



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MODELOVÁNÍ ÚNAVY V LETECKÉ DOPRAVĚ



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Šárka Hulínská

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Modelování únavy v letecké dopravě**

Název tématu (anglicky): Modeling of Fatigue in Aviation

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Základní problematika modelování únavy, příslušné legislativní podmínky a výhledy
- Základní druhy modelování únavy jako podpora pro Systém řízení rizik únavy (FRMS)
- Rozbor faktorů pro modelování únavy
- Vytvoření modelů, měření a zhodnocení výsledků modelování
- Shrnutí vlastního přínosu práce
- Závěr

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: Fatigue Risk Management Systems: Implementation Guide for Operators, 2011, 1. vydání, 150 s
ŠULC, J. (2004): Studijní modul 9 - Lidský činitel, učební texty dle předpisu JAR-66, Akademické nakladatelství Cerm, 112 s
Biomathematical Fatigue Models Guidance Document, Civil Aviation Safety Authority (CASA), 2014, 73 s

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Peter Vittek**

Datum zadání diplomové práce: **31. července 2014**

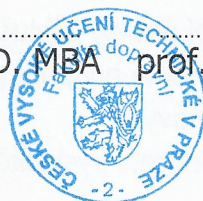
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)


Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2015**

- 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

L. S.


.....
doc. Ing. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy




.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Šárka Hulínková
jméno a podpis studenta

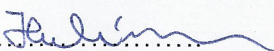
V Praze dne.....30. června 2015

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické 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: 29.11.2015

Podpis: 

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Peteru Vittekovi, za konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. Zvláště bych chtěla poděkovat paní Ing. Aleně Javůrkové za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům, a panu Ing. Richardu Birasovi za jeho odborné připomínky. Moje poděkování bych také ráda směřovala na Ing. Andreje Lališe a celou Laboratoř letecké bezpečnosti na Ústavu letecké dopravy. V neposlední řadě bych ráda poděkovala svým rodičům a blízkým za morální podporu, které se mi dostávalo za celou dobu mého studia.

ABSTRAKT

Cílem této práce je představit problematiku biomatematického modelování a pokusit se ji začlenit do stávajících podmínek FRMS. Svou prací poskytnu materiál, který analyzuje struktury modelů, jejich využitelnost, porovnání parametrů a hodnotící kritéria při pořizování komerčních modelů. Dalším cílem je vytvoření nového modelu, který vyhodnocuje různé vstupy s ohledem na individuální požadavky jedince. Model zohledňuje reálné možnosti společností a nabízí tak uplatnitelné řešení po všech stránkách, včetně vyhovění požadavkům letecké legislativy.

Autor: Bc. Šárka Hulínská

Název diplomové práce: Modelování únavy v letecké dopravě

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Vedoucí práce: Ing. Peter Vittek

Rok vydání: 2015

Počet stran: 93

Klíčová slova: biomatematické modelování, Fatigue Risk Management System, únava, predikce, model, legislativa, rizika, plánování.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to introduce the issues of biomathematical modelling and try to integrate it into the current FRMS conditions. With my thesis I offer a document that analyzes structures of models, their applicability, comparison of parameters and evaluating criteria in the procurement of commercial models. Other objective is to create a new model, which evaluates various inputs with regard to person's individual needs. The model takes into account real options of companies and therefore offers applicable solutions in all aspects, including compliance with aviation legislation.

Author: Bc. Šárka Hulínská

Title of the diploma thesis: Modelling of fatigue in Aviation

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

Supervisor: Ing. Peter Vittek

Year of publication: 2015

Number of pages: 93

Key words: Biomathematical modeling, Fatigue Risk Management System, fatigue, prediction model, legislation, risk, scheduling.

Obsah

Seznam použitých zkratk	11
Úvod	13
1 Základní problematika modelování únavy, příslušné legislativní podmínky a výhledy	15
1.1 Modelování únavy v kontextu s FRMS	15
1.2 Odpovědnosti FRMS	16
1.3 Hlavní úrovně kontroly řízení rizik únavy	16
1.3.1 Úroveň 1 - organizační	17
1.3.2 Úroveň 2 - individuální	18
1.3.3 Úroveň 3 – behaviorální	19
1.3.4 Úroveň 4 – chyby	19
1.3.5 Úroveň 5 – nehody a jejich šetření	20
1.4 Od únavy k bezpečnosti	21
1.5 Důvody nezavedení FRMS v leteckých společnostech	23
1.6 Legislativní přístupy k FRMS.....	25
1.7 Platné normy v České republice související s FRMS a legislativní výhledy ..	27
1.8 FRMS v ČSA	30
1.8.1 Principy uplatňované při zavedení FRMS u ČSA.....	31
1.8.2 Nápravná opatření a zmírňující strategie	33
1.9 Metody identifikace rizik	34
1.9.1 Prediktivní metody	34
1.9.2 Proaktivní metody	36
1.9.3 Reaktivní metody	37
1.10 Historie modelování	37
1.11 Individualita únavy	40

2	Základní druhy modelování únavy jako podpora FRMS	41
2.1	Boeing Alertness Model (BAM)	41
2.2	Circadian Alertness Simulator (CAS)	42
2.3	Fatigue Assesment Tool by InterDynamics (FAID)	42
2.3.1	Vlastní zkušenost s FAID.....	43
2.4	Fatigue Risk Index (FRI)	45
2.4.1	Vlastní zkušenost s FRI	47
2.5	System for Aircrew Fatigue Evaluation (SAFE)	49
2.4.2	Aplikace využití komerčních biomatematických modelů.....	49
3	Rozbor faktorů pro modelování únavy.....	52
3.1	Struktura modelů	52
3.1.1	Požadavky na vstupní data.....	52
3.1.2	Požadavky na očekávané výstupy.....	53
3.1.3	Data a jejich platnost	55
3.2	Využití modelů.....	56
3.2.1	Plánování posádek	56
3.2.2	Nepravidelnost provozu	57
3.2.3	Výkon práce/odpočinek při využití zesílené posádky.....	57
3.2.4	Vytváření opatření proti vzniku únavy.....	57
3.2.5	Predikce individuální únavy	57
3.2.6	Školení.....	58
3.2.7	Bezpečnostní vyšetřování.....	58
3.3	Charakteristiky a struktura modelu	59
3.3.1	Prvky modelu	59
3.3.2	Modelované vstupy.....	60
3.3.3	Modelované výstupy	63

3.4	Porovnání parametrů komerčních biomatematických modelů.....	64
3.4.1	Porovnání vstupů.....	64
3.4.2	Porovnání prvků.....	65
3.4.3	Porovnání výstupů	65
3.4.4	Porovnání využitelnosti	66
3.5	Hodnotící kritéria při pořizování modelů do organizací.....	66
3.5.1	Náklady.....	66
3.5.2	Začlenění individuálních specifických údajů	67
3.5.3	Integrace se systémy plánování posádek.....	67
3.5.4	Vhodnost pro využití ve velkém měřítku	67
3.5.5	Začlenění změn časových pásem.....	67
3.5.6	Začlenění několika letů v rámci jedné pracovní doby	67
4	Vytvoření modelů, měření a zhodnocení výsledků	68
4.1	Získání dat	68
4.2	Simulace dat	68
4.3	Model zhodnocení únavy bez ohledu na individuality	70
4.4	Model zhodnocení únavy s ohledem na individuální vstupy jedince	74
	Závěr a shrnutí vlastního přínosu práce	78
	Bibliografie.....	80
	Seznam obrázků	84
	Seznam tabulek	84
	Seznam grafů.....	85
	Seznam grafických příloh.....	85

Seznam použitých zkratek

APP	Approach	Přiblížení na přistání
BAM	Boeing Alertness Model	komerční únavový model
CAS	Circadian Alertness Simulator	komerční únavový model
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví
EC	European Commission	Evropská komise
EEG	encephalography	encefalografie
FAID	Fatigue Assesment Tool by InterDynamics	komerční únavový model
FCMM	Fatigue Control and Mitigation Measures	opatření pro zmírnění rizik vlivem únavy
FDP	Flight Duty Period	doba letové služby
FRI	Fatigue Risk Index	komerční únavový model
FRM, FRMS	Fatigue Risk Management System	system řízení rizik únavy (EASA/ICAO)
FTLs	Flight time limitations	omezení doby letu
IATA	International Air Transport Association	Mezinárodní asociace leteckých dopravců
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFALPA	International Federation of Airline Pilots Associations	Mezinárodní federace sdružující piloty
KSS	Karolinska Sleepiness Scale	Karolinska únavová stupnice
LDG	Landing	Přistání

SAFE	System for Aircrew Fatigue Evaluation	komerční únavový model
SMS	Safety Management Systém	system řízení bezpečnosti
SP	Samn Perelli Scale	Samn Perelliho stupnice
TOC	Top of Climb	Stoupání
TOD	Top of Descent	Klesání
ULR	Ultra long range	lety na dlouhou vzdálenost
WOCL	Window of Circadian Low	doba cirkadiánního útlumu

Úvod

Letectví byl vždy průmysl, který po svých pracovnících požadoval práci ve směnném provozu. Ať už jde o mechaniky, techniky připravující letadlo k letu, piloty, palubní průvodčí, řídící letového provozu, letecké záchranáře nebo hasiče, ramp agenty či další, kteří zajišťují bezpečnost provozu, ti všichni pracují ve směnném provozu, který vyžaduje výkon práce kdykoli v průběhu celého dne. Z toho je zřejmé, že riziko spojené s únavou musí být identifikováno a řízeno tak, aby byla bezpečnost zajištěna v co největší míře.

FRMS je vědecký přístup k regulaci na odpočinek posádky a požaduje dostatečný odpočinek před začátkem výkonu práce. Takovýto přístup slouží k proaktivní správě vlivů únavy. Mezi výhody FRMS patří zvýšená bdělost pilotů a lepší rovnováha mezi pracovním a soukromým životem posádek. [2]

Biomatematické modely jsou nástroje pro predikci hladiny únavy posádky, založené na pochopení únavy jakožto vědy. Všechny biomatematické modely mají limity, které musí být pochopeny, aby mohly být správně použity ve FRMS. Jde tedy o jakousi „nadstavbu“ FRMS, která slouží jako prediktivní metoda řízení únavy posádek. Únavové modely představují oblast, o které se dá předpokládat rychlý vývoj a významný přínos v rámci vědy o únavě, včetně předpovědí specifických rizik spojených s únavou.

Cílem mé práce je představit problematiku biomatematického modelování a pokusit se ji začlenit do stávajících podmínek FRMS. Podrobněji chci odhalit principy komerčních modelů a představit jejich využitelnost. Dalším mým cílem bude vytvoření modelu, který bude vyhodnocovat různé vstupy s ohledem na individuální požadavky jedinců. Model by měl zohledňovat reálné možnosti společností a nabídnout tak uplatnitelné řešení po všech stránkách, včetně vyhovění požadavků letecké legislativy.

V úvodní části práce se věnuji seznámení s FRMS, jakožto systémem řízení rizik vlivu únavy, dále představuji biomatematické modelování a legislativními předpisy související s touto problematikou. Další část popisuje fungování komerčních biomatematických modelů a jejich praktické využití. Třetí část rozebírá samotnou strukturu modelů, jejich využitelnost, porovnání parametrů a hodnotící kritéria při pořizování komerčních modelů. Čtvrtá část se věnuje vytvoření vlastního modelu, který zohledňuje individuální vstupy.

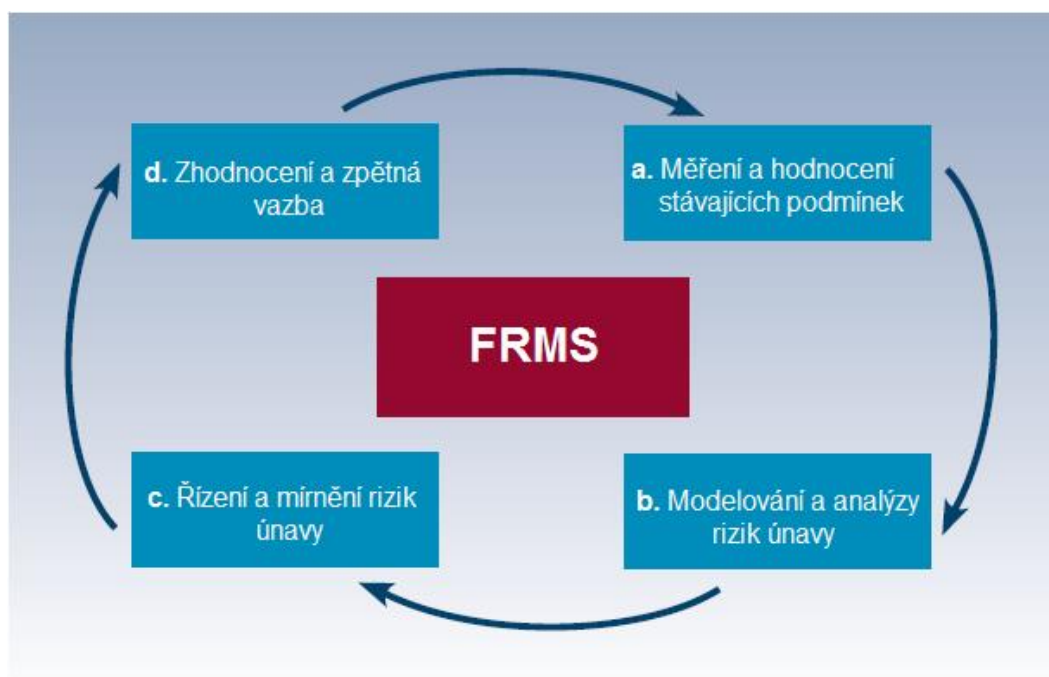
1 Základní problematika modelování únavy, příslušné legislativní podmínky a výhledy

1.1 Modelování únavy v kontextu s FRMS

Biomatematické modely jsou soustavy rovnic, které kvalitativně predikují úroveň rizik únavy nebo výstupy, založené na faktorech jako je historie spánku, denní doba nebo pracovní zátěž. Aby byly modely správně použity, je nutné, aby byla jak posádka, tak řídicí subjekty dostatečně vzdělaní k interpretaci výstupů modelů. [1]

FRMS je organizační systém, který umožňuje správu odpovědností všech zúčastněných stran, které jsou si vědomi svých povinností a závazků. Letecký průmysl přijal regulační přístup k prevenci únavy pomocí omezení letové služby, tzv. letovými limity.

Fungování celého FRMS popisuje obrázek níže. Celé FRMS je cyklus, který zahrnuje procesy jako je měření a hodnocení stávajících podmínek, modelování a analýzy rizik únavy, řízení a mírnění rizik únavy a dále zhodnocení a zpětná vazba.



Obrázek 1 Procesy FRMS [21]

Kromě zmírnění rizik únavy některé z výhod FRMS jsou:

- Snížení počtu incidentů a nehod souvisejících s chybami vyvolanými únavou, což může být spojeno s finančními náklady nebo dopadem na špatnou pověst provozovatele.
- Snížené náklady na pojištění, kdy některé pojišťovny mohou snížit pojistné, pokud provozovatel prokáže, že má FRMS.
- Snížení absence posádky - tzn., že si provozovatelé mohou všimnout snížení absencí posádky, které byly spojené s únavou.
- Získávání a udržení posádky - "únavově přátelské" seznamy mohou přilákat a udržet posádku pomocí lepších pracovních podmínek.

