příprava cestujících*. Hodnota 0,5 popisuje průměrně velký vliv na danou funkci. V tabulce (Tab. 11) jsou shrnuty významy jednotlivých hodnot z matice SPCI.

Tabulka 11 - Významy hodnot z matice SPCI

b_j^k	Vliv výkonnostní podmínky SPC* na funkci systému j
0	Žádný vliv
0,5	Průměrný vliv
1	Velký vliv

I přesto, že v předchozí tabulce (Tab. 11) se objevují pouze tři různé hodnoty, proměnná b_j^k může nabývat libovolných hodnot od nuly do jedné. Ostatní hodnoty mezi nulou a jedničkou představují podrobnější ohodnocení vlivu podmínky na funkci. Podrobnější hodnoty by se daly získat pomocí vhodného měření a sledování dané části systému v určitých podmínkách nebo na základě odbornějšího odhadu. Hodnoty pro tuto práci byly odhadnuty na základě znalosti provozu bez jakýchkoliv statistických dat, proto jsou v mém postupu stejně jako v metodě, kterou uvádí R. Patriarca, využity pouze krajní hodnoty 0 a 1 a prostřední hodnota 0,5 popisující průměrný vliv. V následující tabulce (Tab. 12) je uvedena matice SPCI, která je použita pro výpočet podmínkové variability sledovaného systému.

Tabulka 12 - Matice SPCI vlivů podmínek na jednotlivé funkce

#	Funkce	SPCI			
		SPC ¹	SPC ²	SPC ³	SPC ⁴
1	Příchod cestujících	0,5	0,5	0	0,5
2	Příprava cestujících	1	0,5	1	1
3	Kontrola cestujících pomocí WTMD	0,5	0	0,5	1
4	Dodatečná kontrola cestujících	1	1	0,5	1
5	Cestující můj zaměstnanec	0	0	0	0
6	Odchod cestujících	0	0	0,5	0
7	Příprava příručního zavazadla	1	1	0	1
8	Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	1	0,5	0	1
9	Dodatečná kontrola příručního zavazadla	1	1	0,5	1
10	Příruční zavazadlo míří na čistou trať	0	0	0	0,5
11	Dozorování	1	1	0	0,5
12	Zajištění funkčnosti technologií	0,5	0,5	0	1

5.4.2 Scénáře

K vyhodnocení systému je zvolen konkrétní počet z scénářů. Scénáře popisují určité kombinace výkonnostních podmínek SPC^k a jsou definovány zesilujícími efekty variability SPC_z^k jednotlivých podmínek v daném scénáři. Jednotlivé scénáře popisuje matice S , která má pro vyhodnocovaný systém v této práci obecný tvar popsany v následující tabulce (Tab. 13).

Tabulka 13 - Obecný tvar matice S

	SPC^1	SPC^2	SPC^3	SPC^4
Scénář 1	SPC_1^1	SPC_1^2	SPC_1^3	SPC_1^4
Scénář 2	SPC_2^1	SPC_2^2	SPC_2^3	SPC_2^4
...
Scénář 6	SPC_6^1	SPC_6^2	SPC_6^3	SPC_6^4

Proměnné SPC_z^k v tabulce (Tab. 13) představují vliv podmínky SPC^k na variabilitu ve scénáři číslo z . Nabývají třech různých hodnot, ty popisují tři možné velikosti vlivu v daném scénáři, a to podle následující tabulky (Tab. 14).

Tabulka 14 - Význam hodnot z matice S

SPC_z^k	Vliv SPC^k na variabilitu v rámci scénáře z
1	Žádný efekt na variabilitu
2	Malý efekt na variabilitu
4	Velký efekt na variabilitu

Z tabulky (Tab. 13) jde poznat, že pro tuto práci nejsou zohledněny všechny kombinace vlivů podmínek, bylo předdefinováno pouze šest scénářů. Tyto scénáře zohledňují situace, kdy organizační podmínky nemají žádný vliv na variabilitu a podmínky cestujících mají malý vliv. Podmínky zaměstnanců nabývají postupně všech třech hodnot velikosti vlivu a vnější podmínky nemají v prvních scénářích žádný vliv a v dalších mají vliv velký. Jedná se pouze o průřez všech kombinací. V rámci aplikace má však uživatel možnost vyhodnotit systém v závislosti na scénáři, který si zvolí sám přidělením vlastní kombinace hodnot SPC_z^k . Předdefinovaných šest scénářů pro vyhodnocení v této práci je zobrazeno pomocí matice S v následující tabulce (Tab. 15).

Tabulka 15 - Matice S popisující jednotlivé scénáře

	SPC ¹	SPC ²	SPC ³	SPC ⁴
Scénář 1	1	1	2	1
Scénář 2	2	1	2	1
Scénář 3	4	1	2	1
Scénář 4	1	1	2	4
Scénář 5	2	1	2	4
Scénář 6	4	1	2	4

5.4.3 Výpočet podmínkové variability

Podmínková variabilita e_j^z popisuje vliv výkonnostních podmínek na výstup funkce j probíhající za scénáře z . Vypočte se jako průměrná hodnota všech součinů příslušných hodnot matice S určující daný scénář z a hodnot matice SPC^k určující daný výstup funkce j , a to pomocí následujícího vzorce (5). [19]

$$e_j^z = \frac{\sum_{k=1}^m SPC_z^k * b_j^k}{m} \quad (5)$$

e_j^z ... podmínková variabilita výstupu funkce j za scénáře z

SPC_z^k ... vliv podmínky SPC^k na variabilitu za scénáře z

b_j^k ... vliv výkonnostní podmínky SPC^k na funkci j

m ... počet výkonnostních podmínek

V případě, že by hodnoty b_j^k pro funkci j a všechny podmínky SPC byly rovny nule, nastala by situace, kdy by podmínková variabilita e_j^z byla také rovna nule a vynulovala by tak i variabilitu funkční tokové vazby. V této práci tato situace nastává u funkce *Cestující míjí zaměstnance*, protože příslušný pátý řádek matice SPC^k (Tab. 11) obsahuje pouze hodnoty 0. Aby se tomuto případu předešlo a variabilita funkční tokové vazby nebyla nulovou podmínkovou variabilitou ovlivněna, musí být nulová hodnota e_j^z vždy nahrazena hodnotou 1. Podmínková variabilita by zároveň neměla celkovou variabilitu tlumit, takže musí být odfiltrovány i veškeré hodnoty e_j^z menší než 1. Vzorec je tedy upraven do následující podoby (6). [19]

$$e_j^z = \max \left\{ 1; \frac{\sum_{k=1}^m SPC_z^k * b_j^k}{m} \right\} \quad (6)$$

5.5 Výpočet čísla VPN

Číslo VPN_{ij}^z (Variability Probability Number) se skládá ze všech veličin, které již byly v předchozích podkapitolách popsány. Hodnota VPN_{ij}^z představuje číselné ohodnocení variability funkční tokové vazby mezi funkcemi i a j za scénáře z . Zohledněna je variabilita za podmínek času a přesnosti, stejně tak je započtena podmínková variabilita určená scénářem z . Vzorec pro výpočet konečné variability vazby VPN vypadá následovně (7): [19]

$$VPN_{ij}^z = V_j^T * V_j^P * a_{ij}^T * a_{ij}^P * e_j^z \quad (7)$$

VPN_{ij}^z ... celková variabilita funkční tokové vazby mezi funkcemi j a i za scénáře z

V_j^T ... skóre variability za podmínek času pro funkci j

V_j^P ... skóre variability za podmínek přesnosti pro funkci j

a_{ij}^T ... zesilovací efekt časové variability výstupu funkce j na funkci i

a_{ij}^P ... zesilovací efekt variability přesnosti výstupu funkce j na funkci i

e_j^z ... podmínková variabilita výstupu funkce j za scénáře z

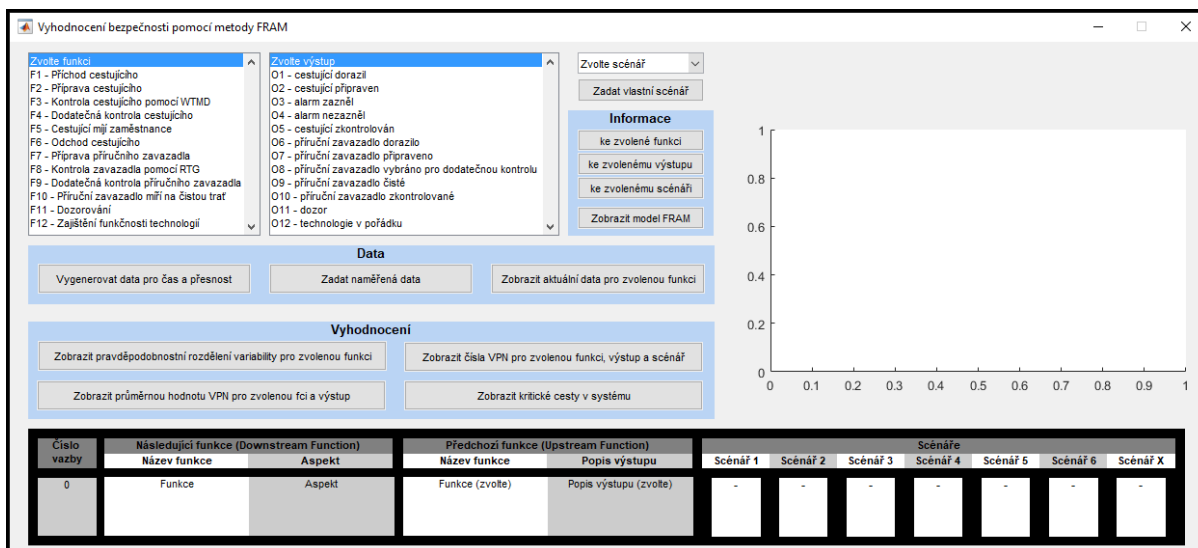
Průměrné hodnoty VPN pro všechny vazby, které jsou vypočteny ze všech zadaných dat pro čas a přesnost každé funkce, představují konečné vyhodnocení celého systému. Hodnota VPN má relativní význam, nepředstavuje žádný počet ani pravděpodobnost. Důležité ale je, že hodnoty VPN pro všechny vazby jsou vypočteny na stejném principu a dají se tedy navzájem porovnávat, což umožní najít nejslabší místa v celém systému. Výsledné hodnoty jsou dále závislé na expertní znalosti systému a s tím souvisejícím určením konstant například zesilovacích efektů.

6 Aplikace pro vyhodnocení

Na základě popsaného modelu FRAM a matematického aparátu jsem ve své práci vytvořil aplikaci, která představuje rozhraní mezi výpočty a uživatelem. Uživatel může především zadávat své vlastní vstupy, podle kterých bude bezpečnost vyhodnocena. Výsledky jsou uživateli prezentované přehlednou formou a zároveň aplikace umožňuje částečně sledovat postup výpočtů. Uživatel může také pracovat s automaticky generovanými daty.

Výpočty pro vyhodnocení variability v systému byly provedeny pomocí programu MATLAB (MATrix LABoratory) verze 9.0 (R2016a), který poskytuje programovací prostředí a programovací jazyk. Tento program byl vybrán, protože je schopen dosáhnout požadovaných výsledků této práce. Upřednostněn před jinými programy byl díky mé zkušenosti s ním a znalosti principů, které tento programovací jazyk využívá. Samotná aplikace a uživatelské rozhraní bylo vytvořeno pomocí komponentu programu MATLAB, kterým je GUIDE (Graphical User Interface Development Environment). GUIDE umožňuje interakci mezi uživatelem a výpočtem pomocí tlačítek, posuvníků, dialogových oken a dalších prvků. Uživatel pomocí výsledku tohoto komponentu může zadávat a upravovat taková data, která aplikace a zdrojový kód povolují.

Základní okno vytvořené aplikace je k nahlédnutí na výňatku obrazovky na následujícím obrázku (Obrázek 6). Okno aplikace je také uvedeno ve větším formátu v Příloze 3.



Obrázek 6 - Základní okno aplikace

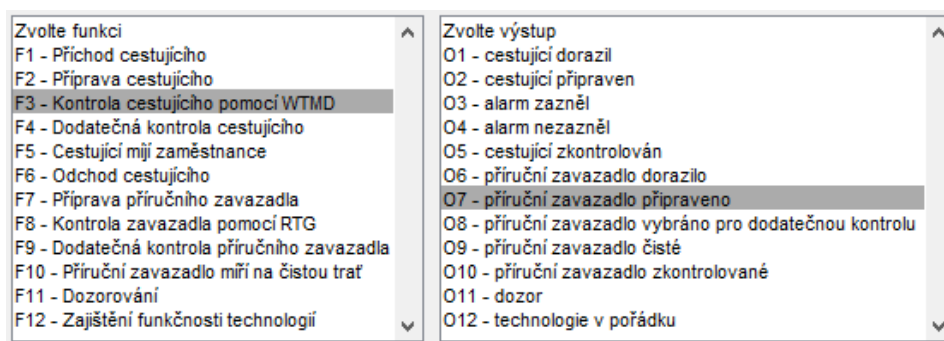
6.1 Funkce aplikace

Okno aplikace je rozděleno na několik částí. Levá část okna obsahuje seznamy funkcí, výstupů a scénářů pro sledovaný systém, které může uživatel postupně volit

a v závislosti na jeho požadavcích měnit. Navíc se pod seznamem předdefinovaných scénářů nachází tlačítko pro zvolení vlastního scénáře. Dále jsou v levé části obrazovky tlačítka, která jsou uspořádána ve třech blocích podle jejich funkcí. Trojice bloků, které jsou označeny modrou barvou, představují kategorii tlačítek informačního charakteru, kategorii tlačítek souvisejících se zadáváním dat a kategorii tlačítek pro vyhodnocení variability. V pravé části obrazovky se nachází prostor pro vykreslování grafů pravděpodobnostního rozdělení variability jednotlivých funkcí a hodnot VPN. Ve spodní části se nachází tabulka, která po zadání vstupů a požadavků na funkční tokovou vazbu, zobrazí průměrné hodnoty VPN pro všechny možné scénáře.

6.1.1 Volba funkcí, výstupů a scénářů

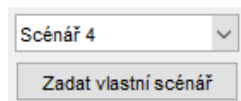
Většina funkcí aplikace vyžaduje před jejím spuštěním zvolení požadované funkce, vazby a/nebo scénáře. Pro tyto účely slouží dva seznamy, jeden s vypsány funkcemi a druhý s vypsány výstupy, které jsou pro systémový model definovány. Pro zvolení funkce nebo výstupu stačí stisknout levé tlačítko myši na požadovaném řádku, který se následně podbarví, což znamená, že funkce nebo výstup jsou zvoleny. Následující obrázek (Obrázek 7) zobrazuje výňatek z aplikace těchto dvou seznamů se zvolenou funkcí a výstupem.



Obrázek 7 - Volba funkce a výstupu v aplikaci

Podmínky, které ovlivňují variabilitu, jsou určeny scénářem, který má uživatel také možnost volit. K tomu slouží rozbalovací seznam, který se nachází vedle seznamů z předchozího obrázku (Obrázek 7). Rozbalovací seznam nabízí šest předdefinovaných scénářů pro vyhodnocení této práce. Pod prvkem rozbalovacího seznamu se nachází tlačítko, pomocí kterého je uživateli nabídnuto zadat svůj vlastní scénář. Po stisknutí tlačítka jsou nejprve zobrazeny informace, jak vlastní scénář zadat a následně je zobrazen formulář, do kterého uživatel zadá vlivy jednotlivých podmínek na variabilitu. Pokud zadá pouze povolené hodnoty, nový scénář se uloží a bude zahrnut do následujícího vyhodnocování. Na vlastní scénář se uživatel i aplikace budou následně

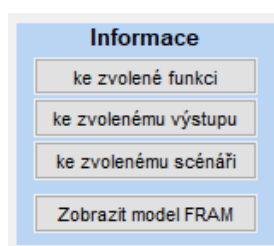
odkazovat jako na Scénář X. Na dalším obrázku (Obrázek 8) je zobrazen zvolený scénář a tlačítko možnosti pro zvolení vlastního scénáře.



Obrázek 8 - Volba scénáře v aplikaci

6.1.2 Informační tlačítka

První blok s názvem Informace, který se nachází pod tlačítkem pro volbu vlastního scénáře, obsahuje čtyři informační tlačítka, díky kterým se uživatel dostane k podrobnějším informacím o částech modelu a výpočtu. Blok informační tlačítek má následující podobu (Obrázek 9).



Obrázek 9 - Blok Informace

Jak již názvy prvních třech tlačítek napovídají, k zobrazení informačního okna musí být zvolena požadovaná funkce, výstup nebo scénář.

Informační okno ke zvolené funkci, které se po stisknutí tlačítka objeví, obsahuje definici funkce společně s jejími definovanými aspekty, konkrétně typy a názvy aspektů. Dále informační okno obsahuje popis sledovaných veličin času a přesnosti. Tyto informace uživatel potřebuje v případě ručního zadávání dat, aby věděl, jaké veličiny pro danou funkci měřit. Pro případ generování dat se v informačních oknech nachází podrobnosti o generovaných datech, konkrétně pravděpodobnostní rozdělení těchto hodnot.

Informační okno pro zvolený výstup obsahuje definici výstupu společně s příslušnou funkcí. Dále jsou uvedeny informace o následujících funkcích zvoleného výstupu, konkrétně názvy následujících funkcí, typy aspektů následujících funkcí a zesilovací efekty (a^T/a^P) různých variabilit zvoleného výstupu na následující funkce. Zesilovací efekty jsou uvedeny společně s vysvětlivkou pořadí a významu jednotlivých hodnot.

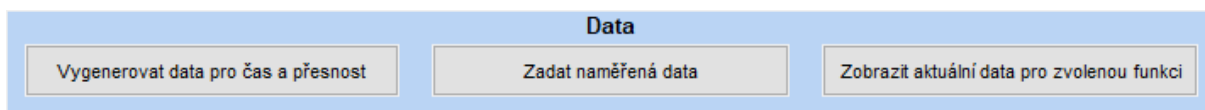
Informační okno pro zvolený scénář obsahuje velikosti vlivů jednotlivých výkonnostních podmínek na celkovou variabilitu, což scénáře definuje. Významy hodnot, které velikost variability určují, jsou dále v okně popsány. Samotné výkonnostní podmínky jsou zde

také vyjmenovány, a to společně s krátkým popisem. Nakonec je uvedena matice SPCI společně s významy hodnot, které se v ní nachází.

Poslední tlačítko umožňuje uživateli nahlédnout na graficky znázorněný model FRAM, podle kterého aplikace vyhodnocuje výsledky. Jedná se o stejné znázornění modelu, které je uvedené v Příloze 1.

6.1.3 Zadávání dat

Pro hlavní funkci aplikace, což je vyhodnocení variability, je potřeba, aby byla k dispozici data. Ta jsou zadávána buď ručně uživatelem nebo mohou být vygenerována automaticky. Obě dvě možnosti vyžadují stisknutí příslušného tlačítka, které se nachází ve druhém bloku s názvem Data. Celkem tento blok obsahuje tři tlačítka a nachází se pod seznamy funkcí a výstupů. Podoba bloku je uvedena na následujícím obrázku (Obrázek 10).



Obrázek 10 - Blok Data

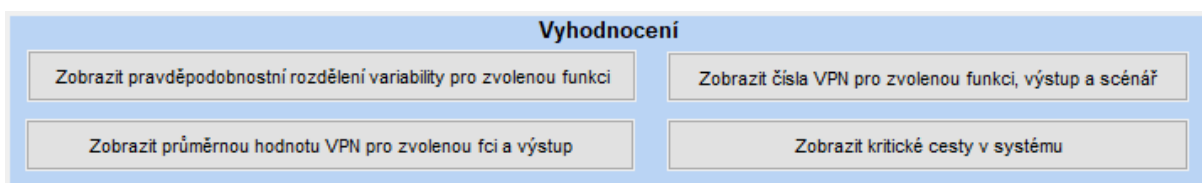
První možnost pro uživatele, jak přivést do programu data, je stisknout zleva první tlačítko bloku a veškerá potřebná data nechat vygenerovat. Ta budou vygenerována náhodně, ale podle pravděpodobnostního rozdělení hodnot, které je uvedeno v informačních oknech pro každou funkci. Po stisknutí tlačítka dostane uživatel možnost, zadat jaký počet hodnot pro každou funkci chce nechat vygenerovat.