1.2 Odpovědnosti FRMS

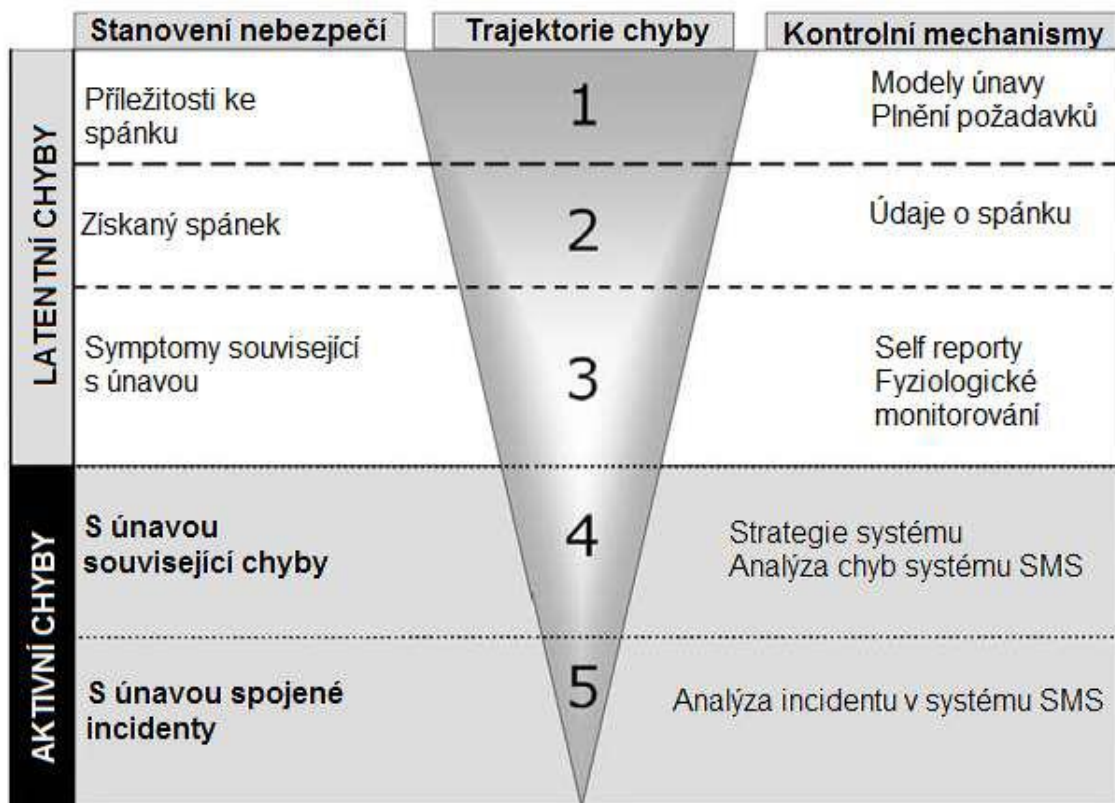
Jedním z hlavních rysů přístupu k řízení je, že všechny zúčastněné strany sdílejí odpovědnost za minimalizaci rizika a zvýšení bezpečnosti. Management má povinnost vytvořit pracovní prostředí, které minimalizuje rizika únavy, a zaměstnanci mají povinnost zajistit, aby čas, který tráví mimo práci, využili co nejlépe.

Celá tato idea představuje významný posun v myšlení. V minulosti odpovědnost za bezpečnost stanovoval především regulátor, který předepisuje úroveň bezpečnosti.

Jestliže špatné řízení vyústilo v leteckou nehodu nebo incident, regulátor mohl stanovit výši pokuty nebo jiné právní postihy. Pokud tedy zaměstnanec usnul v práci a způsobil nehodu, provozovatel mohl být potenciálně odpovědný. Postupem času se prohloubilo naše chápání nebezpečí únavy pomocí přispěvatelů k riziku. To znamená, že nyní každá strana, jak regulátor, tak provozovatel, tak i zaměstnanci, má své určité povinnosti pro řízení rizik únavy.

1.3 Hlavní úrovně kontroly řízení rizik únavy

V minulosti byla únava převážně řízena pomocí časových rozpisů regulovaných předpisy. Ve FRMS máme pět hlavních úrovní kontroly: organizační, individuální, behaviorální, úroveň chyb a úroveň nehod. Úspěch řízení tkví v organizování obranných systémů skrz tyto vrstvy.



Obrázek 2 Model řízení FRMS [8]

1.3.1 Úroveň 1 - organizační

Úroveň jedna je zacílena na to, aby pracovní plán nabídl zaměstnancům dostačující příležitosti ke spánku. K dosažení takového cíle je zapotřebí uvažovat nad následujícími faktory:

- délka a načasování směn
- délka a načasování přestávek
- počet směn pracujících za sebou
- počet dní volna mezi směnami

Organizováním těchto faktorů můžeme předpovídat, kolik průměrně spánku zaměstnanec získá. Jediný lék na únavu je spánek, z tohoto důvodu je zaměstnanec odpovědný za adekvátní odpočinek, který je mu poskytnut mezi směnami. Uvědomme si ale také fakt, že zaměstnanci nechodí spát hned po skončení pracovní náplně a nevstávají přesně v čas začátku další směny. Lidé mají i další aktivity, závazky a povinnosti, jako je cesta z práce, stravování, hygiena, společnost,

relaxace, trávení času s rodinou, přáteli atd. Pro dostatečný odpočinek tedy musí doba volna zahrnovat čas na spánek a navíc čas na další aktivity.

Existuje mnoho metod pro plánování směn pro zaměstnance. Nejideálnější metoda počítá s osmihodinovou pracovní dobou od 9:00 do 17:00, kdy se předpokládá, že zaměstnanec skončí směnu odpoledne, poté bude mít čas na své aktivity a ve 22:00 půjde spát. Bude mu tak nabídnut více než osmihodinový spánek, po kterém se ráno může opět socializovat. Tento model ovšem není pro letectví příliš použitelný z důvodu nepravidelnosti směn. Není možné uspokojit každého zaměstnance.

1.3.2 Úroveň 2 - individuální

Úroveň dva se zaměřuje na to, aby zaměstnanci využívali správně příležitosti k adekvátnímu spánku. Tato úroveň hraje dvě hlavní role v struktuře FRMS:

- Označuje zaměstnance, kteří i když dostávají příležitost k odpočinku, nesprávně ji využívají.
- Může být použita ke zhodnocení efektivity úrovně 1.

Existuje mnoho důvodů, proč zaměstnanci nemohou dosáhnout optimální kvality spánku, a to zejména kvůli různým rušivým vlivům.

Množství spánku, jaký člověk potřebuje k dostatečnému odpočinku, je individuální záležitost trvající mezi sedmi až devíti hodinami. Nižší dávka spánku vede ke snížení výkonnosti a tím pádem i ke snížení bezpečnosti. Dopady jsou ovšem individuální.

Některé společnosti zavádí tzv. spánkové dotazníky před směnou, které slouží především ke zvýšení bezpečnosti. Zaměstnanec před směnou uvede následující údaje:

- Množství spánku v průběhu 24 hodin.
- Množství spánku v průběhu 48 hodin.
- Počet hodin od posledního spánku.

Každá odpověď je ohodnocena v určitém intervalu určitým množstvím bodů, které jsou sečteny a zhodnoceny výslednou tabulkou.

1.3.3 Úroveň 3 – behaviorální

I když byla zajištěna příležitost k dostačujícímu spánku (úroveň 1) a zaměstnanci cítí, že se jim dostává dostatečné množství spánku (úroveň 2), stále se ukazují symptomy spojené s únavou. Úroveň tři hodnotí zaměstnance jednotlivě na chybovost spojenou s únavou. Monitorují tedy příznaky, které naznačují, že jsou zaměstnanci unaveni.

Úroveň 3 plní tyto dvě hlavní úlohy:

- Identifikuje zaměstnance, kteří prokazují i nadále příznaky únavy navzdory dostatečnému spánku.
- Hodnotí efektivitu úrovně 1 a 2.

Příznaky únavy se dělí do tří kategorií: fyzické, mentální a emoční.

Společnosti učí své zaměstnance jak rozpoznat určité symptomy. Růst povědomí o příznacích únavy může efektivně sloužit ke snížení počtu a závažnosti s únavou spojených chyb či nehod. Zaměstnanci se tak mohou sami monitorovat. Pokud na sobě i přes dostatečný odpočinek objeví některý z příznaků, mohou trpět spánkovými poruchami. Známe několik spánkových poruch, které ovlivňují na naše denní fungování.

Nespavost je porucha charakteristická obtížným usínáním nebo průběhem spánku. Nejčastější příčinou této nemoci je stres. Mezi další poruchy spánku patří například Apnea, což je krátkodobá zástava dechu několikrát za noc. Její slabší podobou je chrápání.

1.3.4 Úroveň 4 – chyby

I přes striktní kontroly je stále možnost naskytnutí chyby spojené s únavou vedoucí k incidentu nebo nehodě. Úroveň čtyři a pět je navržena pro snížení rizika únavy.

Fyzické příznaky Mentální příznaky Emoční příznaky

- Zívání,
- těžká víčka,
- mnutí očí,
- mikrospánek,
- obtížné koncentrování se,
- chyby pozornosti,
- oslabená paměť,
- oslabená komunikace,
- špatná rozhodovací schopnost,
- úzkostlivost,
- vyčerpání,
- nedostatečná motivace,
- podrážděnost.

Úroveň čtyři stanovuje strategie, které zajišťují, že únava nemá za následek chyby nebo mimořádné události. Úroveň pět stanovuje roli únavy v chybě nebo mimořádné události.

Do čtvrté úrovně patří dvojí kontrola, vytvoření vhodných pracovních podmínek, školení zaměstnavatelů ohledně osobních limitů a strategií přispívajících ke vzniku únavy a další.

Dvojí kontrola je zajištěna například prací v týmu, využívání check-listů, podporou self-reporting systému, dostatečnou komunikací a briefingy.

Pracovní podmínky umožňují vytvoření prostoru pro odpočinek: vyhrazená místnost k odpočinku, různé občerstvovací automaty, vhodné osvětlení, kontrola teploty pracovního prostředí, omezení hluku a poskytnutí veřejné dopravy v místě výkonu práce.

1.3.5 Úroveň 5 – nehody a jejich šetření

Obecně lze konstatovat, že incident nebo nehoda musí souviset přímo s únavou, abychom mohli mluvit o páté úrovni řízení. Jedná se tedy o chyby, jako je usínání za letu, nepozornost, opožděná reakce nebo chyba úsudku. K definování události zaviněné únavou je třeba přezkoumat první tři úrovně řízení. Výsledky tohoto průzkumu by měly pomoci identifikovat slabé stránky v řízení a identifikovat rizika. Mnoho společností analyzuje informace z jednotlivých zpráv o mimořádných událostech.

Šetření nehody může zahrnovat informace o odpracovaných hodinách v den incidentu a předchozích dnech. Otázky v průběhu vyšetřování mohou pomoci určit, zda nějaký určitý faktor přispěl k incidentu. Chceme-li získat jasnou představu o průběhu mimořádné události, musí vyšetřovatelé využít dostatečného množství specifických otázek. Sběrem relevantních informací o únavě může společnost lépe pochopit vlastní rizika a upravit tak své postupy. Data získaná odpověďmi mohou pomoci identifikovat oblasti, které je třeba dále zlepšovat.

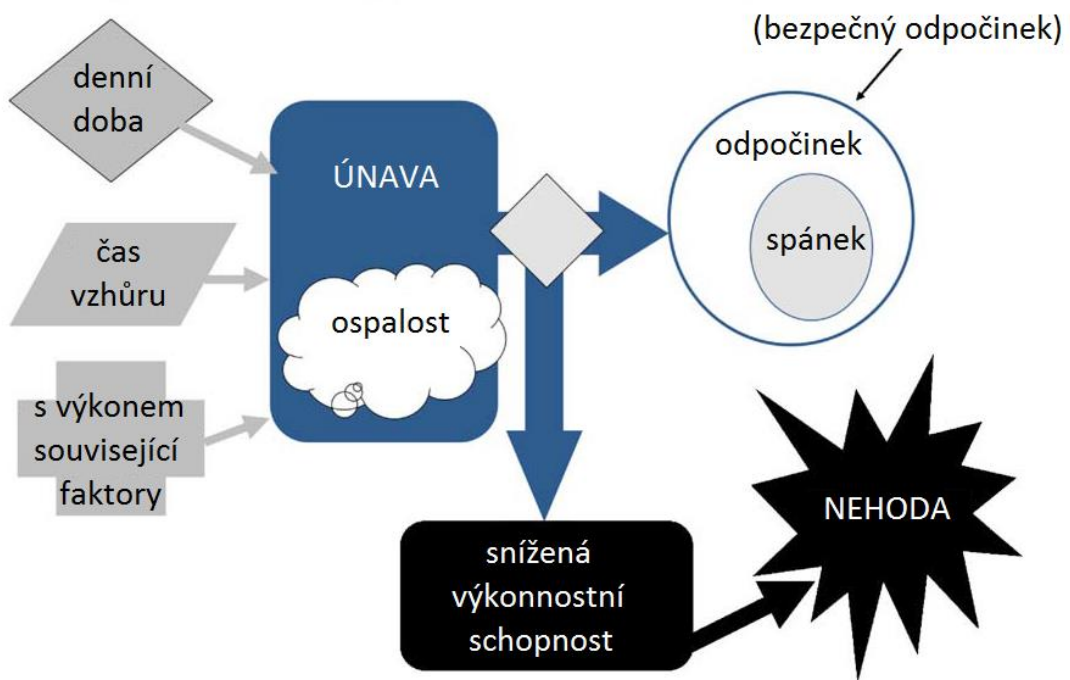
Jakmile signály nebo varování odhalíme a vyřešíme předčasně, můžeme zabránit nechtěné události. K odhalení signálů nebo varování používáme proaktivní indikátory bezpečnosti, které snižují riziko nehody. Proaktivní přístup odhaluje a identifikuje potenciálně nebezpečné podmínky v počátcích, to znamená, že ho můžeme aplikovat ještě před tím, než dojde k nehodě. Je to tedy nejvhodnější způsob měření úrovně bezpečnosti před tím, než dojde k vážnému incidentu či nehodě. Reaktivní indikátory jsou nazývané zpětné. Jedná se o informace vycházející z vyhodnocení výstupu systému.

1.4 Od únavy k bezpečnosti

Jedním z hlavních rysů přístupu k FRMS je, že všechny zúčastněné strany sdílejí odpovědnost za minimalizaci rizika a zvýšení bezpečnosti. Management má povinnost vytvořit pracovní prostředí, které minimalizuje rizika únavy, a zaměstnanci mají povinnost zajistit, aby čas, který tráví mimo práci, využili co nejlépe.

Znamená to tedy, že pokud všichni plní své povinnosti bezpečným a efektivním způsobem, zvyšuje se tím bezpečnost provozu a rizika se minimalizují.

S touto problematikou neodmyslitelně souvisí i problematika „selfmanagementu“. Každý pilot by si měl vytvořit podmínky, které působí na jeho vliv únavy. Pokud toto není schopen definovat sám, měla by mu organizace pomoci tyto podmínky formulovat prostřednictvím různých školení, např. o budování osobnosti či psychologických školení.