Druhou možností pro uživatele je zadat vlastní data, která mohla být naměřena v reálném provozu. To se provádí pomocí přiloženého listu sešitu programu Excel s názvem data.FRAM.xlsx. Tento soubor obsahuje připravený formulář, který je uveden v Příloze 4. Do tohoto formuláře uživatel zadá hodnoty, které jsou v souladu s definicemi sledovaných veličin pro jednotlivé funkce. Zároveň se musí uživatel řídit instrukcemi v daném formuláři, to znamená zadávat stejné počty hodnot pro všechny funkce, místo desetinné čárky používat tečku a hodnoty zadávat bez jednotek. Pokud takové instrukce nebudou dodrženy, data se nemusí do programu nahrát. Pokud uživatel pro některé funkce nemá data nebo je zadávat nechce, například z toho důvodu, že chce vyhodnotit variabilitu pouze v konkrétní části systému, vepíše do daných řádků samé nuly. Do řádků funkcí, které nemají definované sledované veličiny času nebo přesnosti, se vepisují také nuly. Řádek plný nul vyhodnotí program ve výpočtu jako variabilitu s ohodnocením 1, která celkovou variabilitu nezmění. Po vyplnění formuláře se musí soubor nejprve uložit a až poté stisknout tlačítko Zadání naměřená data.

Po zadání dat do programu jedním ze dvou způsobů přichází na řadu třetí a poslední tlačítko v bloku. To umožňuje pro zvolenou funkci zobrazit aktuální data, se kterými program pracuje.

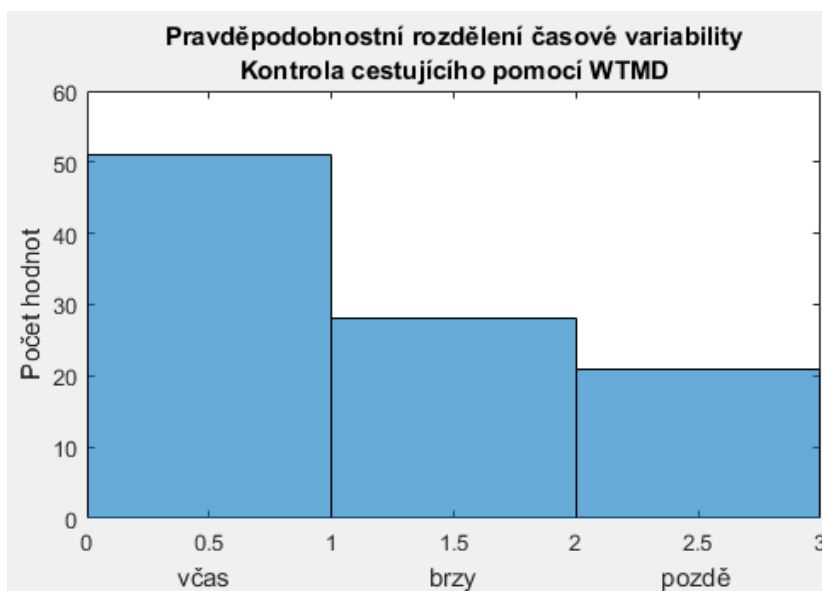
6.1.4 Vyhodnocení variability

Ve chvíli, kdy jsou k dispozici data, může uživatel začít vyhodnocovat variabilitu systému. Čtyři tlačítka k tomu určená se nachází v bloku s názvem Vyhodnocení, který se nachází pod blokem s tlačítky pro zadávání dat. Blok Vyhodnocení je zobrazen na následujícím obrázku (Obrázek 11).



Obrázek 11 - Blok Vyhodnocení

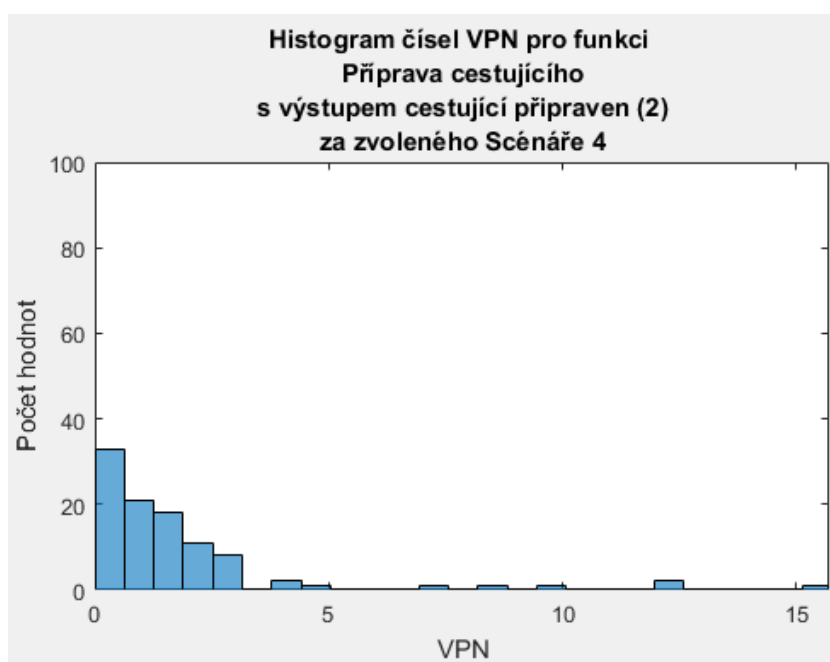
Je-li zvolená funkce, levé horní tlačítko umožňuje vykreslit sloupcový graf pro skóre variability času nebo přesnosti, které je určeno podle nahraných dat. Intervaly na ose x představují kategorie variability a osa y představuje počet hodnot. Pokud bude například zvolena funkce *Kontrola cestujících pomocí WTMD* a uživatel se po stisknutí tlačítka rozhodne pro variabilitu času, může se zobrazit graf jako na následujícím obrázku (Obrázek 12).



Obrázek 12 - Příklad zobrazení pravděpodobnostního rozdělení variability času

Pravé horní tlačítko slouží také k vykreslení sloupcových grafů, ale nyní grafy zobrazují přímo čísla VPN. Číslo VPN popisuje variabilitu funkční tokové vazby za určitého scénáře. To znamená, že před stisknutím tlačítka musí být zvolená funkce, její výstup

a požadovaný scénář. Funkční toková vazba nemusí být přímo definovaná funkcí a jejím výstupem, a to v případě, pokud existuje více následujících funkcí. Poté musí uživatel po stisknutí tlačítka upřesnit svoji volbu. Zvolí-li uživatel například funkci *Příprava cestujícího*, výstup *cestující připraven* a *Scénář 4*, bude muset po stisknutí tlačítka upřesnit, jestli chce zobrazit čísla VPN pro funkční tokovou vazbu s následující funkcí *Příchod cestujícího* nebo *Kontrola cestujícího pomocí WTMD*. Pokud zvolí jako následující funkci *Příchod cestujícího*, může se zobrazit graf jako na následujícím obrázku (Obrázek 13). Intervaly na ose x představují velikosti hodnot čísel VPN, které jsou vypočteny pro všechna zadaná data zvolené funkce. Osa y určuje počty hodnot VPN v daných intervalech.



Obrázek 13 - Příklad zobrazení grafu čísel VPN

Levé spodní tlačítko je spjaté s tabulkou ve spodní části okna aplikace. Po stisknutí tohoto tlačítka se zobrazí do spodní tabulky průměrné hodnoty čísel VPN pro zvolenou funkční tokovou vazbu a postupně pro všechny scénáře. Zvolení funkční tokové vazby probíhá stejně jako u pravého horního tlačítka z tohoto bloku, nejdříve musí být zvolena funkce a její výstup, existuje-li více následujících funkcí pro tuto volbu, musí být vazba po stisknutí tlačítka upřesněna. Následně se v tabulce objeví požadované informace.

Levá polovina tabulky popisuje zvolenou vazbu. V této části tabulky jsou vepsány informace popisující funkční tokovou vazbu jako je její číslo, které se odkazuje na očíslování vazeb v modelu FRAM, dále názvy předchozí a následující funkce, název výstupu a typ aspektu následující funkce. Příklad vyplněné levé části tabulky je uveden

na následujícím obrázku (Obrázek 14), jedná se o funkční tokovou vazbu, která byla uvedena v příkladu na obrázku předchozím (Obrázek 13).

Číslo vazby	Následující funkce (Downstream Function)		Předchozí funkce (Upstream Function)	
	Název funkce	Aspekt	Název funkce	Popis výstupu
2	Příchod cestujícího	vstup	Příprava cestujícího	cestující připraven

Obrázek 14 - Příklad levé části tabulky ve spodní části okna aplikace

Druhá část tabulky již popisuje průměrné hodnoty všech VPN pro jednotlivé scénáře dané funkční tokové vazby. Pokud nebyl zadán vlastní scénář, poslední políčko průměrného čísla VPN pro Scénář X zůstane nevyplněné. Každé vyplněné políčko bude podbarvené v závislosti na velikosti zobrazeného průměru čísel VPN. V programu je definováno pět odstínů barev, kterými jsou zelená, zelenožlutá, žlutá, oranžová a červená. Významy a intervaly jednotlivých barev jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 16). Maximální průměrné hodnoty VPN, které se ve vyhodnocení této práce objevují pro předdefinované scénáře, se pohybují kolem hodnoty deset. Pět intervalů bylo tedy úměrně rozděleno do této škály, a to následovně:

Tabulka 16 - Významy a intervaly barev VPN

Barva	Interval	Význam	Popis
	(0,2)	Ideální stav	Stav, který nevyžaduje žádné zásahy do systému.
	(2,4)	Přijatelné riziko	Zvýšené riziko oproti ideálnímu stavu, ale na přijatelné úrovni, takže není třeba zasahovat.
	(4,6)	Průměrné riziko	Úroveň rizika systém neohrozí, ale záleží na organizaci, pokud chce riziko snížit do přijatelnějších mezí.
	(6,8)	Nežádoucí riziko	Riziko se blíží kritickému stavu a místo by se mělo sledovat a podrobně prozkoumat, nejlépe zavést opatření, která hodnoty VPN sníží.
	8+	Kritický stav	Stav, který může přímo ohrozit funkčnost systému. Je třeba příslušné místo důkladně prohlédnout a zavést opatření ke snížení rizika.