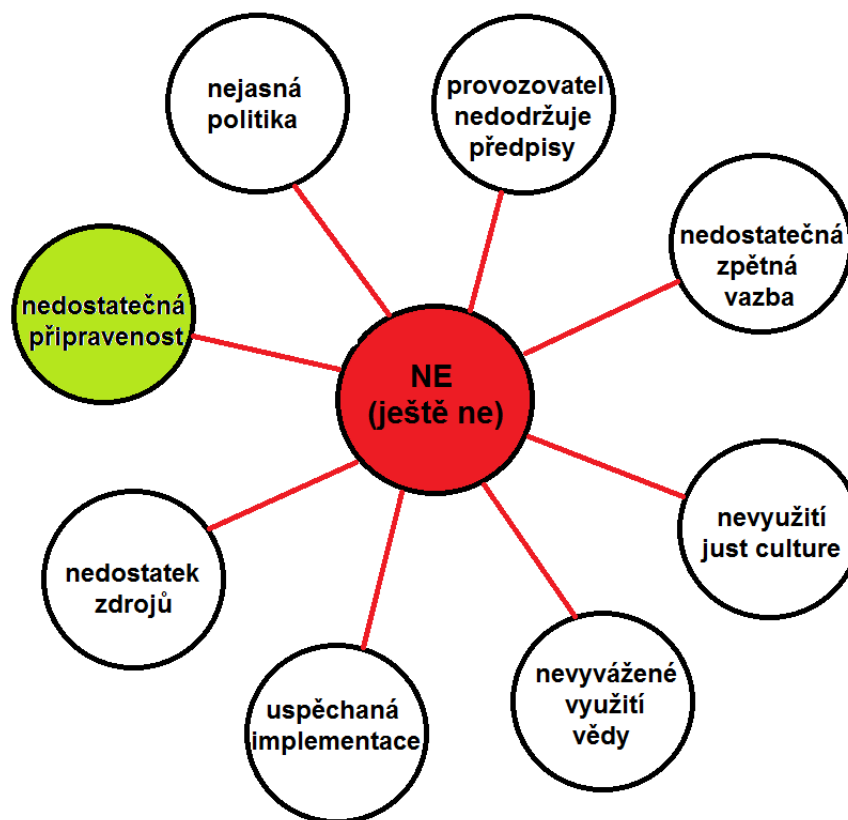


Obrázek 3 Vztah mezi únavou a bezpečností [1]

Obrázek 5 ukazuje, jak cirkadiální rytmy, čas bdění a ostatní přímé faktory působí na ospalost, která je jedním z hlavních projevů únavy. V případě, že není únava řízena, dochází ke snížení výkonnostní schopnosti, která dále vede ke vzniku nehody nebo incidentu. V případě, že únavu řídíme, dochází k bezpečnému odpočinku a minimalizaci rizik.

Vazba mezi únavou a bezpečností je velmi obtížná. Obtížnou úlohu zde zastává zhodnocení rizika, protože definování „přijatelné“ nebo „bezpečné“ úrovně únavy je velmi složité. Přijatelnost závisí na daném provozu. To co může být přijatelné ve vztahu k člověku starajícím se o zemědělské plodiny, může být zcela nepřijatelné ve vztahu k pilotovi řídícím dopravní letadlo.

1.5 Důvody nezavedení FRMS v leteckých společnostech



Obrázek 4 Důvody nezavedení FRMS [29]

FRMS představuje rámec, který pomáhá spravovat rizika spojená s únavou. Jeho zavedení není ovšem úplně jednoduché. Důvody nezavedení FRMS se u jednotlivých leteckých společností liší, ale principiálně spočívají v aspektech uvedených na obr. 7.

Hlavním důvodem nezavedení FRMS do provozu leteckých společností je nedostatečná připravenost. S tím souvisí neporozumění celé problematiky únavy. Samozřejmě v praxi je nutné posoudit ekonomické ukazatele, které rozhodují za danou společnost. Únava je brána mnohými nízkonákladovými dopravci jako nedostatečně velké riziko, které není potřeba řídit.

S tím souvisí i nejasná politika. Mnohdy není jasná celá koncepce politiky dané společnosti. Provozovatel v rámci své nejasné politiky ne vždy dodrží předpisy a z důvodu nepřiměřené kontroly není nijak nucen je plnit.

S nedostatečnou zpětnou vazbou souvisí i problematika nevyužití „just culture“. „Just culture“ je kultura společnosti, která podporuje své zaměstnance k hlášení situací, které měly nebo mohly mít vliv na snížení bezpečnosti. Za tato hlášení není nikdo potrestán. Ovšem není tolerováno hlášení, kde jde o hrubou nedbalost, o úmyslné přestupky či destruktivní akty. [24]

Odebrání licence k činnosti, či pokuty mohou odradit provozovatele hlásit jakoukoli chybu, je proto tedy důležité podpořit rozvoj prostředí, ve kterém jsou události hlášeny. K podpoře je vhodné využít například zavedení preventivních opatření.

Není jednoduché přiznat si, že jsme udělali chybu a povědět o ní okolí, ale pouze z těchto zkušeností se můžeme poučit my všichni a přispět tak ke zvýšení bezpečnosti. Lidé by měli komunikovat a sdílet své zkušenosti, protože každá zkušenost je jedinečná. Každá informace by měla být brána vážně a měla by být použita jako přínos společnosti. Začlenění takového konceptu je velmi obtížné, protože nynější myšlení stále směřuje k rozhodnutí, kdy za chyby musí být odpovědný potrestán. Koncept „just culture“ je důležitý k celkovému rozvoji procesů a porozumění, kdy využíváme self reportů a zpětné vazby ke zdokonalení celého systému. Čím více informací víme, tím je organizace bezpečnější.

Další problém nezavedení FRMS v organizacích je nevyvážené využití vědy. V rámci organizace neexistuje buď žádný výzkum, nebo existuje až moc výzkumné činnosti, která nevede k žádnému konkrétnímu cíli. Výstupy jsou pak založené buď na přílišné teorii, nebo nedostatečnému pochopení problematiky.

Implementace FRMS je proces uskutečňování teoreticky stanoveného záměru, kterému předcházela analýza a plánování postupu a očekávaných výsledků. Nesoulad mezi předpokladem a skutečností může být způsoben úspěšnou implementací nebo nevhodným způsobem implementace.

Dalším důvodem nezavedení FRMS může být nedostatek zdrojů. FRMS s sebou přináší i počáteční investice do implementace. Ať už se jedná o vypracování různých studií, aplikaci biomatematických modelů či zvýšení počtu zaměstnanců. Zavedení FRMS s sebou ale přináší spoustu výhod. Vlivem snížení nehodovosti dochází ke snížení nákladů spojených s nehodovostí, zvyšuje prestiž nebo umožňuje snížení nákladů na pojištění.

Dalším problémem, který není uveden v obrázku výše, může být i nedostatek Senior Safety manažerů, kteří by aplikovali znalosti do prostředí organizace. V posledních letech se zavádí pozice Safety manažerů, ovšem zkušených odborníků je prozatím stále málo.

1.6 Legislativní přístupy k FRMS

Doposud existují dva přístupy k FRMS, a to pohled organizace EASA a pohled organizace ICAO.

EASA přistupuje k FRMS pomocí FTLs. EASA společně dává jasné vodítko, jak únavu řídit, ale neříká nic o inteligentním a přizpůsobivém systému řízení pomocí jiných prostředků, než jen FTLs.

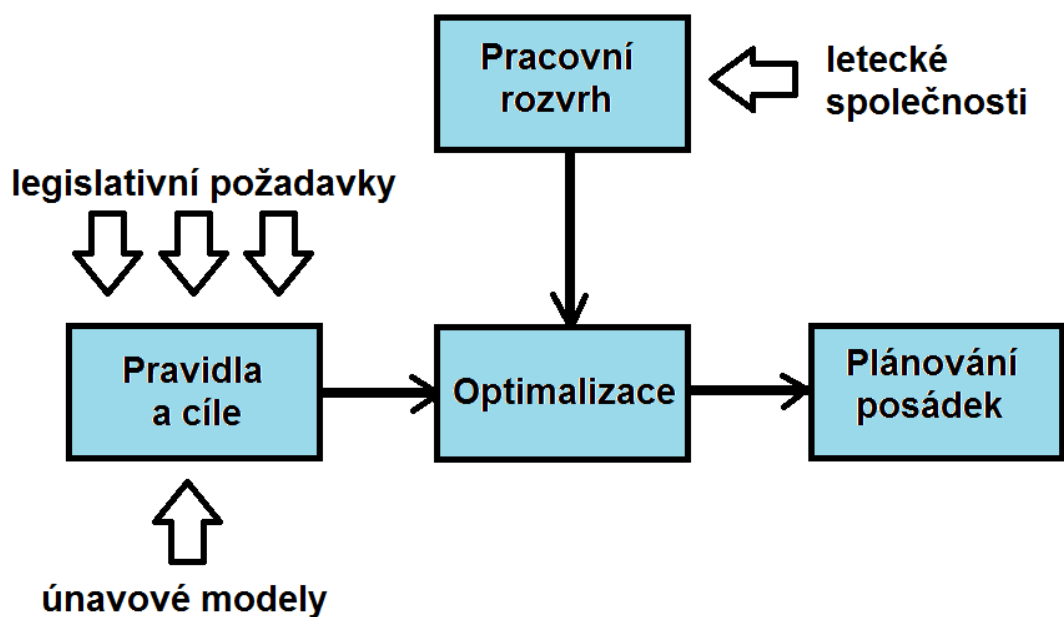
ICAO zaujímala poněkud jiný pohled, který se stará o management rizik vlivů únavy. ICAO definuje FRMS jako řízená data získaná z průběžného sledování únavy, založená na vědeckých principech a znalostech, která mají za cíl zajistit personál vykonávající svou práci na odpovídající úrovni bdělosti.

Stejně jako SMS, FRMS usiluje o dosažení realistické rovnováhy mezi bezpečností, produktivitou a náklady. Klíčovým rysem FRMS je stanovení odpovědnosti za řízení rizik únavy, která je rozdělena mezi provozovatele a jednotlivé posádky.

Například, provozovatelé jsou odpovědní za poskytování času na odpočinek, zatímco členové posádky mají odpovědnost za efektivní použití času odpočinku.

Problémem je přesné definování FRMS. Otázkou je, odkdy se jedná pouze o plnění úkolů organizací a odkdy se jedná o management. Tzn., od jakého okamžiku jde pouze o legislativní plnění a od kdy o skutečné inteligentní a adaptabilní využívání FRMS. Každá organizace si spravuje FRMS sama, což vytváří potenciál pro optimalizaci využívání letadlového parku a pracovní síly pilotů.

Tradičně letecké společnosti spoléhají pouze na normativní omezení doby letu na zmírnění rizik únavy. Zatímco FTLs jsou, do určité míry, založeny na principech cirkadiánních rytmů, existuje jen "jedna velikost pro všechny", což znamená, že přístup má významná omezení.



Obrázek 5 Schématická reprezentace nástrojů a podmínek využitých k plánování posádek

Obrázek 6 se věnuje schématické reprezentaci plánování posádek z pohledů obou organizací najednou. Systém se soustředí kolem optimalizace, do které vstupuje soubor pravidel a cílů a informace o pracovních harmonogramech s cílem vytvořit plány posádek. V tomto modelu do pravidel vstupují FTLs, které jsou rozdílné v různých světadílech. Doposud zatím nedošlo k celosvětové harmonizaci. K simulaci FRMS přístupu, jsem jako vstup do pravidel použila i únavové modely. Ty umožňují vytvoření plánů bez omezení FTLs za pomoci předpovědi naší bdělosti.

Za poslední léta se přístup EASA vyvíjí. EASA neustupuje od legislativních omezení v podobě FTLs a jejich využití stále zdokonaluje. Stanovuje maximální doby letu, limituje roční počet nalétaných hodin, vytváří požadavky na minimální odpočinek a zohledňuje přechod časových pásem. Dále se pokouší prosadit s myšlenkou, že FRMS je důležité, ale pouze za předpokladu využití FTLs.

1.7 Platné normy v České republice související s FRMS a legislativní výhledy

- **Letecký předpis L-6, Part 1, Hlava 4**

Letecký předpis L-6 o provozu letadel je platný na území České republiky a je v souladu s příslušnými mezinárodními smlouvami o letectví. O zvládání únavy pojednává Hlava 4, konkrétně ustanovení 4.10 a doplněk 7.

Stát provozovatele musí vytvořit předpisy pro oblast zvládání únavy. Tyto předpisy musí být založeny na vědeckých principech a znalostech s cílem zajistit, že členové letových posádek a palubní průvodčí vykonávají své úkoly s odpovídající úrovní bdělosti. Následně musí Stát provozovatele stanovit:

- předpisy pro omezení doby letu, doby letové služby, doby služby a odpočinku;
- předpisy vztahující se k FRMS, pokud schválí provozovateli využívání systému řízení rizik spojených s únavou. [27]

FRMS stanovený v souladu s Hlavou 4 musí obsahovat alespoň tyto prvky:

- politika a dokumentace FRMS,
- procesy řízení rizika spojeného s únavou,
- FRMS procesy zabezpečující bezpečnost,
- procesy podpory FRMS. [27]

- **Nařízení (EC) 859/2008 Subpart Q, OPS 1090**

Jedná se o nařízení Evropské komise, které pojednává o FRMS. Řeší vztahy mezi četností a organizací doby letové služby a dobou odpočinku s přihlédnutím na kumulativní účinky únavy. Dále vymezuje pravidla provozovatelům, kteří se zavazují, že svým plánováním zabrání k vážnému narušení spánkového a pracovního rytmu.

Toto nařízení pozbyde své platnosti v únoru 2016 nahrazením nařízením (EU) 83/2014.

- ***Nařízení (EU) 83/2014 ORO.FTL.***

Toto nařízení vstupuje v platnost v únoru 2016 a je závazné v celém rozsahu pro členské státy EU.

V příloze III nařízení (EU) č. 965/2012 se doplňuje nová hlava FTL, která se zní *Omezení doby letové služby a služby a požadavky na dobu odpočinku.*

Dle *ORO.FTL.110* jsou vymezeny odpovědnosti provozovatele, který:

- oznamuje rozpisy služeb v dostatečném předstihu, aby si členové posádky měli možnost naplánovat přiměřený odpočinek;
- zajistí, aby doby letové služby byly naplánovány tak, aby členové posádky nebyli příliš unaveni a mohli za všech okolností vykonávat službu na uspokojivé úrovni bezpečnosti;
- stanovuje doby hlášení do služby, které poskytnou dostatek času pro splnění povinností na zemi;
- bere v úvahu vztah mezi četností a schématem letové služby a doby odpočinku a patřičně přihlíží ke kumulativním účinkům dlouhých dob služby v kombinaci s pouze minimální dobou odpočinku;
- plánuje služby tak, aby se zamezilo praktikám, jako je střídání denních a nočních služeb, které vedou k vážnému narušení spánkového a pracovního rytmu;
- dodržuje ustanovení týkající se rušivých rozvrhů;
- zajišťuje doby odpočinku poskytující dostatek času, aby se členové posádky mohli zotavit z účinků předchozí služby a odpočinout si před začátkem další doby letové služby;
- plánuje pravidelné prodloužené doby odpočinku k zotavení a oznamuje je členům posádky v dostatečném předstihu;
- plánuje letové služby tak, aby skončily v přípustné době letové služby s přihlédnutím k času potřebnému k předletové přípravě, době letu a době průletového odbavení letadla;

- provádí změny v plánování posádek a/nebo složení posádek, jestliže skutečný provoz překračuje maximální dobu letové služby u více než 33 % letů v daném rozvrhu během naplánovaného sezonního období. [28]

Dle *ORO.FTL 115* se vymezují odpovědnosti i členům posádky, kteří co nejlépe využívají poskytnutých příležitostí a zařízení k odpočinku a řádně plánují a využívají doby svého odpočinku.

ORO.FTL.205 pojednává o době letové služby, kde se vymezují maximální doby letové služby. *ORO.FTL.235* řeší otázky minimální doby odpočinku, *ORO.FTL.250* výcvik v oblasti zvládnání únavy.

Pro účely omezení doby letu se nově zavádí v souladu s definicí o rušivých rozvrzích pojem „časný typ“ a „pozdní typ“.