Čím je průměrné číslo VPN větší, tím častěji se větší variability v rámci daného scénáře objevují. Protože se v systému snažíme dosáhnout minimální variability a velká variabilita může způsobovat nečekané události, jsou hodnoty podle toho intuitivně označeny barvou. Příklad zobrazení průměrných hodnot VPN je zobrazen na dalším

obrázku (Obrázek 15). Příklad na tomto obrázku nenavazuje na první část tabulky z předchozího obrázku (Obrázek 14).

Scénáře						
Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6	Scénář X
1.97	2.4625	3.4475	3.4475	3.94	4.925	6.895

Obrázek 15 - Příklad levé části tabulky ve spodní části okna aplikace

Poslední tlačítko z bloku Vyhodnocení na pozici vpravo dole umožňuje zobrazit maximální průměrnou hodnotu VPN zvlášť pro všechny definované scénáře. Společně s maximální hodnotou VPN pro každý scénář jsou zobrazeny také příslušné vazby, kterých se tato maxima týkají. Jestliže se v rámci jednoho scénáře sejde větší množství stejných maximálních hodnot VPN, jsou uživateli poskytnuty všechny vazby, jejichž průměrná čísla VPN těchto maxim nabývají. Maximální hodnoty VPN společně s příslušnou vazbou pro jednotlivé scénáře definují kritická místa v systému.

6.2 Využití

Vytvořená aplikace může být využita při analýze bezpečnosti, konkrétně systému bezpečnostní kontroly cestujících a příručních zavazadel. Vyhodnocení pomocí generovaných dat slouží jako ukázka možných výsledků nebo jako simulace výsledků, ke kterým může dojít. Výsledky dosažené pomocí generovaných hodnot budou diskutovány v další podkapitole (6.4).

Jednorázové vyhodnocení na základě reálných dat naměřených v provozu slouží naopak k popsání skutečné bezpečnostní situace. Takové vyhodnocení je vhodné, pokud existuje velké množství specifických dat, takových, které jsou pro vyhodnocení aplikací potřeba. Aplikaci pak může uživatel využít k odhalení nejkritičtějšího místa v systému, které je navíc ohodnocené číslem VPN. Podle tohoto čísla může být určena závažnost problému a v závislosti na ní nastavena potřebná opatření ke snížení variability na daném místě. Pomocí aplikace nemusí uživatel hledat pouze nejkritičtější místo, ale může provést rozbor libovolného místa v systému.

Po aplikování jednorázového způsobu vyhodnocení a následujícím snížení a částečném ustálení kritických variabilit pomocí různých opatření je možné využít další možnost vyhodnocení. Tou je provádění analýzy pomocí aplikace průběžně v daných intervalech. Vzhledem k charakteru systému a jeho funkcí by dle mého názoru byl interval jednoho týdne mezi jednotlivými vyhodnoceními dostačující. Průběžné vyhodnocování může

odhalit pomalý nárůst variability v konkrétním místě, který z běžného provozu nemusí být znatelný, ale může vést k nečekané události. Odhalení takového nárůstu umožňuje včasné provést inspekci daného místa, zjistit, co zvyšuje variabilitu, zavést vhodná opatření, která variabilitu sníží nebo částečně ustálí a předejít tak nečekané události, ve kterou by mohl skrytý nárůst variability vyústit.

Nejpokročilejší možnost vyhodnocení variability pomocí aplikace by mohl být v reálném čase. V rámci systému bezpečnostní kontroly by musely existovat prostředky na automatické měření a odesílání všech požadovaných informací. Společně s daty času a přesnosti, které by se do aplikace odesílaly, by se mohly průběžně přepočítávat podle těchto dat i konstanty využití ve výpočtu, jako je například zesilovací efekt. Vyhodnocení by tak bylo přesnější, a především by se mohlo na výsledky reagovat téměř okamžitě. Takový způsob by mohl přinést tedy mnoho výhod, ale zároveň by bylo velmi komplikované takového cíle dosáhnout, a to hlavně v oblasti automatického průběžného měření požadovaných dat.

6.3 Limitace

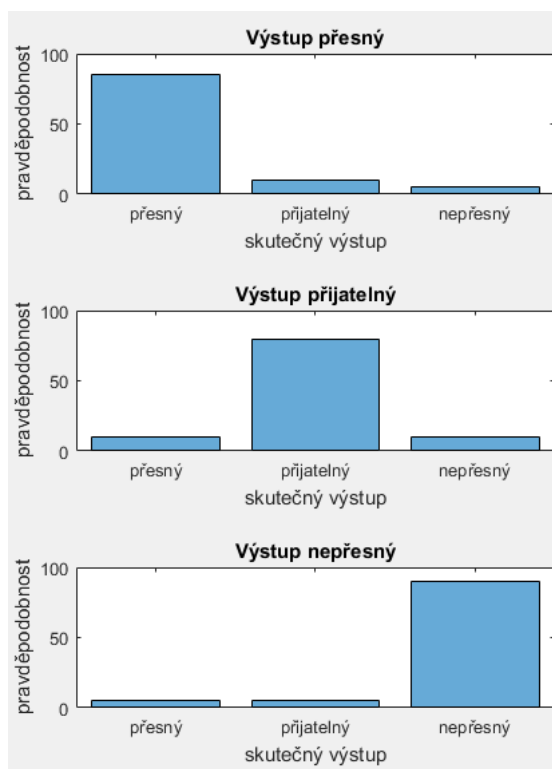
V této podkapitole uvedu několik omezení, které se ve výpočtu aplikace mohou nacházet.

První limitací vyhodnocení je přidělováním relativního skóre variability pro určitý vzorek dat. Výhodou relativních hodnot skóre je větší podrobnost popisu variability, který se u metody, kterou uvádí R. Patriarca, omezuje pouze na čtyři hodnoty. Při využití postupu s přidělováním relativních hodnot není třeba definovat intervaly pro konkrétní kategorie variability. Tento způsob je ale nepřesný pro několik možných případů zadaných dat. Problém nastává ve chvíli, kdy je vloženo malé množství dat. V tomto případě se může stát, že hodnoty, které běžně představují maximum, od kterého se ostatní hodnoty odvíjí, v dané sadě dat nejsou obsaženy, protože nebyly kvůli malému vzorku zachyceny. Maximum pro danou sadu může pak představovat hodnota, která bude následně popsána vysokou variabilitu. Ve skutečnosti by ale ve větším vzorku dat mohla mít průměrnou nebo dokonce nízkou variabilitu. Ještě horším případem může být zadání všech stejných hodnot v jedné sadě. To se může stát například opět u malého vzorku dat kvantitativního ohodnocení variability přesnosti. Ve výsledku bude pak všem hodnotám přidělena maximální variabilita, jelikož všechny hodnoty představují maximum. Důležité pro správné přidělení variabilit tedy je, aby data obsahovala hodnoty ze všech různých intervalů, toho se dá dosáhnout zadáváním velkého množství dat, které bude všechny hodnoty pokrývat. Čím větší počet hodnot je zadán, tím větší je šance pokrytí celého

spektra dat. Dostačující množství by ale mohlo představovat 100 zadaných dat pro jednotlivé funkce, tedy 100 sledovaných cestujících a 100 příručních zavazadel. Jinou možností, jak se problému s malým vzorkem dat vyhnout, je změna ve výpočtu, která představuje definování pevných mezí intervalů kategorií variabilit času i přesnosti pro všechny funkce v systému, což vyžaduje přesný expertní odhad.

R. Patriarca uvádí, že jedním z hlavních problémů v přidělování variability jednotlivým funkcím, je statický popis variability, který nemusí stoprocentně odpovídat reálné situaci. Příkladem toho je funkce, která je obecně vykonána včas a přesně, ale z důvodu vzácných neočekávaných chyb a zpoždění je její výstup proveden pozdě a/nebo nepřesně. Tento jev může být nejvíce znatelný u organizačních funkcí a funkcí popisujících člověka. R. Patriarca tento problém řeší tak, že definuje pravděpodobnostní rozdělení variabilit pro každou funkci a podle něj přiřazuje datům konkrétní variabilitu. [19]

Řešení problému statického popisu podle R. Patriarci může mít při aplikování na vyhodnocení v této práci podobu jako na následujícím obrázku (Obrázek 16). Trojice grafů na obrázku popisuje pravděpodobnosti skutečné podoby variability přesnosti výstupu, který je uveden v nadpisu grafu. Například výstup na prvním grafu naměřený jako přesný bude mít z 85 % skutečně takovou podobu, z 10 % bude mít podobu přijatelný a z 5 % bude ve skutečnosti nepřesný.



Obrázek 16 - Příklad pravděpodobnostního rozdělení variability přesnosti

V aplikaci se může také objevit problém s pevně nastavenými mezemi, a to pro intervaly průměrných hodnot čísel VPN, které určují barvu závažnosti. Nyní jsou meze definovány tak, aby vyhovovaly ukázkovým generovaným datům. Pokud budou ale průměry čísel hodnot VPN nabývat příliš vysokých nebo naopak příliš nízkých hodnot, může se stát, že bude zobrazena pouze jedna barva, červená pro příliš vysoké nebo zelená pro příliš nízké hodnoty. V tomto případě bude ztracena možnost na první pohled odlišit kritické variability od těch, které jsou v mezích. Situaci by vyřešilo dynamické nastavení mezí intervalů barev, které by bylo závislé na zobrazovaných průměrných hodnotách VPN. Aktuální pevné meze (Tab. 16) jsou určeny na základě přibližné hodnoty maxima, kterého nabývá nejkritičtější místo v systému. Dynamické určení mezí by vycházelo z přesné hodnoty maxima pro zadaná data, na jehož základě by byly jednotlivé intervaly rozděleny.