Členské státy se mohou rozhodnout, že nebudou používat ustanovení bodu *ORO.FTL.205*, a budou nadále používat stávající vnitrostátní ustanovení týkající se doby odpočinku během letu, ale to nejdéle do února 2017. Pokud se toto stane, členský stát popíše důvody této odchylky, délku trvání a program obsahující plánovaná opatření a jejich časový harmonogram. [28]

Pokud tedy jde o FTLs, doposud se letecké společnosti řídí vyhláškou 466/2006 Sb., nařízením vlády 589/2006 a 856/2008 Subpart Q, OPS 1090. Od února 2016 se společnosti musí začít řídit nařízením 83/2014 *ORO.FTL*. Tímto nařízením se bylo možné řídit už dříve, ovšem pro letecké společnosti to znamenalo větší náklady a požadavek na více posádek.

Plošná povinnost FRMS prozatím není zavedena, záleží pouze na provozovateli, jak plní uvedené požadavky OPS. Existují ale případy, kdy povinnost zavedení FRMS opravdu existuje, a to např.:

- CS FTL.1.205 Flight Duty Period – Higher maximum Flight duty for crew in unknown state of acclimatization,
- CS FTL.1.205 (a)(2) Flight Duty Period „Long Night Duties“ longer than 10 hours,
- CS FTL.1.235 (c) Reduced rest period application.

1.8 FRMS v ČSA

V České republice se přístup k FRMS pomalu začíná měnit a letecké společnosti pocítují potřebu spravovat únavu pomocí systému řízení bezpečnosti.

ČSA zavedly FRMS k 1. lednu 2015, poté co vedení společnosti vyhodnotilo toto řešení jako optimální nástroj k řízení únavy v době, kdy u Společnosti nebyla v platnosti kolektivní smlouva. Do té doby byly limity doby letové služby publikované v Provozní příručce společnosti kompilací nepřekročitelných limitů (státní nebo evropská bezpečnostní norma), jakýchsi nástrojů k řízení únavy a sociálních benefitů, které byly výsledkem kolektivního vyjednávání. Tento způsob řízení únavy posádek nedokázal pružně reagovat na změny v provozu, navíc chyběla zpětná vazba od leteckého personálu. V průběhu studia podkladů pro zavedení FRMS bylo zjištěno, že zavedení FRMS je pro společnost nejen optimální, ale dokonce povinné, vzhledem k provozování nočních služeb v trvání 10 hodin a více. Při zavádění FRMS se ČSA řídilo principy uvedenými ve FRMS Implementation Guide vydaného organizacemi IATA, ICAO A IFALPA.

Pokud provozovatel zavádí FRMS k řízení rizik spojených s únavou, musí:

- zapracovat v rámci FRMS vědecké principy a znalosti,
- průběžně identifikovat nebezpečí spojená s únavou a z toho vyplývající rizika,
- zajistit nápravná opatření a zmírňující strategie, které budou bezodkladně aplikovány,
- a musí zajišťovat průběžné sledování a vyhodnocování aktuálního stavu. [27]

Takto jsou popsány principy fungování FRMS dle Annexu 6, které platí i pro ČSA.

ČSA definuje svou politiku ve své Provozní příručce, kde zavádí novou kapitolu věnující se této problematice. V této kapitole tedy ČSA zveřejňuje:

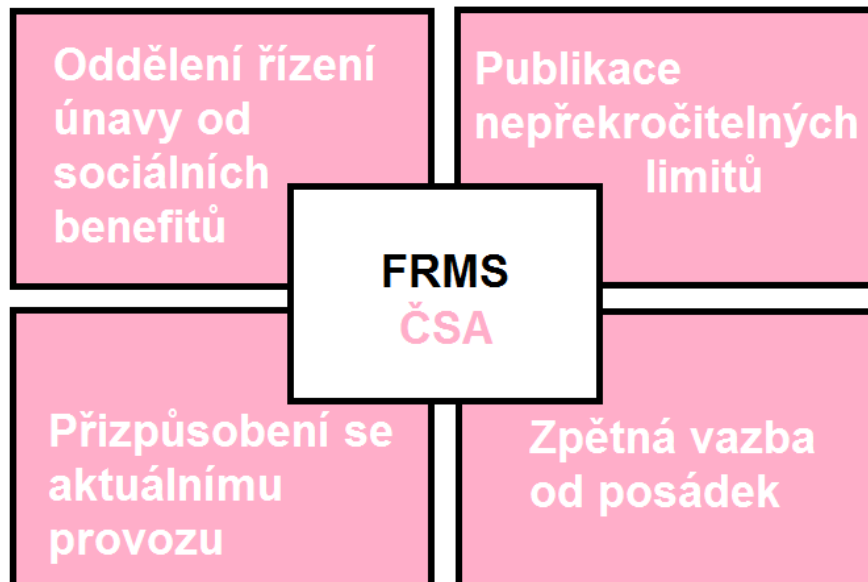
- existenci nové pracovní skupiny (Steering Group), která je tvořena zástupci zainteresovaných stran, která bude pracovat na vylepšení celého systému,
- fakta o spánku, cirkadiánních rytmech a potřebě spánku,
- FRMS procesy,
- FRMS dokumentaci,

- Procesy podpory a zajištění FRMS, kam patří především strategie pro řízení vlivu únavy a komunikační nástroje.

ČSA zavádí účinný FRMS komunikační plán, který vysvětluje politiku, postupy a odpovědnosti všem zainteresovaným osobám. Dále zajišťuje průběžné sledování výkonnosti FRMS, rozборы trendů vývoje a poměřitelnost k ověření účinnosti prvků řízení bezpečnostního rizika souvisejícího s únavou.

1.8.1 Principy uplatňované při zavedení FRMS u ČSA

Principy uplatňované při zavedení FRMS u ČSA popisuje také níže uvedený obrázek.



Obrázek 6 Principy FRMS v ČSA

Zmíněná letecká společnost se snaží oddělit řízení únavy od sociálních benefitů, což v praxi znamená, že posádka doposud mohla využít dne volna, tzv. „sick leave“, kdy se z nějakých důvodů nebylo možné do práce dostat, a to především ze zdravotních důvodů. Tuto možnost nepřijít do práce na základě vlastní úvahy musí zaměstnanec oznámit svému zaměstnavateli. Tento den volna je možný pouze omezeným počtem využití za určité časové období. Ze své povahy lze tuto možnost velmi snadno zneužít. Pokud ale zaměstnavatel nabyde důvodného podezření, že zaměstnanec

„sick leave“ volna zneužil z jiného než zdravotního důvodu, může z toho vyvodit důsledky.

Může ale nastat situace, kdy zaměstnanec po vyčerpání těchto dnů volna nemůže nastoupit do letové služby a své volno opravdu potřebuje, protože se cítí unaven. FRMS mu umožňuje tedy nad rámec svého „sick leave“ oznámit svůj stav a nepřijít do práce. Oznámení probíhá přes interní ohlašovací systém, kde zaměstnanec pomocí dotazníku vyplní informace ohledně svého stavu a uvede příčinu únavy. Tyto příčiny mohou být různé a mohou zahrnovat aspekty osobní, zdravotní či pracovní – například náročná předchozí služba, neschopnost spánku přes den, špatná kvalita spánku na hotelu, kumulovaná únava atd. Na zaměstnavateli potom je, aby ohodnotil, zdali jeho zaměstnanec dostal příležitost k odpočinku, jak dlouhá tato příležitost byla, či proč únava vznikla. V každém případě díky ohodnocení vlastní úrovně únavy dochází ke vzdělání organizace a k dalšímu případnému výzkumu ze získaných dat. Protože v dané společnosti využívají konceptu „Just culture“, nedochází k potrestání ohlášení únavy, ale k poučení organizace, což značí jasný posun v myšlení.

Další praktika odkazuje na publikaci nepřekročitelných limitů, tedy těch limitů, které jsou často označovány jako státní či evropská bezpečnostní letová norma. Odděleně od těchto limitů jsou pak publikovány vlastní nástroje řízení únavy, plynoucí ze specifik daného provozu. V organizaci, kde mají úspěšně implementované FRMS, seznamují své zaměstnance prostřednictvím školení o samotné únavě, o pochopení příčin únavy a jejích důsledků a o FTLs. Každý člen posádky tedy dobře ví, kde tato letová omezení může najít a rozumí jim. Zároveň se zavazuje, že je bere na vědomí a bude hlásit stav, kdy se necítí dobře a mohl by svým chováním ohrozit bezpečnost provozu.

Pokud by nastal stav, kdy nebude splněna minimální délka odpočinku, ale člen posádky přesto chce nastoupit do práce, je toto možné, ale pouze za předpokladu že budou dodrženy všechny požadavky bezpečnostní letové normy. V tom případě však na sebe tento člen bere veškerou zodpovědnost za své chyby, kterých se dopustil v důsledku únavy. Tedy v případě, že se stane jakékoli pochybení z důvodu únavy, zodpovídá za všechny následky.

Přizpůsobení se aktuálnímu provozu znamená, že zaměstnavatel pružně reaguje na aktuální provoz a poučuje se z dobrovolných hlášení svých zaměstnanců. V případě nové linky vytváří podmínky takové, jaké má zavedené u linek podobného charakteru. Podmínky tedy nejsou vytvořené na základě empiricky podložených dat, ale na vlastních zkušenostech a očekáváních.

Pomocí takto nastavených pravidel dochází k lepší zpětné vazbě od posádek, kdy veškeré jejich podněty jsou řešeny v jejich prospěch. Zaměstnavatel vítá názory členů posádek, které mohou přispět ke snížení rizika únavy v letovém provozu, rád slyší o nedostacích, které se snaží omezit a poučit se z nich. Do interního systému je možné hlásit i stav, kdy během letu došlo k omezení bdělosti, a to i anonymně. Zaměstnavatel na každý postřeh písemně reaguje a zpětnou vazbu zaměstnancům umožňuje prostřednictvím intranetu.

1.8.2 Nápravná opatření a zmírňující strategie

Nápravná opatření ČSA zavádí z toho důvodu, aby za žádných okolností nelétali na „státní normu“ bez zohlednění specifik jejich provozu.

Např. ČSA při každé nové trati provádí stanovovací proces, kdy sleduje především stěžejní případy, kdy ČSA ve své politice deklarují, že nevěří, že létání podle zákonných limitů je za všech okolností bezpečné. Proto byl vytipován následující okruh letových služeb, které představují zvýšené riziko únavy. Jsou to následující typy FDP:

- FDP během jednoho úseku delší než 12 hodin,
- FDP během více úsekového letu delší než 11 hodin,
- FDP zasahuje více než 3 hodinami do WOCL,
- Let je provozován zesílenou posádkou,
- Úseky letu jsou odděleny zkráceným odpočinkem, který je kratší než 5 hodin.

V těchto případech dochází k podrobnému rozboru.

Principy FCMM (Fatigue Control and Mitigation Measures) jsou popsány v Provozní příručce společnosti. FCMM zohledňuje charakter provozu ČSA. Změny schvaluje a provádí pouze Steering Group, vytvořena pro potřeby FRMS. Steering Group je

složená z následujících členů: ředitel letového provozu, manažer Safety a Quality, vedoucí organizační jednotky řízení a plánování posádek a po jednom zástupci odborových organizací pilotů a palubních průvodčích. Celá koncepce FCMM se mění v závislosti na změnách v provozu ČSA.

Každá zmírňující strategie obsahuje popis hrozeb, dopadů a popis efektu opatření.

Hrozba	Dopad	Efekt opatření
<i>Střídání denní a noční služby.</i>	<i>Narušení cirkadiálního rytmu, snížení kvality spánku, spánkový deficit a kumulace únavy.</i>	<i>Omezení četnosti střídání denní a noční směny, omezení brzkého začátku ranní směny po směně noční, redukce spánkového deficitu.</i>

Tabulka 1 Ukázka zmírňující strategie

FRMS tedy ČSA umožňuje průběžně reagovat na výskyt nadměrné únavy v provozu ČSA a modifikovat opatření k jejímu řízení.

1.9 Metody identifikace rizik

Výše uvedený přístup k fungování FRMS identifikuje rizika pomocí prediktivních, proaktivních a reaktivních metod.

1.9.1 Prediktivní metody

Prediktivní metody spočívají ve využití vlastních zkušeností při plánování a snahy predikovat míru únavy, který přinese nový provoz nebo plánování.

Prediktivní proces musí určit nebezpečí spojené s únavou pomocí kontrol plánování posádek s uvážením známých faktorů ovlivňujících spánek a únavu a jejich vlivů na výkonnost. Kontrolní metody mohou zahrnovat, ale nemusí se omezovat na:

- provozní zkušenosti provozovatele nebo průmyslu a sběr údajů z podobných druhů činností,
- metody plánování založené na evidenci,
- biomatematické modely. [27]

Všimněme si výše uvedené formulace. Jinými slovy, není nutná žádná z těchto metod, ale můžeme použít i další metody.

Podrobně se budu věnovat biomatematickému modelování.

Biomatematické modely slouží k testování současného chápání toho, jak faktory jako je například nedostatek spánku, pracovní zátěž nebo cirkadiánní rytmy ovlivňují lidskou výkonnost. Modelovací proces začíná simulací tzv. „vývojové sady dat“, kde používáme například sebehodnocení únavy a data získaná měřením únavy. Pokud máme data, můžeme je využít k predikci jiných situací. Modelované předpovědi jsou testovány s nově získanými daty. Vědecké modelování je kontinuální proces zlepšování. Dochází stále k novým experimentům, díky kterým je možné předpovědi modelů zdokonalovat. Díky náhodným pokusům, zjišťují vědci nedostatky nebo neúplnost daných modelů a díky těmto poznatkům dochází k jejich odstranění a následnému vylepšení.

Řada biomatematických modelů, které byly komerčně a jsou uváděny na trh, jsou využívány jako nástroje pro předpovídání únavových nebezpečí a k plánování. Správně použité modely mohou fungovat jako užitečné nástroje pro FRMS, a to zejména proto, že je velmi obtížné si představit dynamické interakce procesů, jako je obnovení bdělosti. Pokud mají být modely použity správně, vyžadují určité znalosti o tom, co mohou a nemohou předpovídat.

Současně dostupné modely jsou schopny předvídat průměrnou úroveň únavy a neberou v úvahu individualitu únavy. Některé dostupné modely se snaží předpovědět úroveň bezpečnosti.

Nejspolehlivější využívání momentálně dostupných modelů je porovnání pravděpodobností relativní úrovně únavy. Modelované predikce by neměly být používány bez odkazu na provozní zkušenosti. Na druhé straně údaje shromážděné z FRMS by mohly být zdrojem pro vylepšení biomatematických modelů.

1.9.2 Proaktivní metody

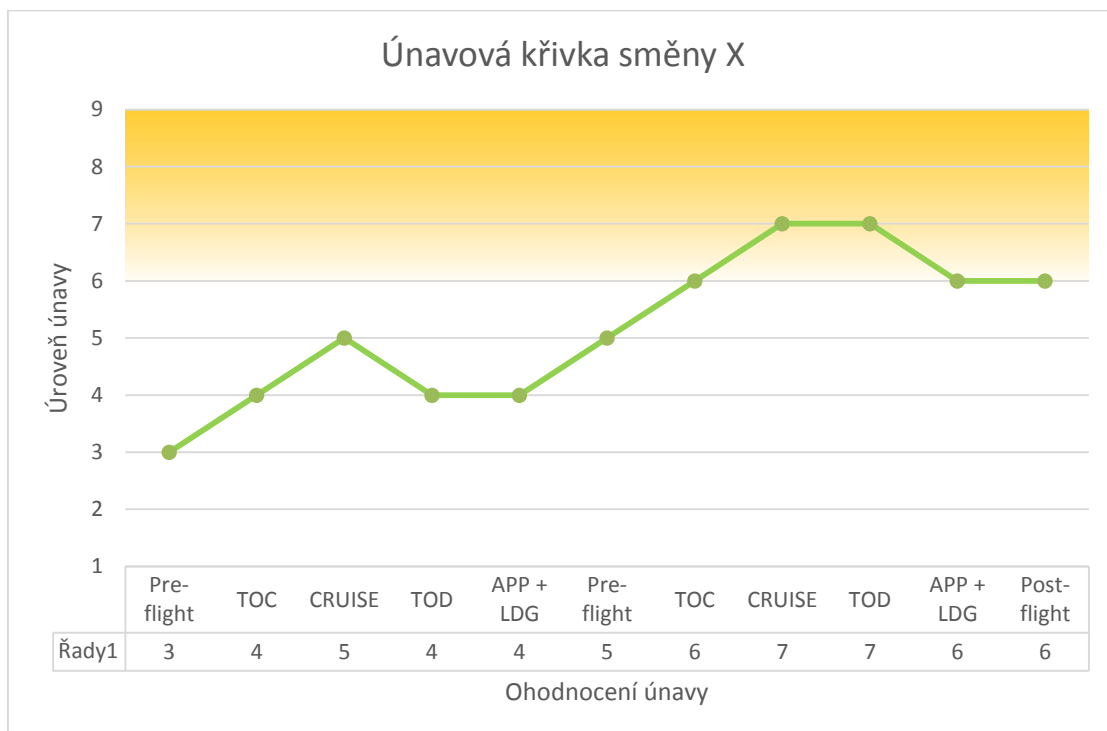
Proaktivní proces musí určit nebezpečí spojené s únavou v rámci běžného letového provozu. Kontrolní metody mohou zahrnovat, ale nemusí se omezovat na:

- osobní hlášení rizik spojených s únavou,
- průzkumy únavy posádek,
- údaje související s výkonností letových posádek a palubních průvodců,
- dostupné databáze o bezpečnosti a vědecké studie,
- rozborů plánované a skutečně odpracované doby. [27]

Systém dobrovolného hlášení zjišťuje odpovědi na otázky, kdy došlo k pochybení z důsledku únavy, popis, co se stalo, ohodnocení vlastní úrovně únavy, proč k dané situaci došlo, co se mohlo stát a co udělal dotyčný ke zmírnění únavy.

Dále může člen posádky dobrovolně vyplnit dodatečné údaje, kde hodnotí úroveň únavy během různých fází jeho služby. Konkrétně hodnotí pocity při předletové přípravě, TOC, stoupání, TOD, přiblížení na přistání, přistání a úkonech po letu.

Daný výstup poté může vypadat např. takto:



Graf 1 Příklad únavové křivky

Na každé společnosti je, aby si zvolila danou hranici, která pro ni bude jak z hlediska úrovně bezpečnosti, tak i z hlediska ekonomické úrovně přijatelná. Jakoukoli vyšší hodnotu nad tuto stanovenou úroveň je nutno mírnit pomocí FCMM. Zde se stanovují hrozby, dopady a efekty opatření.

1.9.3 Reaktivní metody

Reaktivní proces musí určit podíl nebezpečí spojených s únavou na hlášeních a událostech spojených s možnými negativními důsledky pro bezpečnost, aby bylo možné stanovit, jak by mohl být dopad únavy minimalizován. Impulzem pro tento proces by mohla být alespoň jedna z následujících položek:

- hlášení související s únavou,
- důvěrná hlášení,
- auditní zprávy,
- incidenty,
- události spojené s rozbořem letových údajů. [27]

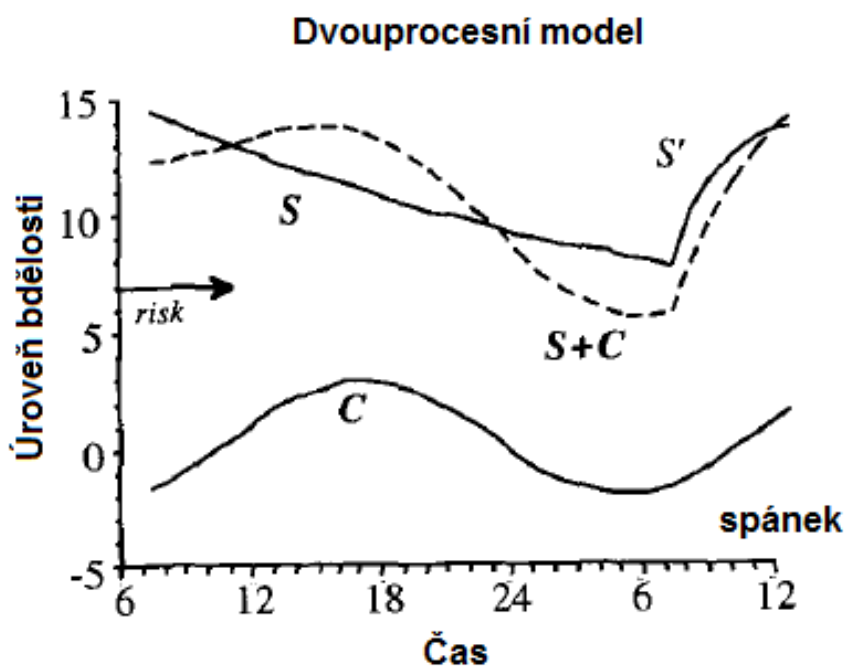
Reaktivní metody při šetření událostí odkazují na předchozí plánování.

1.10 Historie modelování

První zmínka o biomatematických modelech v teoretické linii byla vyslovena v roce 1960. V první fázi vývoje se věnovaly matematickému odvození cirkadiálního systému. Mezi roky 1970 až 1980 byly matematické modely dovyvinuty za účelem dokreslení komplexní interakce spánku s bděním, cirkadiálních rytmů a k experimentální manipulaci se spánkem. Zpočátku tyto modely sloužily k předvídání dynamiky cyklu spánek-bdění. Následně byly aplikovány pro zjištění provozní únavy a k řízení rizik.

Borbély v roce 1982 navrhl model dvou procesů regulace spánku u člověka a obecně u savců. První proces, proces S (Sleep), se zabýval spánkem v netradičních hodinách. Druhý proces, proces C (Clock/Circadian), se zabýval vlivem cirkadiálních rytmů na únavě. Tento model rozvinul základy mnohých laboratorních experimentů, díky kterým bylo možné vysvětlit načasování a délku spánku jako výsledek interakce mezi těmito dvěma procesy. [1]

Proces C představuje únavu v závislosti na cirkadiánních dopadech a má sinusovou podobu s maximem v odpoledních hodinách. Proces S je exponenciální funkcí času od probuzení. Tato křivka klesá zpočátku rychleji a postupně se přibližuje na nižší asymptotu. Při spánku proces S obrací směr a nazývá se S' . Roste tedy opět exponenciálním způsobem, který nejprve stoupá velmi rychle. Poté se dostane do dané úrovně horní asymptoty. Celkový odpočinek většinou trvá 8 hodin.



Obrázek 7 Dvouprocesní model [10]

Predikce bdělosti je vyjádřena jako aritmetický součet dvou funkcí $S + C$. Měřítka modelu se pohybuje obvykle od 1 do 16, kdy v praxi 3 odpovídá extrémní ospalosti, 14 vysoké bdělosti a 7 odpovídá prahu ospalosti. [10]

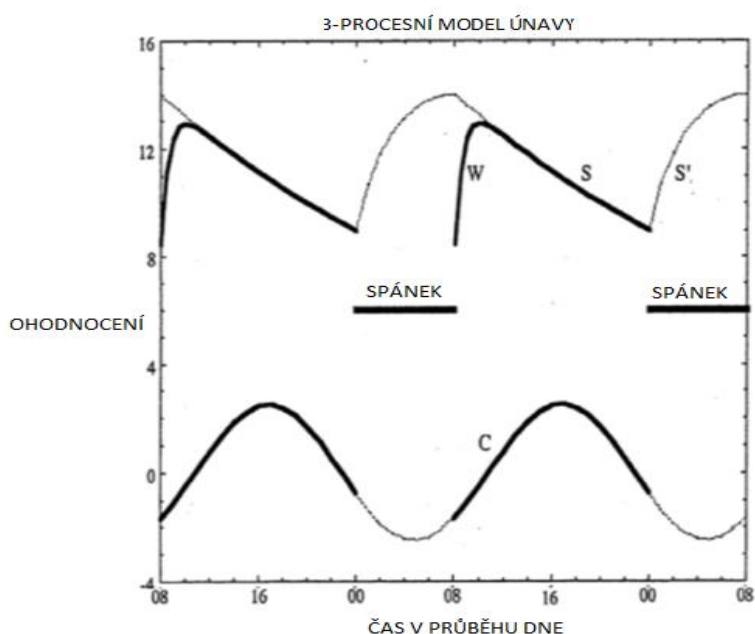
Na obrázku 3 křivka $S + C$ ukazuje předpokládanou ostražitosť při 8 hodinovém odpočinku. Tato konkrétní předpověď předpokládá, že dojde k probuzení v 7:00 hodin ráno po osmihodinovém spánku a poté dojde k 24 hodinám bdělosti (příklad první noční směny). Příležitost ke spánku tedy nastane opět až v 7:00 následujícího dne. $S + C$ tedy udává pokles bdělosti během noci, s minimem v časných ranních hodinách. Se spánkem se spouští oživení faktoru S a spolu se cirkadiánním vzestupem způsobuje rychlý nárůst bdělosti.

Základní přístup zahrnuje použití spánkových dat z empirických studií jakožto vstupů modelu a porovnání jich s predikcí modelu prostřednictvím lineární regrese.

Lidský mozek je naprogramován na cirkadiální hodiny, které jsou již odedávna nastaveny na život na rotující Zemi ve 24 hodinovém rytmu. Spánek v noci tedy není jen sociálním návykem. Tento cyklus ovlivňuje náš pocit únavy. Lidé se dříve řídili vnitřními hodinami, ale s rozvojem civilizace, v níž každý člověk neustále spěchá, se spánek stále více zkracuje. Takové rytmy jsou těžko ovladatelným prvkem člověka. I to může být důvodem, proč lidé jsou zvyklí pracovat spíše ve dne. Přes den je náš časový rozvrh příznivější k aktivitě než večer.

S postupem času tento dvouprocesový model nebyl dostatečný, a tak v roce 1996 byl navržen další model, který se skládal z procesů tří. Kromě procesu S a procesu C byl přidán i proces W (Waking), který souvisí se spánkem Inertia. [1]

Ve fázi přechodu mezi rychlovlivným a pomalovlivným spánkem se může vyskytnout spánek Inertia. Když jsme při tomto přechodu náhle probuzeni, náš mozek obtížně převádí informace. Inertia představuje pocity vrávoravosti a desorientace s oslabením krátkodobé paměti a pomalým rozhodováním. Spánek Inertia tedy způsobuje dočasné snížení výkonů. Není žádoucí, aby se posádka do takového stavu dostala při řešení krizových situací, které jsou zapotřebí řešit ihned.



Obrázek 8 Tříprocesní únavový model (Akerstedt & Folkard, 1996) [1]

1.11 Individualita únavy

Hlavním omezením biomatematických únavových modelů je to, že jsou založeny na omezeném počtu hodnocení průměrných lidí. V mnoha případech šlo o vysokoškolské studenty nebo vojenský personál. Nedá se tedy spolehlivě zobecnit výsledky pro celou populaci. Získaná data se jeden od druhého enormně lišila v mnohých faktorech. [1]

Je mnohem snazší zkoumat vliv různých faktorů na silničních dopravních nehodách, a to proto, že jsou tak časté, než ve „spolehlivých“ sférách, jako je civilní letectví.

U dopravních nehod můžeme zohlednit vstupní data, jako: věk, pohlaví, socio-ekonomický status, úroveň vzdělání, rodinný stav, etnický původ, typ osobnosti, cirkadiánní rytmus či „náchyllost k nehodovosti“. Současné biomatematické modely zahrnují informace o cirkadiánním rytmu a některé mohou brát v úvahu i osobnostní predispozice (ranní či noční typ člověka). Co ovšem v modelech doposud není zohledněno je narušení cirkadiánního rytmu vlivem přechodů časových pásem, tzv. „jet lag“. Existuje také celá řada zdravotních omezení, jako jsou například poruchy spánku. Poruchy spánku mohou mít vliv na únavu a bezpečnost.

Je zřejmé, že existují i další individuální faktory, související s kvalitou a trváním spánku, např. malé dítě v rodině, dlouhé dojíždění do práce, časově náročný koníček, životní stres, úmrtí blízké osoby, rozvod nebo stěhování.

Existuje tedy řada důvodů, proč současné modely nedokážou předpovídat přesné výsledky.

2 Základní druhy modelování únavy jako podpora FRMS

Všechny informace níže uvedené jsou založeny na zveřejněném výzkumu a veřejně dostupných brožur a poradenského materiálu, které se týkají různých konkrétních modelů. Další informace byly získány prostřednictvím osobní korespondence s příslušnými organizacemi. Tyto informace mohou být kdykoli aktualizovány.

V mé práci se budu podrobněji věnovat těmto modelům:

- Boeing Alertness Model (BAM)
- Circadian Alertness Simulator (CAS)
- Fatigue Assesment Tool by InterDynamics (FAID)
- Fatigue Risk Index (FRI)
- System for Aircrew Fatigue Evaluation (SAFE)

Největší pozornost ale budu věnovat modelům FAID a FRI, jejichž funkce jsem měla možnost bezplatně vyzkoušet.

2.1 Boeing Alertness Model (BAM)

BAM model je biomatematický tří procesní model bdělosti rozšířen o pokročilou predikci spánku a pracovní zátěž. BAM je podpořen organizací Jeppesen v Denveru, Goteborgu a Singapuru. Mezi výstupy modelu patří především úroveň únavy vyjádřená v měřítku KSS.

BAM je dostupný model, který je možný využít zdarma prostřednictvím iPhone/iPad aplikace, CrewAlert. Existuje také v placené podobě, pro integraci se systémy plánování posádek.

Mezi hlavní výhody tohoto modelu patří rychlé uplatnění při optimalizaci plánování posádek, možnost použití ve velkém měřítku, individuální monitoring únavy díky aplikaci CrewAlert, použití strategií pro zmírnění únavy nebo cenová dostupnost.

Předpovědi jsou založeny na průměru populace, ovšem jako u jiných modelů. [1]

2.2 Circadian Alertness Simulator (CAS)

CAS je biomatematický model, který odhaduje riziko únavy s řadou individuálních specifických nastavení. Nejnovější verze CAS-5 je speciálně optimalizována pro plánování posádky (včetně párování posádek) a další letecké FRMS aplikace (plánování FRMS, plánování spánku, únavové zprávy, vyšetřování incidentů, FRMS audit). CAS poskytuje přehled indexů únavy mezi 0 (nízká hladina únavy) a 100 (vysoká hladina únavy).

CAS je vhodný pro aplikace ve velkém měřítku a integraci s nástroji pro plánování posádek. Je použitelný jak pro piloty, palubní personál či pozemní personál. Předpovědi jsou založeny na průměru populace (jako u jiných modelů).