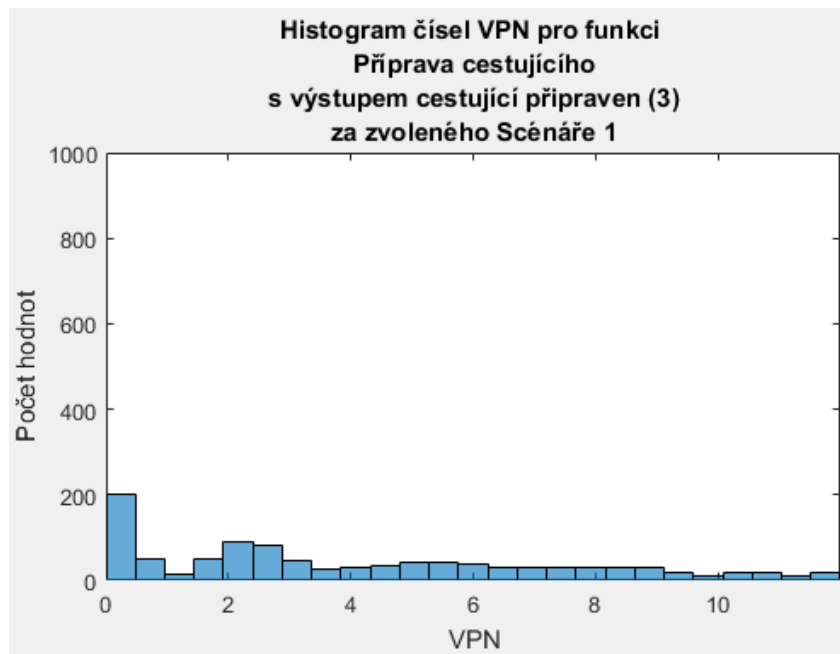
Zadání velkého množství dat, o kterém byla řeč na začátku této podkapitoly, nebo nastavení pevných mezí však nemusí zajistit správné vyhodnocení systému, který je v extrémních situacích téměř dokonalý nebo takřka nefunkční. Je to z toho důvodu, že veškeré naměřené hodnoty pro tyto dva systémy budou blízko maxima, respektive minima. Kritické výsledky vyhodnocení mohou být tedy dosaženy nejen u nefunkčních systémů, ale i u těch blížících se dokonalosti. Tyto dva extrémní případy by měly být ale rozeznatelné přímo z provozu podle dosahovaných výsledků, tzn. pokud uživatel dostane kritické výsledky pro celý systém, měl by vědět, jestli je to z důvodu extrémní nefunkčnosti nebo naopak extrémně dobré funkčnosti. První případ extrémně nefunkčního systému by se měl řešit novým navržením systému za využití v jiných modelů, například RAG. Při získání kritických výsledků pro téměř dokonalý systém by problém s využitelností metody mohlo vyřešit zjemnění škály intervalů. To by odhalilo nejméně dokonalé místo v systému, které by pak mohlo být zdokonaleno na úroveň ostatních prvků. Přípustná je také možnost, že systém je skutečně dokonale funkční a žádné slabé místo neexistuje. V takovém případě je vhodné systém pomocí aplikace sledovat, protože není vyloučeno, že se slabé místo v budoucnu neobjeví.

6.4 Diskuze výsledků

Aplikace dosahuje takových výsledků, které jsou vypočteny a prezentovány, jako uvádí R. Patriarca. V některých směrech jsou výsledky z této práce s jeho výsledky srovnatelné, v jiných se objevují odlišnosti.

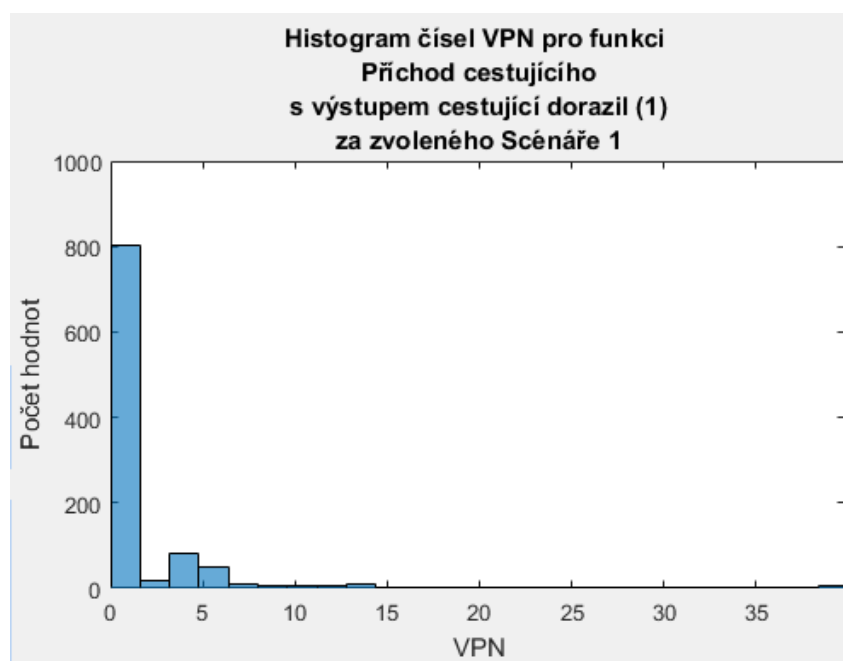
Výsledné grafy čísel VPN mají většinou podobný tvar jako grafy ve sledované metodě. Počty čísel VPN mají s rostoucí velikostí těchto čísel většinou klesající tendenci. Typický

obrázek (Obrázek 13) klasické podoby grafu, která se objevuje i ve sledované metodě, byl již uveden v kapitole 6.1.4. Podoba grafů se může měnit tak, že přibývají počty větších hodnot, graf se začne zplošťovat a výsledné průměrné číslo VPN se tak bude blížit více kritickým hodnotám. Příklad takového grafu je na následujícím obrázku (Obrázek 17).



Obrázek 17 - Příklad grafu VPN pro vysoké hodnoty (vazba 3)

V rámci druhé možné podoby naopak přibývají počty nejnižších hodnoty, první sloupce grafu rostou a způsobuje to nižší průměrnou hodnotu VPN, tzn. lepší výsledky. Druhý příklad je uveden na dalším obrázku (Obrázek 18).



Obrázek 18 - Příklad grafu VPN pro nízké hodnoty (vazba 1)

Uvedené dva grafy popisují variabilitu funkčních vazeb 1 (Obrázek 18) a 3 (Obrázek 17), obě za Scénáře 1. Vazba číslo 1 popisuje variabilitu způsobenou ve funkci *Příprava cestujícího* výstupem z funkce *Příchod cestujícího* a vazba číslo 3 popisuje variabilitu způsobenou ve funkci *Kontrola cestujícího pomocí WTMD* způsobenou výstupem funkce *Příprava cestujícího*. Vazba číslo 1 podle grafů představuje menší variabilitu, a to z toho důvodu, že samotný příchod cestujícího k přípravné přepážce nemá velký vliv na jeho následnou přípravu. Zato variabilita vazby číslo 3 bude větší, a to proto, že kontrola cestujícího je jeho přípravou ovlivněna více. Vyšší variabilita bude v druhém případě způsobená především přesností vykonané přípravy.

Pro stejné vazby 1 a 3 uvádím dále průměrné hodnoty VPN pro všechny scénáře. Scénář X představuje nejkritičtější možnost, kdy vnější podmínky mají na variabilitu velký vliv, zadány byly tedy hodnoty 4, 4, 4, 4. Scénář X může popisovat například situaci v provozu, ve které se objevuje současně nevyškolený personál, nečekaně velké množství cestujících, nově zavedené pracovní postupy a probíhající audit. Průměrné hodnoty VPN pro vazbu číslo 1 jsou uvedeny na dalším obrázku (Obrázek 19). Podle barev je poznat, že za většiny scénářů jsou hodnoty čísel VPN v průměrných intervalech, pouze za vlastního scénáře abnormálních vnějších podmínek se blíží kritickým hodnotám.

Scénáře						
Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6	Scénář X
1.98976	2.43193	3.31627	3.31627	3.75843	4.64277	6.19036

Obrázek 19 - Příklad průměrných hodnot VPN pro vazbu 1

Podstatně horší hodnoty se objevují v tabulce pro vazbu číslo 3 na následujícím obrázku (Obrázek 20). Tato vazba se nachází mezi přípravou a kontrolou cestujícího. Nekvalitní příprava zapříčiní zpoždění a chyby u primární kontroly, je to tedy důležité místo v prvotní fázi kontroly. Variabilita je pro všechny scénáře průměrná až kritická. Pro nejkritičtější vlastní Scénář X se dostává dokonce do červených hodnot.

Scénáře						
Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6	Scénář X
4.0176	4.0176	4.0176	5.5242	6.0264	7.0308	8.0352

Obrázek 20 - Příklad průměrných hodnot VPN pro vazbu 3

Pomocí aplikace se dá odhalit místo v systému s nejvyšší variabilitou. Pro vygenerovaná data se jedná vždy o vazbu číslo 12, a to pro všechny scénáře. Vazba 12 popisuje variabilitu způsobenou ve funkci *Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG* výstupem *příruční zavazadlo připraveno* funkce *Příprava příručního zavazadla*. Jedná se tedy opět o místo mezi přípravou a kontrolou, tentokrát příručního zavazadla. Tabulka průměrných hodnot VPN je zobrazena na následujícím obrázku (Obrázek 21). Hodnota VPN je v tabulce uvedena i pro zadaný Scénář X (4, 4, 4, 4).