CAS-5 používá zákony cirkadiánních cyklů pro odhady délky, načasování a kvality spánku při každé možné příležitosti spánku. To pak využívá tří procesní model, který v sobě spojuje homeostatické faktory (znavení během doby bdělosti), faktory (fáze biologických hodin a jeho seřízení časových pásem) a spánek Inertia. [15]

2.3 Fatigue Assessment Tool by InterDynamics (FAID)

FAID je biomatematický model používaný k predikci únavy a podpoře. FAID nástroje pro podporu rozhodování byly vyvinuty za pomoci vědeckého výzkumu a znalostí získaných v průběhu několika desetiletí. Jedná se o výkonný analytický nástroj, který umožňuje správu pracovních hodin v rámci obecných zásad FRMS. Vědecké výzkumy se věnovaly především cirkadiánních faktorů, účinků délky směn, správného načasování směn, významu předchozí pracovní doby a únavě a výkonu nebo adaptace na cestování mezi časovými pásmy. FAID mohou být použity pro hodnocení a řízení únavy nebo pro toleranci plnění cílů stanovených danou organizací.

Primární aplikací FAID je analýza dopadů únavy, včetně změn časových pásem a různých počátečních časů začátku výkonu práce, dále významně zkoumá rizikové časy směn a podporuje rozhodování na základě rizik.

FAID algoritmus byl ověřen v laboratoři i simulátoru a je založen na více než 10 leté studii. [1]

FAID model nebere v úvahu efekty spánku Inertia. Výpočet vstupů je založen na „průměrných“ údajích, což znamená, že model je méně přizpůsobitelný, aby odrazil osobnostní charakteristiky jednotlivců. Dále nebere v úvahu snížení příležitostí ke spánku v důsledku dojíždění delšího než 1 hodinu. [16]

2.3.1 Vlastní zkušenost s FAID

FAID model jsem měla možnost si na pár týdnů bezplatně vyzkoušet a pochopit tak jeho základní principy fungování. Celá koncepce modelu mi přijde srozumitelná, a pokud uživatel zná základní principy modelování, tak i snadná na ovládání.

FAID biomatematický model je hodnocen tzv. FAID skórem. Čím vyšší tato hodnota je, tím vyšší je únava.

Do modelu vstupuje hodnota Fatigue Tolerance Level. Čím nižší Fatigue Tolerance Level, tím náročnější úkol nebo role je nastavena. Je to hodnota, kterou organizace bere jako hraniční a na základě odchylek od této hodnoty organizace uplatňuje zmírňující strategie. Dále na vstupu ovlivňujeme hodnotu plnění našich požadavků na Fatigue Tolerance Level.

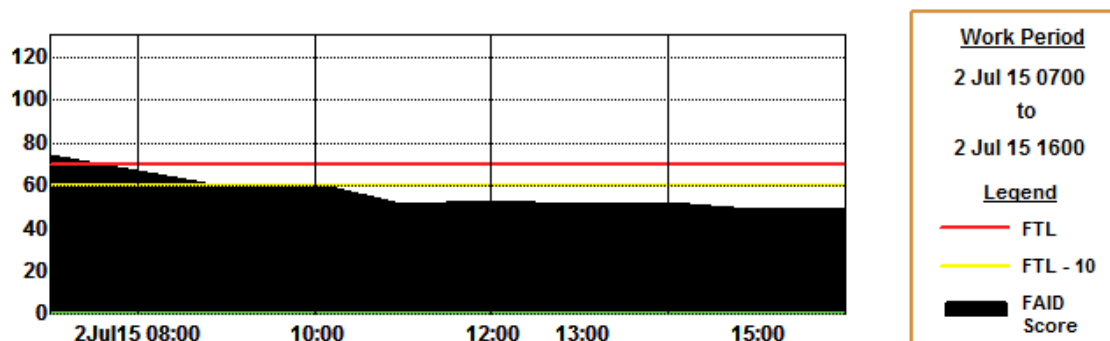
Do modelu uživatel vyplní pracovní rozvrh jedinců a celý model nechá zanalyzovat. Výstupy jsou zobrazeny v několika grafech. Jeden možný výstup je uveden níže, kde jsem použila nasimulovaná data.

FAID Score Table											
	ID#	Start	End	FAID Condition Green	FAID Condition Yellow	FAID Condition Red	Peak FAID Score	Peak FAID Condition	Non- Work	TaskRisk	Work
1	1	28 Jun 15 0630	28 Jun 15 1612	9hr 42min			43	-27	61.8	Moderate	9.7
2	1	29 Jun 15 0630	29 Jun 15 1719	10hr 49min			51	-19	14.3	Moderate	10.8
3	1	30 Jun 15 0630	30 Jun 15 1640	9hr 49min	21min		60	-10	13.2	Moderate	10.2
4	1	1 Jul 15 0630	1 Jul 15 1706	8hr 48min	1hr 48min		68	-2	13.8	Moderate	10.6
5	1	2 Jul 15 0700	2 Jul 15 1600	6hr 5min	2hr 15min	40min	75	5	13.9	Moderate	9.0
6	1	5 Jul 15 0630	5 Jul 15 1700	10hr 30min			43	-27	62.5	Moderate	10.5
7	1	6 Jul 15 0630	6 Jul 15 1754	11hr 24min			52	-18	13.5	Moderate	11.4
8	1	7 Jul 15 0630	7 Jul 15 1714	9hr 51min	53min		62	-8	12.6	Moderate	10.7
9	1	8 Jul 15 0630	8 Jul 15 1657	8hr 23min	1hr 27min	37min	71	1	13.3	Moderate	10.4
10	1	9 Jul 15 0630	9 Jul 15 1701	6hr 34min	2hr 18min	1hr 39min	79	9	13.6	Moderate	10.5
11	1	12 Jul 15 0635	12 Jul 15 1612	9hr 37min			46	-24	61.6	Moderate	9.6
12	1	13 Jul 15 0700	13 Jul 15 1706	10hr 6min			50	-20	14.8	Moderate	10.1
13	1	14 Jul 15 0700	14 Jul 15 1806	11hr 6min			57	-13	13.9	Moderate	11.1
14	1	15 Jul 15 0700	15 Jul 15 1824	10hr 28min	56min		65	-5	12.9	Moderate	11.4

Tabulka 2 FAID výstup zhodnocení pracovní doby

Details	
ID#	1
Work Schedule	1

Results	
Compliance %	98.2
Peak FAID Score	79



Graf 2 FAID výstup v podobě Fatigue Level

Hnědě zvýrazněné pole tabulky 1 umožňuje podrobný náhled, který umožňuje analýzu celé směny. Ta je uvedena v grafu 2. Červená čára vyjadřuje míru Fatigue Tolerance Level a žlutá čára hodnotu o 10% nižší.

FAID model také umožňuje zobrazení tabulky, která zobrazuje celkový počet hodin a procenta hodin na různých FAID úrovních dle Fatigue Tolerance Level.

FTL Compliance %

Work Schedule	Total Hours	Total Hr > Tolerance	Compliance (%)	FAID Condition Green %	FAID Condition Yellow %	FAID Condition Red %	Peak FAID Score
1	469.0	8.4	98.2	91.9	6.4	1.8	80

Compliance Work Schedule 1

ID#	Total Hours	Total Hrs > FTL	Compliance (%)	FAID Condition Green %	FAID Condition Yellow %	FAID Condition Red %	Peak FAID Score	
1	2	146.8	4.8	96.7	88.6	8.1	3.3	80
2	3	157.4	0.7	99.6	94.6	5.0	0.4	74
3	1	164.8	2.9	98.2	92.2	6.0	1.8	79

Tabulka 3 Další možné výstupy FAID modelu

Ukázky dalších výstupů tohoto komplikovaného modelu ukazuje Příloha 1.

2.4 Fatigue Risk Index (FRI)

FRI je určen především pro porovnávání různých pracovních dob nebo pro posouzení potenciálního dopadu změny pracovní doby. Může být také použit k identifikaci únavy nebo rizika spojeným s konkrétním posunem v rámci daného plánu.

FRI má možnost zjistit únavový index a index rizik. Únavový index je vyjádřen jako průměrná pravděpodobnost vysokého ohodnocení KSS (myšleny hodnoty 8 a 9). Vysoké hodnoty KSS jsou spojovány s vyšší frekvencí mikrosnánku. Výstup v podobě indexu rizika představuje relativní riziko vzniku nehody na konkrétní směně.

Oba indexy mohou nabývat hodnot od 0 do 100. Uživatel může mít problém s výběrem, jaký index pro něj bude směrodatný, kterému bude přisuzovat větší váhu. Obecně by měl uživatel zajistit, aby žádný z indexů nevykazoval vysoké hodnoty.

Je třeba poznamenat, že existují velké rozdíly v obou indexech, kdy posun hodnoty jednoho indexu nevyžaduje vždy posun hodnoty druhého indexu. Tato situace vzniká důsledkem rozdílného účinku denní doby. Riziko vlivu únavy je nejvyšší během noční směny, riziko při odpolední směně je vyšší než na ranní směně.

Oba indexy, jak únavový index, tak index rizika vznikají na základě tří hlavních komponentů:

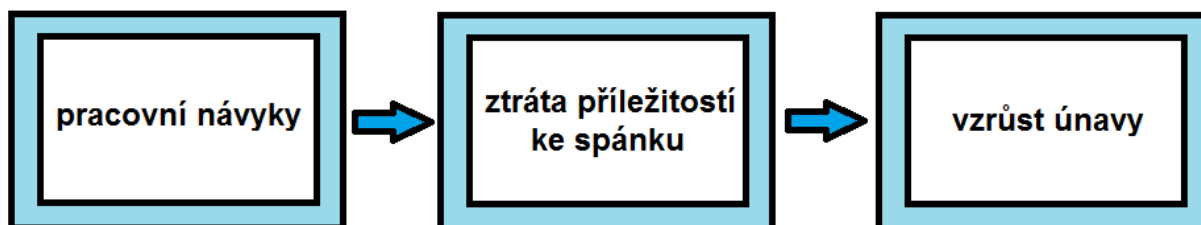
- Kumulativní prvek, který vyjadřuje, jak jsou doby služby sestaveny, aby tvořily kompletní plán.
- Prvek související s načasováním směn, který souvisí s časem zahájení práce, délkou směny, denní dobou v průběhu směny, atd.
- Typ práce/ přestávky. To se týká obsahu směny, termínů činností nebo poskytování přestávek během směny.

Mezi hlavní využití tohoto modelu je srovnání pracovní doby, zkoumání vlivu konkrétních změn v plánovači a identifikace rizika vlivem únavy.

Tento model vyžaduje relativně malé množství vstupů, aby dokázal předpovědět únavu. Poskytuje jak únavové odhady, tak i rizika a je velmi dostupný. Model ale není

speciálně navržen pro letectví, a tak nebere v úvahu mnoho specifických vstupů pro letectví (např. změna časových pásem, počet nalétaných úseků), takže může být použitelný pouze pro operace v rámci jednoho časového pásma. Předpovědi jsou založeny na průměru populace. [17]

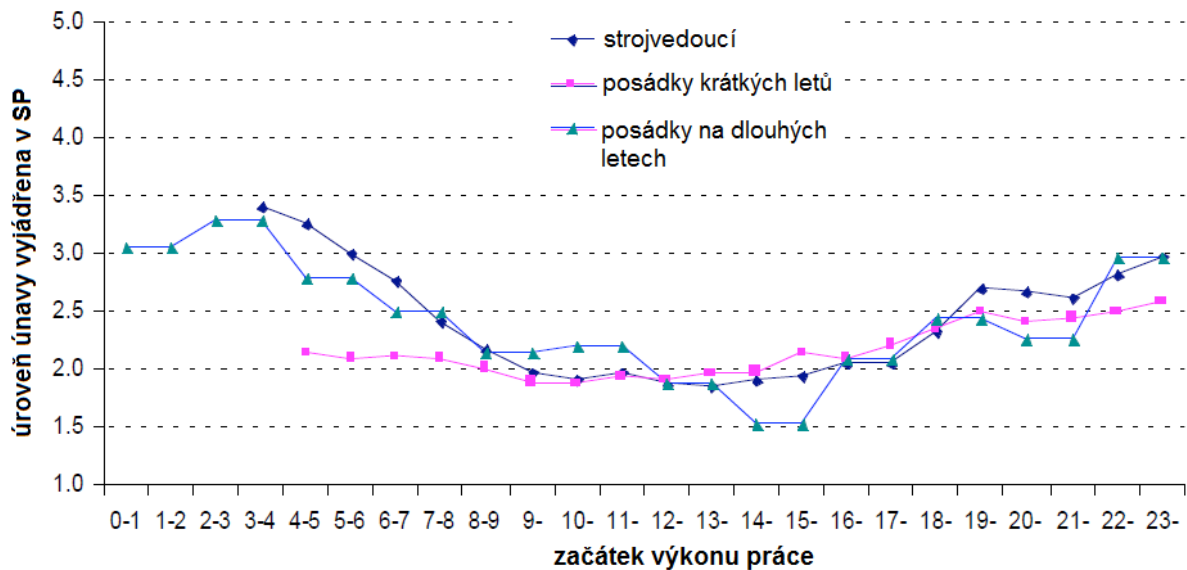
Odvození prvku souvisejícího s kumulativní únavou závisí na množství ztráty příležitostí ke spánku, která je spojena s rozvržením práce a odpočinku. Bylo proto nezbytné stanovit dva vztahy s cílem odvodit tento komponent. Zaprvé vztah mezi pracovními návyky a spánkem, za druhé vliv ztráty příležitostí ke spánku na úroveň únavy. [23]



Obrázek 9 Odvození kumulativní složky únavového indexu

Ohledně načasování směny existují tyto tři faktory, které nás zajímají, a to čas zahájení pracovního procesu, denní doba doby služby a samotná délka doby služby.

Účinek brzkého začátku směny je znázorněn v grafu 3, kde stupnice na ose y vyjadřuje sedmibodovou stupnici s měřítkem SP, osa x časy začátku služby. Znázorněny jsou tři křivky, kde každá reprezentuje různé typy dotazovaných. Tento graf ukazuje, že mezi výsledky různých studií existují značné rozdíly. Například rozdílná úroveň únavy spojená s časem začátku mezi 4:00 a 8:00. Nejvyšší úroveň únavy je zaznamenána v případě strojvedoucích, kteří vykonávají takřka stereotypní práci celou směnu. Úroveň únavy v případě posádek na dlouhých letech, byla vyšší než u posádek na krátkých letech.



Graf 3 Únava v závislosti na plánování směn [23]

Intenzita práce a poskytování přestávek může mít podstatný vliv na únavu. Na základě studií a simulací [23] bylo prokázáno, že dochází ke snižování bdělosti během doby výkonu práce a k obnově dochází po přestávce. Subjektivní úroveň ospalosti a únavy je ovlivněna pracovní náplní.

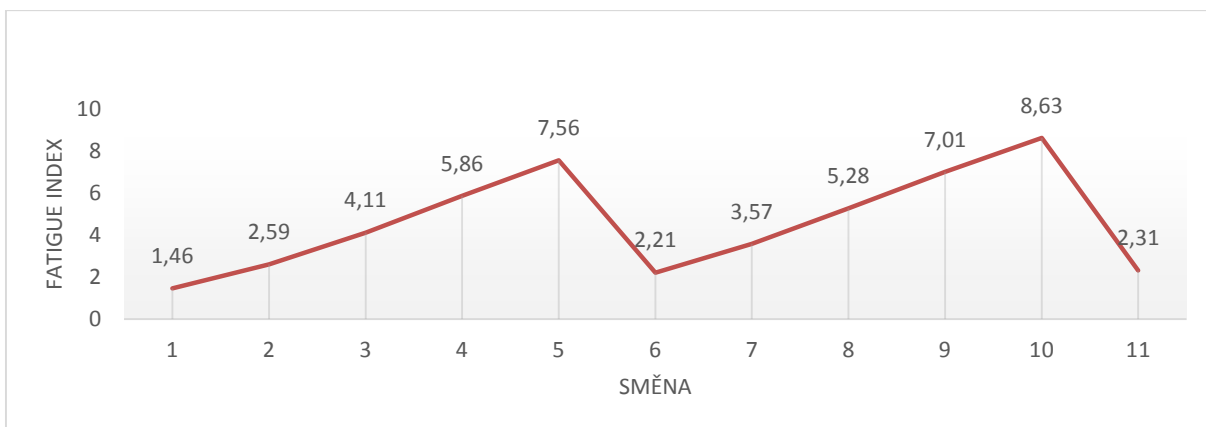
2.4.1 Vlastní zkušenost s FRI

Sama jsem měla možnost si tento komerční model vyzkoušet a porovnávat různé pracovní doby. Zajímalo mě, jak se bude Fatigue index měnit v závislosti na různém směnování.

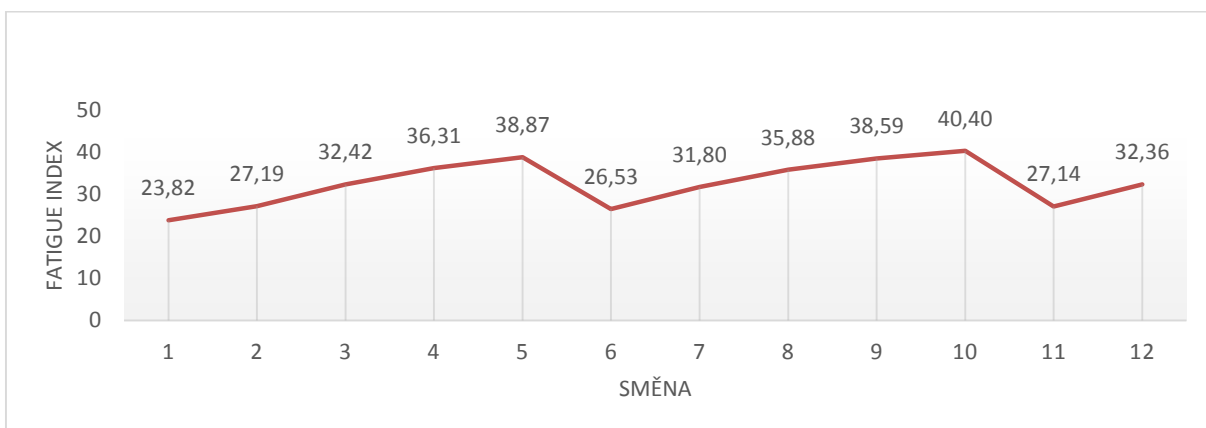
Získala jsem tyto výsledky:

Při plánování 5d/2 (5 dní denní směna, 2 dny volno) docházelo k pozvolné kumulaci únavy. Indexy se v průběhu 5 po sobě jdoucích pracovních dní lišily v průměru o 6 jednotek, kdy počáteční únava byla takřka zanedbatelná.

Při plánování 5n/2 (5 dní noční směna, 2 dny volno) docházelo k náporu na organismus, kdy počáteční hodnoty dosahovaly hodnot okolo 23 a v průběhu 5 sobě následujících pracovních dní rostly o 15 jednotek. Opět tu dochází k postupné kumulaci únavy, a to i přes dva dny volna.



Graf 4 Fatigue index pro směnu 5d/2



Graf 5 Fatigue index pro směnu 5n/2

Po vyzkoušení tohoto modelu jsem se zamyslela nad významem risk indexu. Jedná se o relativní číslo, které posuzuje únavu, ale vlastně o samotné únavě nic neříká. Jeho porovnáním můžeme pouze říci, zdali to či oné plánování s sebou nese menší Fatigue index a na základě toho posoudit únavu.

2.5 System for Aircrew Fatigue Evaluation (SAFE)

SAFE je počítačový model, který používá sadu algoritmů k predikci únavy. Více než 30 let tento model sbírá množiny údajů z leteckého odvětví. K hodnocení využívá Samn-Perelliho stupnici. Model je účinný při všech typech letů – krátké, dlouhé, ULR lety.

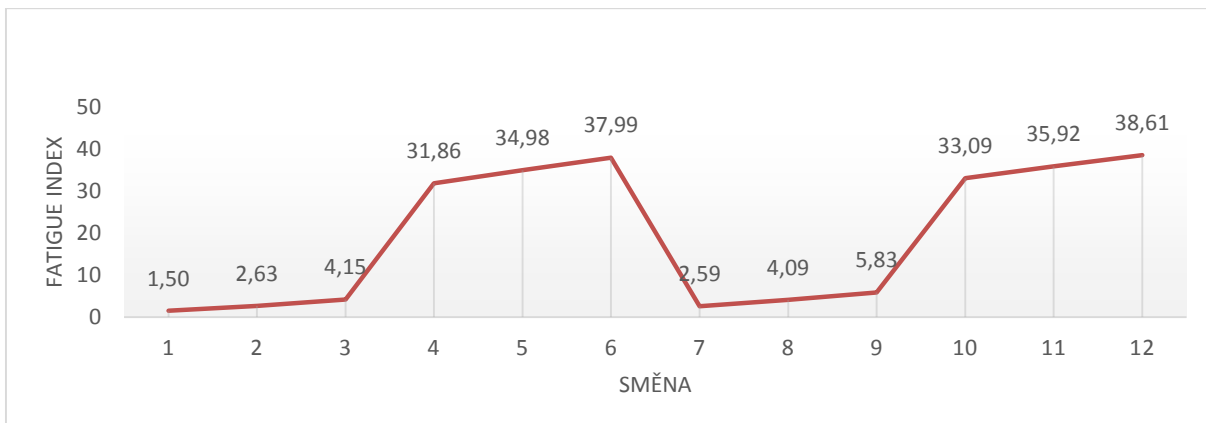
SAFE model je velmi snadný, generuje hladinu únavy každých 15 minut a předpovídá pravděpodobnost spánku. Je schopný zpracovat informace o změně časových pásem, cirkadiánní rytmy či kumulovanou únavu. Podporuje také „co kdyby“ scénáře, jeho interaktivita umožňuje i změny ve složení posádek, či zahrnutí odpočinku za letu.

Nabízí jednoduché a výkonné zobrazení výsledků, kdy problémové oblasti jsou snadno identifikovatelné a připravené k optimalizaci. SAFE ale vyžaduje značné finanční investice.

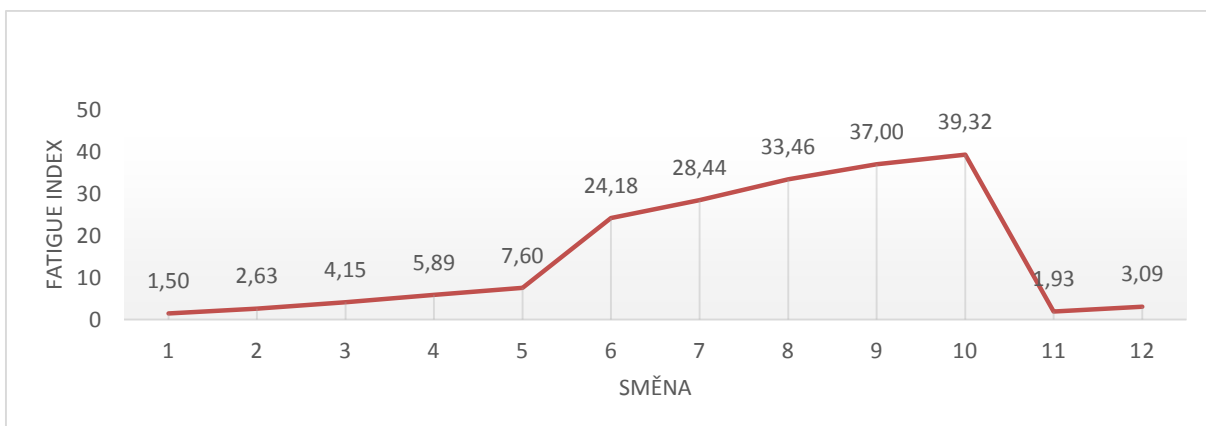
2.4.2 Aplikace využití komerčních biomatematických modelů

EasyJet v roce 2003 zavedl FRMS a změnil na základě biomatematických modelů plánování posádek. Na svých internetových stránkách uvádí, že předchozí cyklus vypadal 3/3/3 (3 ranní starty, 3 pozdní starty, 3 dny volna), nyní plánují posádky podle cyklu 5/2/5/4 (5 ranních startů, 2 dny volna, 5 pozdních startů a 4 dny volna).

Zajímalo mě, jak se tato změna promítne na Fatigue indexu. Pro jednoduchost jsem neuvažovala změnu časového pásma a délka směny byla vždy jednotná, 8 hodin.



Graf 6 Fatigue index pro cyklus 3/3/3



Graf 7 Fatigue index pro cyklus 5/2/5/4

Vzhledem k nepřesnostem vložených do modelu, nebylo možné dospět k přesnému výsledku. Zatímco směnování 3/3/3 vystavuje posádku během 21 po sobě jdoucích dní k únavě ohodnocené indexem vyšším než 30 šestkrát, směnování 5/2/5/4 pouze třikrát za stejné časové období. Poslední den noční směny z plánování 5/2/5/4 sice představuje nejvyšší hodnotu indexu v porovnání s předchozím případem plánování, ale této hodnotě je jedinec vystaven pouze jednou za 21 dní.

Se stejnými vstupy jsem pracovala i v prostředí modelu FAID, kde jsem získala tyto výsledky. První řádek tabulky zobrazuje výsledek pro plánování 3/3/3 a druhý řádek pro plánování 5/2/5/4 pro stejně dlouhé období. Pracovní doba u plánování 5/2/5/4 je o 8 hodin kratší a dosahuje dle nastavené Fatigue Tolerance Level i lepší výsledky. Zatímco v případě plánování 3/3/3 je odchylka od naší akceptovatelné hranice 5,5 hodin, při plánování 5/2/5/4 je to pouze 4,2 hodiny.

FTL Compliance %							
Work Schedule	Total Hours	Total Hr > Tolerance	Compliance (%)	FAID Condition Green %	FAID Condition Yellow %	FAID Condition Red %	Peak FAID Score
1	80.0	5.5	93.2	87.2	6.0	6.8	93
2	72.0	4.2	94.2	88.7	5.5	5.8	88

Tabulka 4 Příklad použití FAID při plánování 3/3/3 a 5/2/5/4

3 Rozbor faktorů pro modelování únavy

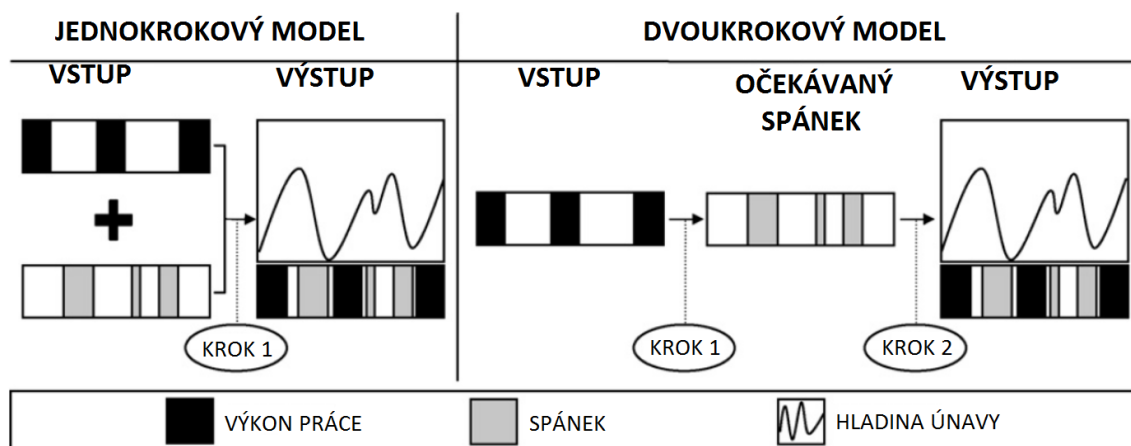
3.1 Struktura modelů

3.1.1 Požadavky na vstupní data

Obecně jsou požadovány dva druhy informací k predikci únavy – pracovní rozvrh a data o spánku. Spánková data jsou možná získat buď subjektivní metodou, jako je spánkový deník, nebo objektivní metodou, kdy jde o data především z přístroje Actiwatch.

Existují dva typy biomatematických modelů v závislosti na požadovaných vstupech:

- Jednokrokové modely, kde je únava predikována přímo ze vstupů dat získaných o spánku a bdění, a to v jednom kroku.
- Dvoukrokové modely, kde vstupy o pracovním rozvrhu jsou použity pro očekávaná data o spánku a bdění, která jsou dále využita k predikci únavy.



Obrázek 10 Jednokrokový a dvoukrokový model [3]

Výstupy dvoukrokových modelů jsou založeny na odhadech spánku. Je tedy zřejmé, že jednokrokové modely poskytují lepší odhad únavy, než modely dvoukrokové. Když nejsou k dispozici vstupní data o spánku a bdění, model v jednom kroku se chová jako model ve dvou krocích. [3]

Jiné druhy vstupů mohou být založeny na základě zpřesnění predikce a potřebách další úpravy. Jediným významným omezením biomatematických modelů je to, že model je vytvořen na „průměrného“ jedince, bez ohledu na individuální rozdíly.

Mezi další typy vstupů patří:

- S výkonem související vstupy, např. přechody časových pásem, počet letů, pracovní zátěž, požadovaná úroveň pozornosti, četnost a doba plánovaných přestávek.
- Individuální vstupy, např. zdali je osoba „ranní“ nebo „noční“ typ, obvyklá délka spánku, doba dojíždění do práce a další mimopracovní povinnosti.

3.1.2 Požadavky na očekávané výstupy

Modely přináší velmi důležité výstupy, které jsou používány organizacemi k učinění zásadních rozhodnutí v plánování pracovní doby posádek. V praxi je velmi obtížné předpovídat očekávanou úroveň rizika ze získaných dat o spánku.

Hlavním cílem většiny modelů je predikce únavy, avšak dané výstupy mohou být aplikovány i v některých dalších disciplínách, jako např. plánování odpočinku během letu při zesílené posádce u ULR letech. [1]

Pro získané hodnoty zavádíme speciální stupnice založené na subjektivním zhodnocení únavy.

Nejběžněji používanými stupnicemi jsou Karolinska sleepiness Scale (KSS) a Samn Perelli Scale (SP).

Obecně je velmi složité posoudit úroveň vlastní únavy a to proto, že každý jedinec vnímá své hranice bdělosti jinak. Při sběru dat např. ohledně zhodnocení úrovně vlastní únavy, využíváme pouze stěžejní body stupnic. To v praxi znamená, že z KSS využíváme například pouze hodnoty 1, 3, 5, 7 a 9, u SP 1, 3, 5 a 7.

3.1.2.1 Karolinska únavová stupnice

KSS je devítibodová škála založena na subjektivním zhodnocení úrovně únavy v daném čase. Tato stupnice byla ověřena jako objektivní měřicí škála únavy pro encefalografii (EEG) a zhodnocení výkonnosti. Hodnota 7 a více na KSS zaznamenává hodnotu únavy, která snižuje bezpečnost a ovlivňuje výkonnost.

Hodnoty KSS	
1	Mimořádně bdělý
2	Velmi bdělý
3	Bdělý
4	Spíše bdělý
5	Ani bdělý, ani ospalý
6	Nesoucí známky ospalosti
7	Ospalý, ale bez problému zůstat bdělý
8	Unavený, prokazující úsilí udržet se ve střehu
9	Extrémně ospalý

Tabulka 5 Karolinska únavová stupnice

3.1.2.2 Samn Perelli stupnice

SP je sedmibodová stupnice založena na subjektivním zhodnocení úrovně vlastní únavy. Tato stupnice je široce používána v letectví, která byla vytvořena v roce 1982.