Scénáře						
Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6	Scénář X
4.86382	4.86382	6.68775	6.68775	7.90371	10.3356	12.1596

Obrázek 21 - Nejkritičtější vazba (12) v systému

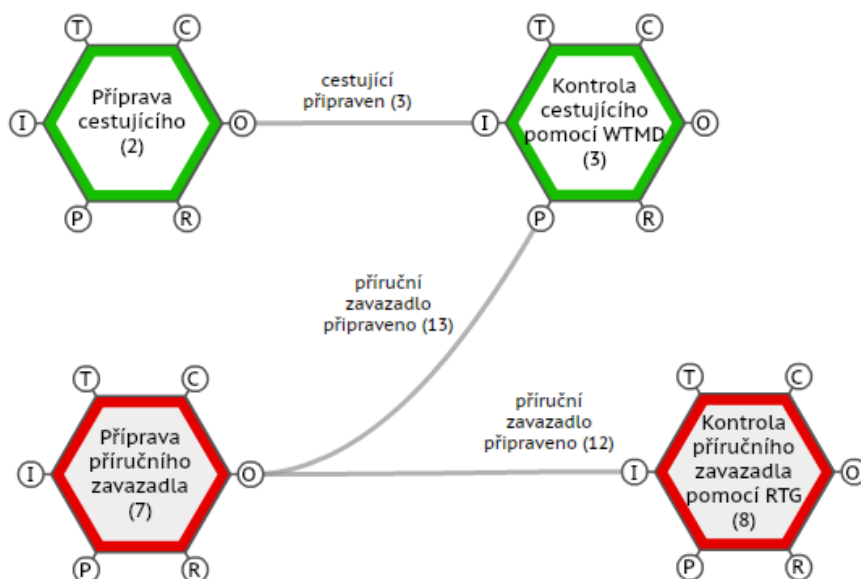
V první řadě stojí za zmínění, že stejně jako v metodě, kterou uvádí R. Patriarca, existuje jedna kritická vazba, která má nejvyšší hodnoty pro všechny scénáře. Nemusí to být podmínka, ale znamená to, že vazba je variabilní již sama o sobě a má na celkovou variabilitu největší vliv. Výkonnostní podmínky tuto variabilitu většinou nezesilují natolik, že by celková variabilita jedné vazby přerostla jinou.

Jakmile je definovaná kritická vazba, hledá se v modelu rezonanční cesta, tedy (dle metody FRAM) tři a více funkcí se dvěma a více kritickými vazbami. Rezonanční cesta popisuje kombinaci variability, která se případně šíří dále systémem. Společně s uvedenou nejkritičtější vazbou číslo 12 (Obrázek 21) byly postupně pomocí levého spodního tlačítka v bloku Vyhodnocení v aplikaci odhaleny další vazby s alespoň jednou průměrnou hodnotou VPN v intervalu s oranžovým nebo červeným podbarvením, které je popsáno v uvedené tabulce (Tab. 16). V rámci vyhodnocení se zaměřím pouze na předdefinovaný Scénář 1 a Scénář 6, v nich budou sledovány oranžové a červené hodnoty. Odhalenou vazbou je tedy již uvedená vazba číslo 3 (Obrázek 20) a další vazby číslo 13, 17, 20 a 22. Jejich hodnoty čísel VPN jsou zobrazeny postupně na následujícím obrázku (Obrázek 22).



Obrázek 22 - Kritické vazby (shora 13, 17, 20 a 22)

Pro první vyhodnocovaný Scénář 1 je většina hodnot označena zelenožlutou barvou, pouze vazby číslo 3 a 12 jsou podbarveny žlutě, záleží tedy na rozhodnutí, jestli tyto vazby zkoumat nebo je začít řešit až ve chvíli, kdy se dostanou do oranžových hodnot. V rámci vyhodnocení se na tyto vazby zaměřím a pokusím se najít rezonanční cestu. Dvě vazby 3 a 12 představují spojení mezi funkcemi příprav a kontrol cestujících a příručních zavazadel, jedná se o první aktivity při plnění účelu celého systému bezpečnostní kontroly, tedy zkontrolovat cestujícího a příruční zavazadlo. Tyto dvě části systému spojuje jedna z dalších vazeb z předchozího obrázku (Obrázek 22), konkrétně vazba číslo 13 uvedena jako první. I přesto, že se nachází v zelenožlutých hodnotách, spojuje nejkritičtější místa systému pro Scénář 1, mohla by tedy zde hrát nějakou roli, přinejmenším spojí sledovaná místa v systému v grafickém znázornění (Obrázek 23). Sledováním těchto tří kritických vazeb můžeme v modelu FRAM najít rezonanční cestu systému pro Scénář 1, tehdy je totiž ovlivněna vnějšími podmínkami pouze minimálně. Resonanční cesta je znázorněna na dalším obrázku (Obrázek 23).

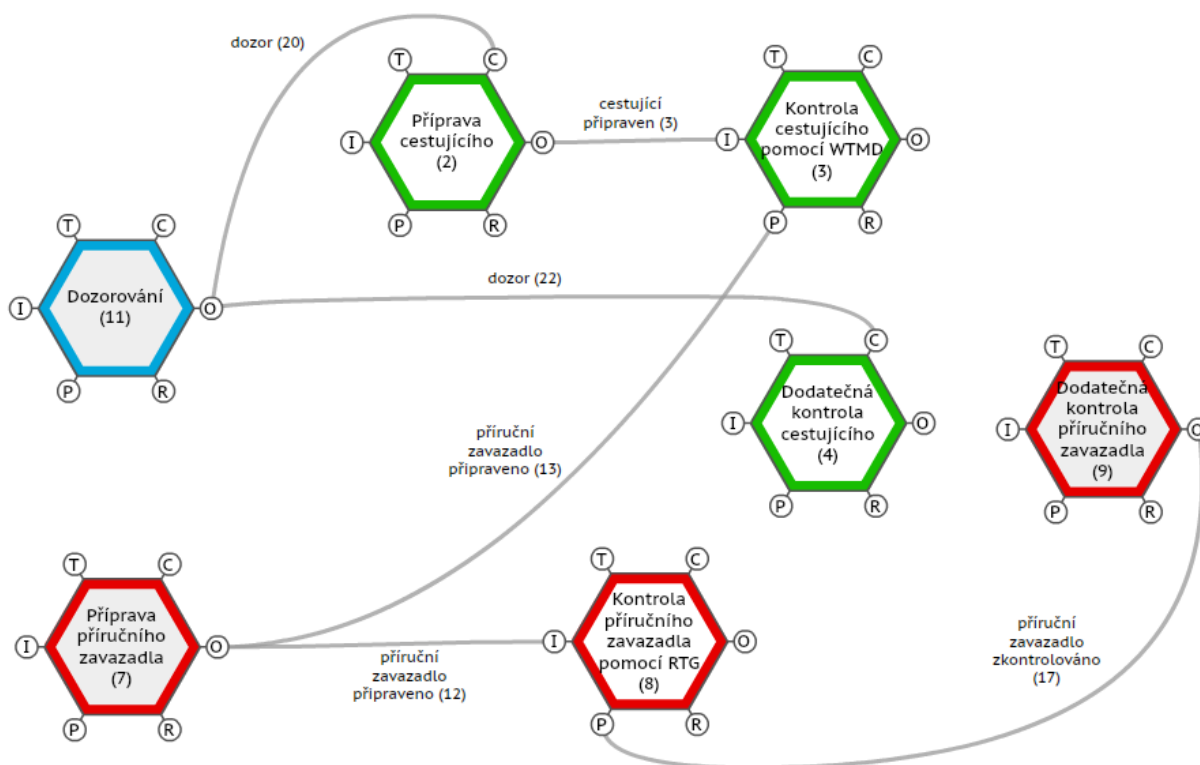


Obrázek 23 - Rezonanční cesty (Scénář 1)

Uvedená část modelu vypovídá o tom, jak je příprava cestujících i příručních zavazadel důležitá a musí se jí věnovat náležitá pozornost. Pro snížení variability je potřeba, aby byly přípravy provedeny s maximální přesností a ve správný čas. Nejvyšší variabilita se podle maximálních čísel VPN přenáší na funkci *Kontrola příručních zavazadel pomocí RTG*. Tato funkce je závislá na předchozí funkci *Příprava příručního zavazadla* a ta variabilitu způsobuje z různých důvodů. Důvodem může být použití mnoha bedýnek, které se při kontrole pomocí RTG nestíhají odbavovat nebo nedeklarování všech potřebných věcí, jako je například počítač nebo tekutiny. Příprava by zároveň měla být provedena s časovou přesností, výstup pozdě vyústí ve ztrátu času při výkonu kontroly a při výstupu přípravy brzy nemusí být funkce kontroly připravena, tzn. stále probíhá kontrola předchozího zavazadla. Vysoká variabilita je přenášena i na funkci *Kontrola cestujícího pomocí WTMD*. Tato funkce disponuje rovnou dvěma aspekty spjatými s kritickými vazbami, a to vstup *cestující připraven* a podmínka *příruční zavazadlo připraveno*. Variabilitu funkce *Kontrola cestujícího pomocí WTMD* ovlivňuje tedy nejvíce dvojice funkcí příprav. Funkce *Příprava cestujícího* produkuje variabilitu především v přesnosti samotné přípravy. Vše, co bude u přípravy opomenuto, se bude muset dořešit právě u následující funkce kontroly. Časová variabilita, hlavně kategorie pozdě, funkce *Příprava příručního zavazadla* hraje roli při spuštění funkce kontroly cestujícího, protože představuje aspekt podmínky a bez její přítomnosti nemůže začít.

Scénář 6 představuje abnormální vnější podmínky. V případě zvýšené variability kvůli vnějším podmínkám se do rezonančních cest zahrnují i další funkce, které mohou variabilitu zvyšovat. Nejkritičtější vazby z případu pro Scénář 1 zůstávají a přidají se k nim ostatní uvedené kritické vazby v systému, tedy vazby 17, 20 a 22 (Obrázek 22).

Všechny vazby nabývají pro tento scénář hodnot z oranžového bloku, vazba číslo 12 dokonce z červeného. Zahrnutím těchto vazeb se již uvedený příklad rezonančních cest rozroste o další tři funkce, konkrétně přibudou obě funkce dodatečných kontrol cestujících i příručních zavazadel a funkce *Dozorování*. Původní funkce jsou těmito funkcemi ovlivněny skrz aspekty řízení a podmínky. Aspekt řízení spjatý s funkcí *Dozorování* zde má roli organizačních faktorů, a navíc lidského faktoru. Největší vliv má podle výpočtu aspekt řízení na funkce *Příprava cestujícího* a *Dodatečná kontrola cestujícího*, pracovním postupům by se tedy měla věnovat největší pozornost zde. Variabilita způsobená výstupem funkce *Dozorování* ve funkci *Příprava cestujícího* může totiž pokračovat rezonanční cestou přes další kritickou vazbu až k funkci *Kontrola cestujícího pomocí WTMD*, kde se variabilita zvýší ještě více. Dále *Dozorování* zvyšuje variabilitu funkce *Dodatečná kontrola cestujícího*, i zde je třeba dbát na správně nastavené organizační postupy a stav zaměstnanců. *Dodatečná kontrola příručního zavazadla* zvyšující variabilitu primární kontroly zavazadla pramení nejspíše v časové variabilitě dodatečné kontroly, která může mít za následek pozdní dokončování *Kontroly příručního zavazadla pomocí RTG*. Rezonanční cesty pro scénáře s velkou variabilitou vnějších podmínek je zobrazen na následujícím obrázku (Obrázek 24).



Obrázek 24 - Rezonanční cesty (Scénář 6)

Výsledky, kterých jsem v této práci dosáhl, se od sledované metody liší především v tom, že hodnoty VPN z této práce nabývají jiných rozměrů než hodnoty VPN, které získal R. Patriarca. Většina vypočtených průměrných hodnot VPN pro jednotlivé scénáře, které získává R. Patriarca, se nachází blízko nule a kritické hodnoty se blíží jedničce. Průměrné hodnoty VPN založené na vygenerovaných datech v této práci se ale většinou pohybují v rozmezí od jedné do dvanácti. Podmínková variabilita byla vypočtena podle stejných pravidel a stejných konstant, odlišnosti jsou tedy způsobeny různou variabilitou funkční tokové vazby. Ta je závislá na zesilovacích efektech a na skóre variability. Jelikož velikosti hodnot zesilovacích efektů byly v této práci použity stejné jako ve sledovaném vzoru, rozdíly v průměrných hodnotách VPN musejí plynout ze skóre variabilit. Odchylna ve výpočtu v této práci od postupu, který uvádí R. Patriarca, v podobě označení skóre relativními hodnotami by neměla hrát žádnou roli. Relativní hodnoty nabývají vždy pouze maximální hodnoty 3, ne tedy větších hodnot než ty, které uvádí R. Patriarca, ten navíc pracuje i s variabilitou výstupu s ohodnocením 4. Rozdíly tedy musejí plynout z pravděpodobnostního rozložení generovaných hodnot. Generované hodnoty v této práci vychází pouze z odhadu a skutečné hodnoty mohou být mnohem přesnější, tzn. mnohem více dat jednotlivých funkcí se řadí do kategorií včas a přesný. Myslím si, že pokud by byly definovány intervaly pro jednotlivé kategorie variability a byly do nich přiřazeny reálná data, výpočtem by se došlo k hodnotám VPN, které se sledované metodě blíží více. To, že jsou hodnoty odlišné, ale vůbec nevadí, hodnoty jsou totiž vypočteny na základě stejných principů. Kritická mez bude tedy sice odlišná, ale hodnoty budou stále v rámci této práce mezi sebou porovnatelné.

Závěr

V této práci jsem dosáhl cíle, kterým bylo navrhnout vyhodnocení bezpečnosti pro systém bezpečnostní kontroly cestujících a jejich příručních zavazadel. Tento systém je důležitý pro zajištění bezpečného prostoru letiště a samotných letů, dále také jako ochrana cestujících, zaměstnanců a posádky. Bezpečnostní kontrola je složitý socio-technický systém, ke kterému se také tak musí přistupovat a je potřeba zohledňovat veškeré vstupující faktory.

Cíle bylo dosaženo pomocí specifického přístupu aplikování systémových safety modelů a metod, které staví na principech Safety-II. Vybraná byla metoda funkční rezonanční analýzy FRAM. Tato metoda byla pro cíl práce nejvhodnější, protože je schopna detailně popsat místa vzniku nečekaných událostí, kterým se v systému z hlediska bezpečnosti snažíme vyhnout. Metoda FRAM vyhodnocuje systém na základě variabilit jednotlivých funkcí, které v rámci celku plní dílčí úkoly.

Po vytvoření obecného modelu v souladu s pravidly metody FRAM bylo provedeno její vyhodnocení, a to na základě matematického aparátu, který ve své práci uvádí Riccardo Patriarca. Variabilita je v jeho postupu popsána variabilitou samotné funkce a jejího výstupu, zesilujícím efektem působícím na následující funkci a výkonnostními podmínkami. Jeho postup, na který jsem navázal, je schopen ohodnotit variabilitu funkčních tokových vazeb v systému číselně. To znamená, že je možné jednotlivé části systému porovnávat, najít kritické místo v systému a předcházet nečekaným událostem.

Návrh vyhodnocení bezpečnosti byl zpracován v programovacím jazyku a prostředí MATLAB. Využit byl jeho komponent GUIDE, který umožňuje tvorbu aplikací. Výsledná aplikace představuje rozhraní mezi výpočty a uživatelem. Hlavní předností aplikace je možnost vyhodnocení bezpečnosti nejen podle náhodně generovaných hodnot, ale především na základě reálných dat, které jsou získány v provozu. Uživatel má možnost odhalit kritickou vazbu v systému okamžitě nebo může prohlížet variability jednotlivých míst v systému postupně. Aplikace poskytuje také možnost zadání vlastního scénáře, který určuje vnější podmínky působící na systém. Mezi vedlejší funkce patří zobrazování detailnějších informací o funkcích, výstupech, scénářích a zesilovacích efektech. V neposlední řadě má uživatel přístup z aplikace přímo k modelu FRAM, ze kterého se vychází.

Využití aplikace spočívá v její schopnosti vyhodnotit skutečnou situaci ve sledovaném systému bezpečnostní kontroly cestujících a jejich příručních zavazadel. Pro ukázkou či

jako simulace možných hodnot se dá použít také vygenerování náhodných hodnot. Aplikace má význam jednorázového využití, ale i průběžného. Sbíráni dat o vznikajících variabilitách v různých částech systému může být cenná informace k předcházení nečekaných událostí, jejichž příčinou bývá právě vysoká variabilita.

Omezení využití vytvořené aplikace spočívá v nepřesném vyhodnocení při zadání dat, které nepokrývají celou škálu možných hodnot. Tato situace může nastat nejčastěji při zadání malého vzorku dat. Zlepšení výsledků by mohlo být dosaženo zpřesněním konstant ve výpočtech, a to buď odbornějším určením nebo pomocí statistických dat z provozu systému. Stejným způsobem by mohla být dále zlepšena přesnost pravděpodobnostního rozdělení generovaných dat. Na naměření a vyhodnocení dat z reálného provozu již v této práci nezbyl prostor, možnost k vyhodnocení takových dat ale poskytuje vytvořená aplikace.

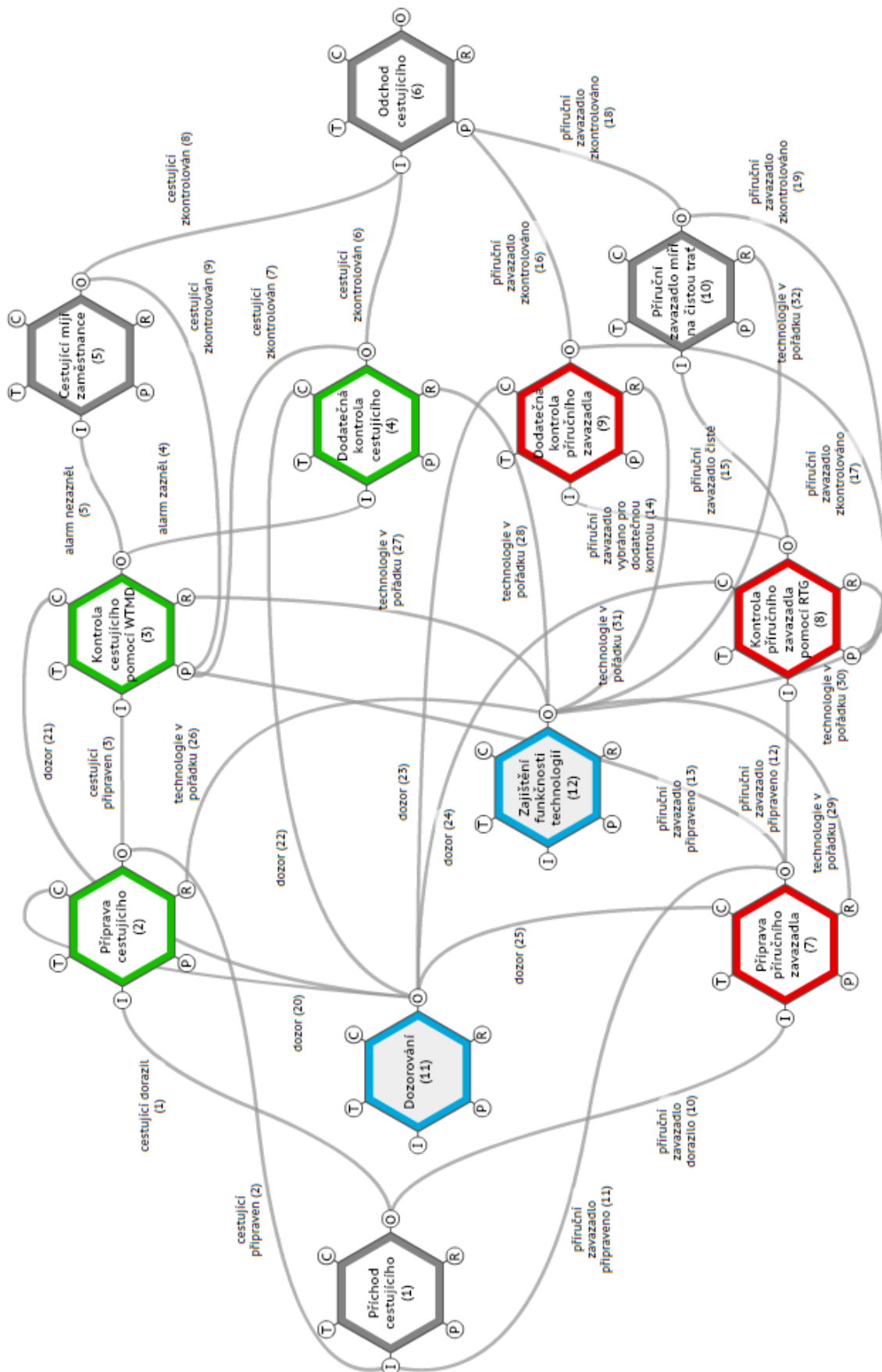
Využití výpočetních technologií a moderních přístupů jako je například Safety-II k zajištění bezpečnosti je dle mého názoru velmi důležité. Při vyhodnocování bezpečnosti systému by se mělo využívat více různých metod a postupů, protože každý způsob může odhalit slabé místo, které jiný způsob nedokázal. Společně s různými metodami vyhodnocení by se také mělo sbírat velké množství dat, podle kterých určování bezpečnostních ukazatelů probíhá. V budoucnosti by se s vyhodnocováním nemělo polevovat, protože díky němu je bezpečnost stále na vysoké úrovni.

Zdroje

- [1] IATA Forecast Predicts 8.2 billion Air Travelers in 2037: Press Release No: 62 [online]. Montreal: International Air Transport Association, 2018 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2018-10-24-02/>
- [2] Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation. Security. 8. Montréal, Québec: International Civil Aviation Organization, 2006.
- [3] Elias, B. Airport and Aviation Security, CRC Press, 2010.
- [4] Level of Service Concept [online]. Montreal: International Air Transport Association, 2018 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/services/consulting/airport-pax-security/level-of-service/>
- [5] Veřejná zakázka: Postupné dodávky security scannerů - umožňujících celotělové skenování osob [online]. Praha: Letiště Praha, 2019 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: https://zakazky.prg.aero/contract_display_1442.html
- [6] Tisková zpráva: Letiště Praha dnes slavnostně otevřelo nové stanoviště bezpečnostní kontroly [online]. Praha: Letiště Praha, 2018 [cit. 2018-08-16]. Dostupné z: <https://prg.aero/letiste-praha-dnes-slavnostne-otevrela-nove-stanoviste-bezpecnostni-kontroly>
- [7] Accident Statistics [online]. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2019 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx>
- [8] LEVESON, Nancy. Engineering a safer world: systems thinking applied to safety. Cambridge, Mass.: MIT Press, c2011. Engineering systems. ISBN 0262016621.
- [9] CARLSON, Carl S. Understanding and Applying the Fundamentals of FMEAs. 2016.
- [10] Reason, J. (2000). Human error: models and management. BMJ, 320(7237), 768–770. doi:10.1136/bmj.320.7237.768
- [11] Management Oversight and Risk Tree. VINCOLI, Jeffrey W. Basic Guide to System Safety [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2014, 2014-06-20, s. 157-165 [cit. 2020-05-02]. DOI: 10.1002/9781118904589.ch13. ISBN 9781118904589. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118904589.ch13>
- [12] LEVESON, Nancy a John THOMAS. STPA Handbook. 2018.

- [13] STEEN, Riana a Terje AVEN. A risk perspective suitable for resilience engineering. *Safety Science* [online]. 2011, 49(2), 292-297 [cit. 2020-04-26]. DOI: 10.1016/j.ssci.2010.09.003. ISSN 09257535. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753510002237>
- [14] BELMONTE, Fabien, Walter SCHÖN, Laurent HEURLEY a Robert CAPEL. Interdisciplinary safety analysis of complex socio-technological systems based on the functional resonance accident model: An application to railway trafficsupervision. *Reliability Engineering & System Safety* [online]. 2011, 96(2), 237-249 [cit. 2020-04-26]. DOI: 10.1016/j.res.2010.09.006. ISSN 09518320. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832010002097>
- [15] HOLLNAGEL, Erik. *Safety-I and safety-II: the past and future of safety management*. Burlington, VT, USA: Ashgate Publishing Company, [2014]. ISBN 9781472423061.
- [16] Hollnagel, E. *FRAM, the Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems*, 2012.
- [17] PATRIARCA, Riccardo a Johan BERGSTRÖM. Modelling complexity in everyday operations: functional resonance in maritime mooring at quay. *Cognition, Technology & Work* [online]. 2017, 19(4), 711-729 [cit. 2020-05-03]. DOI: 10.1007/s10111-017-0426-2. ISSN 1435-5558. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10111-017-0426-2>
- [18] PATRIARCA, Riccardo, Johan BERGSTRÖM a Giulio DI GRAVIO. Defining the functional resonance analysis space: Combining Abstraction Hierarchy and FRAM. *Reliability Engineering & System Safety* [online]. 2017, 165, 34-46 [cit. 2020-05-03]. DOI: 10.1016/j.res.2017.03.032. ISSN 09518320. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832016302514>
- [19] PATRIARCA, Riccardo, Giulio DI GRAVIO a Francesco COSTANTINO. A Monte Carlo evolution of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to assess performance variability in complex systems. *Safety Science* [online]. 2017, 91, 49-60 [cit. 2020-04-26]. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.07.016. ISSN 09257535. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925753516301576>

Příloha 1: Grafické znázornění modelu FRAM



Příloha 2: Popis modelu FRAM pomocí tabulky

#	Funkce	aspekty					
		výstup	vstup	řízení	podmínka	zdroj	
1	Příchod cestujících	cestující dorazil příruční zavazadlo dorazilo	cestující připraven příruční zavazadlo připraveno	-	-	-	-
2	Příprava cestujících	cestující připraven	cestující dorazil	dozor	-	technologie v pořádku	-
3	Kontrola cestujících pomocí WTMD	alarm zazněl alarm nezazněl	cestující připraven	dozor	příruční zavazadlo připraveno	technologie v pořádku	-
4	Dodatečná kontrola cestujících	cestující zkontrolován	alarm zazněl	dozor	-	technologie v pořádku	-
5	Cestující mají zaměstnance	cestující zkontrolován	alarm nezazněl	-	-	-	-
6	Odhod cestujících	-	cestující zkontrolován	-	příruční zavazadlo zkontrolováno	-	-
7	Cabin luggage preparation	příruční zavazadlo připraveno	příruční zavazadlo dorazilo	dozor	-	technologie v pořádku	-
8	Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	příruční zavazadlo čisté	příruční zavazadlo připraveno	dozor	příruční zavazadlo zkontrolováno	technologie v pořádku	-
9	Dodatečná kontrola příručního zavazadla	příruční zavazadlo zkontrolováno	příruční zavazadlo vybráno pro dodatečnou kontrolu	dozor	-	technologie v pořádku	-
10	Příruční zavazadlo míří na čistou trať	příruční zavazadlo zkontrolováno	příruční zavazadlo čisté	-	-	technologie v pořádku	-
11	Dozorování	dozor	-	-	-	-	-
12	Zajištění funkčnosti technologií	technologie v pořádku	-	-	-	-	-

Příloha 3: Základní okno aplikace k vyhodnocení

🏠 Vyhodnocení bezpečnosti pomocí metody FRAM
✕

Zvolte funkci

- F1 - Příchod cestujícího
- F2 - Příprava cestujícího
- F3 - Kontrola cestujícího pomocí WTMD
- F4 - Dodatečná kontrola cestujícího
- F5 - Cestující miř zaměštnance
- F6 - Odchod cestujícího
- F7 - Příprava příručního zavazadla
- F8 - Kontrola zavazadla pomocí RTG
- F9 - Dodatečná kontrola příručního zavazadla
- F10 - Příruční zavazadlo miř na čistou trať
- F11 - Dozorování
- F12 - Zajištění funkčnosti technologií

Zvolte výstup

- O1 - cestující dorazil
- O2 - cestující připraven
- O3 - alarm zazněl
- O4 - alarm nezažněl
- O5 - cestující zkontrolovan
- O6 - příruční zavazadlo dorazilo
- O7 - příruční zavazadlo připraveno
- O8 - příruční zavazadlo vybráno pro dodatečnou kontrolu
- O9 - příruční zavazadlo čisté
- O10 - příruční zavazadlo zkontrolované
- O11 - dozor
- O12 - technologie v pořádku

Data

Vygenerovat data pro čas a přesnost

Zadat naměřená data

Zobrazit aktuální data pro zvolenou funkci

Vyhodnocení

Zobrazit pravděpodobnostní rozdělení variability pro zvolenou funkci

Zobrazit průměrnou hodnotu VPN pro zvolenou fci a výstup

Zobrazit kritické cesty v systému

Informace

Zvolte scénář

Zadat vlastní scénář

ke zvolené funkci

ke zvolenému výstupu

ke zvolenému scénáři

Zobrazit model FRAM

Číslo vazby	Následující funkce (Downstream Function)	Aspekt	Předchozí funkce (Upstream Function)	Popis výstupu	Popis výstupu (zvolte)
0	Funkce	Aspekt	Funkce (zvolte)	Funkce výstupu (zvolte)	

Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6	Scénář X
-	-	-	-	-	-	-

Příloha 4: Formulář pro zadávání dat

#	Funkce	podmínky	DATA																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9									
1	Příchod cestujících	čas přesnosti																		
2	Příprava cestujících	čas přesnosti																		
3	Kontrola cestujících pomocí WTMD	čas přesnosti																		
4	Dodatečná kontrola cestujících	čas přesnosti																		
5	Cestující mají zaměstnance	čas přesnosti																		
6	Odchod cestujících - neměří se - nezadávat		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Příprava příručního zavazadla	čas přesnosti																		
8	Kontrola příručního zavazadla pomocí RTG	čas přesnosti																		
9	Dodatečná kontrola příručního zavazadla	čas přesnosti																		
10	Příruční zavazadlo míří na čistou trať	čas přesnosti																		
11	Dozorování	čas přesnosti																		
12	Zajištění funkčnosti technologií	čas přesnosti																		