Hodnoty SP	
1	Úplně bdělý
2	Velmi bdělý
3	Bdělý
4	Trochu unavený, méně než bdělý
5	Mírně unavený
6	Extrémně unavený, velmi obtížně se koncentrující
7	Zcela vyčerpán, neschopen efektivně fungovat

Tabulka 6 Samn Perelliho stupnice

Autoři definují hodnoty 5 a 6 v tomto měřítku jako „únavovou třídu II“, kdy je přípustné létat. Hodnota 7 vyjadřuje „únavovou třídu I“, kdy je výkonnost velmi ovlivněna a létání se nedoporučuje. Bezpečnost letu je v ohrožení.

3.1.2.3 Výhody a nevýhody využití subjektivních stupnic

Mezi výhody subjektivních stupnic patří rychlá a snadná správa, možnost využití jak v papírové, tak online formě, minimální narušení posádky nebo poskytování údajů pro srovnání při různých studiích. Subjektivní měřítka ale ne vždy poskytují objektivní výsledky a není k nim přistupováno zodpovědně. [4]

Zatímco subjektivní stupnice jsou snadno využitelné, nesou s sebou dva hlavní nedostatky při využití v biomatematických modelech. Prvním z nich je jejich snadná zaměnitelnost. Nejvyšší hodnota KSS se vztahuje k velmi nízké úrovni bdělosti (velké úsilí udržet se vzhůru), zatímco nejvyšší hodnota SP je více spojena s extrémní mírou únavy (jedinec nedokáže efektivně fungovat). Druhá otázka se týká významu těchto měřítek na bezpečnost. Specifická úroveň únavy nevytváří konkrétní úroveň rizika. [1]

3.1.3 Data a jejich platnost

Vědecký základ pro většinu modelů vznikl z laboratorních experimentů, při kterých byla získána data buď objektivní, nebo subjektivní metodou.

V dnešní době se vyvíjí nová metoda pro získání dat, tzv. „crowdsourcing“ pro usnadnění sběru dat ve velkém měřítku a ušetření životního prostředí. Koncept je založen na globální podpoře stahovat, instalovat a používat zdarma „smartphone“ aplikace a poté nahrát své individuální údaje pro výzkumné účely. Tato forma představuje jedinečnou inovaci, která má potenciál získat velké množství relevantních dat pro budoucí studie. [1]

3.2 Využití modelů

3.2.1 Plánování posádek

Primární využití modelů únavy tkví v asistenci plánování posádky a rozpisu postupů, jak pomáhat při plánování, a tak snížit rizika související s únavou. Modely fungují tak, že předpovídáme optimální časové rámce výkonu, kde bude riziko vlivu únavy minimální.

Při aplikaci těchto modelů je důležité si uvědomit možné omezení při jejich využití. Zvláštní pozornost by měla být věnována přílišnému zjednodušení interpretace únavových modelů. Veškeré hranice a výsledky musí být ověřeny v rámci pracovního prostředí, kde jsou použity.

Modely mohou být použity při plánování na různé účely:

- Porovnání pracovní doby

Díky tomuto porovnání můžeme optimalizovat různá kritéria pro maximalizaci celkové účinnosti při současném snížení vystavení riziku v důsledku únavy. V letectví modely prokázaly účinnost např. při stanovení optimálního času odletu nebo délky mezipřistání pro plánování ULR letů. [1]

- Identifikace slabin v rámci plánování

Modely mohou být také použity pro identifikaci rizik únavy a pomáhá se tak zaměřovat na zmírňující strategie.

- Zhodnocení správnosti plánování

Biomatematické modely, jakožto součást FRMS, mohou rovněž přispět k posouzení rizik vlivu únavy při plánování. Doposud je využívána pouze normativní metoda, omezení letové služby (FTLs). Konkrétně mohou tyto modely vyhodnotit bezpečná rizika, nebo vygenerovat seznam posádky, která spadá mimo normativní FTLs. Tato aplikace by mohla být užitečná jak pro letecké plánovače, tak i regulačním orgánům při posuzování vhodnosti nově navržených limitů.

- Optimalizace párování posádky

Některé modely s sebou přináší i možnosti hodnocení a srovnání různých posádek. Posádky pak mohou být lépe plánovány tak, aby docházelo k minimalizaci rizika vlivu únavy.

3.2.2 Nepravidelnost provozu

Modely mohou být také použity pro vyhodnocení rizika vlivu únavy spojené s neplánovanými změnami provozních požadavků.

3.2.3 Výkon práce/odpočinek při využití zesílené posádky

Modely lze využít i při určení optimálního cyklu práce/odpočinek při zesílené posádce, díky které je možné zdelšíť dobu letové služby díky řízenému odpočinku na palubě letadla. Výkon letové služby je tak rozdělen mezi více než dva členy posádky.

3.2.4 Vytváření opatření proti vzniku únavy

Vhodné opatření musí brát v úvahu operativní cíle. Například v aplikacích, které vyžadují výkon na vysoké úrovni v kritických časech, opatření budou zaměřeny na maximalizaci výkonu. Oproti tomu aplikace určené ke snížení rizika únavy prostřednictvím řízeného odpočinku budou zaměřeny na optimalizaci časování takového odpočinku. Díky modelům je možné předvídat výkyvy v pracovní bdělosti a výkonu, a poskytnout tak data k vytvoření takových opatření, která zabrání únavě a snížení výkonu. [1]

3.2.5 Predikce individuální únavy

Účinky nedostatku spánku se mezi jednotlivci značně liší. Potenciálně by únavové modely mohly posloužit jako návod, jak k jednotlivým členům posádky přihlížet a zjistit jejich očekávanou úroveň únavy v daném čase. V současné době však bohužel únavové modely počítají s průměrným hodnocením únavy, a proto jsou omezeny na předvídaní rizika pro cílovou populaci spíše než na okamžitou úroveň únavy konkrétního jedince. Nicméně související průzkum ukázal, že tři procesní modely únavy mají velkou přesnost v predikci individuální ospalosti a načasování spánku.

Nejnovější technologický vývoj nechává vzniknout celou řadu aplikací pro použití „smartphone“ technologií, jako je například sledování bdělosti řidiče motorových vozidel, předpovídání kvality spánku či sledování kvality spánku. [5] V současnosti jsou k dispozici aplikace, které berou v úvahu celou řadu individuálních proměnných a budou se i dále vyvíjet, ale i přesto je třeba poznamenat, že tyto nástroje jsou určeny jako pomůcka pro předvídání bdělosti na „průměrných“ individuích, za „typických“ podmínek. Žádný z dostupných biomatematických modelů zatím není vytvořen tak, aby mohl vzít v potaz všechny z mnoha osobnostních faktorů. Některé modely mají do jisté míry schopnost zohlednit charakteristiky jednotlivce začleněním individuálních charakteristik jako doplňkové vstupy. [6] Tyto „individualizované“ programy by mohli zlepšit predikce únavy jedince, ale je nutné zmínit, že jde jen o odhad pravděpodobnosti únavy, nikoli absolutní míru rizika.

3.2.6 Školení

Klíčovým prvkem v řízení rizik vlivu únavy je vzdělávání, a to konkrétně vzdělávání o účincích únavy, příčinách únavy, významu efektivního spánku, spánkových návycích a selfmanagementu nebo třeba o účincích změn časových pásem. Počítačové implementace únavových modelů umožňují uživatelům interaktivně sledovat změny v predikcích prostřednictvím dynamického uživatelského rozhraní. Je možné sledovat změny v trvání spánku, dobu spánku, načasování řízeného odpočinku a jeho trvání atd. [1] Lepší porozumění dynamiky spánku/bdění může pomoci při plánování a řízení strategií pro zmírnění rizik únavy a tak přispět významně do FRMS. Toto poznání je užitečné i pro posádku samotnou a to kvůli jejich přizpůsobení vlastního životního stylu, tzv. selfmanagementu.

3.2.7 Bezpečnostní vyšetřování

Některé modely tvrdí, že jsou užitečné pro podporu vyšetřování incidentu či nehody na základě analýzy úrovně únavy v určitou dobu, nebo předchozího režimu spánku. Je extrémně obtížné dokázat, že vznik incidentu nebo nehody byl způsoben právě únavou.

3.3 Charakteristiky a struktura modelu

3.3.1 Prvky modelu

Vnitřní komponenty modelů jsou charakteristiky fyziologie člověka, které jsou v modelu popsány pomocí biomatematických rovnic. Mezi takové charakteristiky patří:

1) Homeostatická dynamika spánku

Únava a potřeba spánku se liší v závislosti na množství času člověka, který trávil bdělý a jak dlouho spal. Homeostatický proces (známý jako spánek (S)) modeluje tento stav. Nedostatečné množství spánku vede k detekci deficitu v ostražitosti jedince. Tyto deficity se projevují v závislosti na délce předchozího spánku, výkonem a cirkadiánním rytmem.

2) Cirkadiánní rytmy

Cirkadiánní rytmy (proces (C)) se řídí vnitřními biologickými hodinami, které snižují hladinu únavy a potřeby spánku během dne, a zvyšuje únavu a náchylnost ke spánku během noci. Tento proces funguje nezávisle na době strávené vzhůru. Desynchronizací cirkadiánního rytmu se přispívá ke zvýšení rizika únavy. K takové desynchronizaci dochází například při nepravidelných směnách nebo překračování více časových pásem.

3) Spánek Inertia

Spánek Inertia (proces probouzení (W)) odkazuje na dočasnou dezorientaci, kdy náš mozek přechází do stavu probuzení. Spánek Inertia snižuje výkonnost a bdělost. Jeho účinky jsou nejzávažnější ihned po probuzení z hlubokého spánku.

4) Adaptační fáze cirkadiánního rytmu

Cirkadiánní rytmus je ztotožněn s podmínky jako je světlo/tma (východ/západ slunce). Narušení těchto podmínek cestováním přes časová pásma (jet lag), nebo práce v noci či při nepravidelných směnách může vést k desynchronizaci vnitřních cirkadiánních hodin, které je třeba modelovat v podobě únavových algoritmů k získání přesných výstupů. Doposud nebylo vypracováno dostatečné množství studií o sledování

cirkadiánního rytmu posádky za letu, a tak rychlost adaptace cirkadiánních hodin jednotlivce na časová pásma je další oblastí, která zahrnuje nejistoty. Nejistoty se týkají především individuálních rozdílů v tomto ohledu. [1]

V letectví se potýkáme s problémem cirkadiánního útlumu (WOCL). WOCL je definován jako časový úsek od 2.00 hodin do 5.59 hodin místního času, který se v rámci tří časových pásem vztahuje k času domovského letiště. Jestliže doba letové služby začíná v intervalu cirkadiánního útlumu, letecký dopravce sníží maximální denní limit doby letové služby pro posádku letadla.

5) Typ práce

Typ práce může mít dopad na přesnost únavových odhadů. Různá úroveň únavy je například zaznamenána u palubního personálu oproti letové posádce.

6) Čas na úkol

Čas strávený prováděním nějakého úkolu je dalším faktorem, který ovlivňuje únavu a výkon.

3.3.2 Modelované vstupy

Vstupy jsou takové proměnné, které musí být poskytnuty pro stanovení výstupních předpovědí. Kvalita vstupních dat a dostupnost zdrojů jsou dva důležité aspekty pro výběr a využití únavového modelu. Za minimální informace jsou považovány pracovní harmonogram a/nebo data o spánku.

Pro účely vyhodnocení biomatematických únavových modelů jsou považován tři typy vstupů:

- Požadované vstupy, tedy informace, které jsou nezbytné pro predikci únavy.
- S výkonem související vstupy, které mohou zvýšit přesnost predikce.
- Individuální vstupy, které umožňují použití informací o vlastnostech konkrétního člověka.

3.3.2.1 Požadované vstupy

1) Načasování spánku

Množství a načasování spánku je hlavním určujícím faktorem pro predikci únavy. Existují tři hlavní metody pro posouzení načasování spánku:

- *Polysomnografie* studuje osobu ve spánku tím, že komplexně nahrává fyziologické změny (mozková činnost, pohyby očí, svalová aktivita, atd.). Výhodou této metody je to, že vytváří hloubkovou analýzu spánku, včetně jeho fází. Mezi hlavní nevýhodu patří cena a časová náročnost. Využití této metody je vhodné pro výzkum, nikoli pro provozní řízení únavy.
- *Aktigrafie* je založena na měření fyzické činnosti jedince v průběhu několika dnů až týdnů, obvykle pomocí nošení speciálního přístroje zvaného Actiwatch. Actigrafie je objektivní, nedotěrná metoda, která může poskytnout také odhad kvality spánku. Je široce využívána při studiích v souvislosti s FRMS.
- *Spánkový deník* je záznam o spánku a bdění jednotlivce. Obvykle se data získávají po dobu několika týdnů. Jedná se o levnou metodu, která poskytuje subjektivní odhad kvantity a kvality spánku. Existuje několik druhů těchto deníků, které se liší v obsahu. Správnost a pravdivost získaných dat může být omezena. Pro studie lze spánkové deníky využít buď samotně, nebo v kombinaci s nějakou výše uvedenou metodou. [4]

2) Pracovní rozvrh

Biomatematické modely využívají pracovní harmonogramy pro odhad únavy nebo výkonu. Pracovní rozvrh je zdroj dat, který je přímo k dispozici jako součást plánování. Nabízí ale méně přesný odhad skutečného spánku.

3.3.2.2 S výkonem související vstupy

1) Změna časových pásem (o více než 3 hodiny)

Je dobře známo, že překročení 3 a více časových pásem má dopady na změny cirkadiánního rytmu. Během delšího pobytu (minimálně však 48 hodin) v novém umístění po změně časového pásma, se biologické hodiny začnou pomalu nastavovat na místní čas. Rychlost přizpůsobení se na novou lokalitu je u každého individuální záležitostí. S přechodem směrem na východ je toto přizpůsobení vždy pomalejší než směrem na západ. Tento přechod vytváří tzv. pásmovou nemoc, charakterizovanou poruchami spánku.

2) Složení posádky

Složení posádky (jejich počet) je důležitým vstupem pro zvážení rozšířené posádky.

3) Pracovní zátěž

Různé typy úkolů vyžadují různé pracovní vytížení nebo pozornost. Je třeba poznamenat, že mezi pracovním vytížením a jeho vlivem na únavu je velmi složitý vztah. V případě zahrnutí tohoto vstupu je potřeba věnovat zvýšenou opatrnost. Doposud není známa přesná výše vlivu na únavu.

3.3.2.3 Individuální vstupy

1) Spánkové návyky

Obvyklé trvání spánku nebo individuální spánkové potřeby jsou jedním ze dvou důležitých zdrojů individuálních vstupů. Obvykle se délka spánku jedince pohybuje od pěti do deseti hodin, většinou však je to sedm až osm hodin spánku za noc.

2) Synchronizace člověka

Synchronizace člověka se rozděluje na dvě základní velké skupiny „ranní typ“ nebo „noční typ“.

3) Dojíždění do práce

Členové posádky často žijí daleko od místa výkonu práce. To vyžaduje čas dojíždění před i po pracovní době. Dlouhé časy dojíždění do zaměstnání mají zjevné účinky na únavu, protože snižují čas věnovaný odpočinku. Některé modely umožňují vstup s určitou dobou dojíždění.

3.3.3 Modelované výstupy

Většina biomatematických modelů poskytují predikci o únavě a bdělosti v dané pracovní době, neboli subjektivní bdělost. Tyto hodnoty se obvykle vyjadřují na subjektivní stupnici. Jak bylo již uvedeno, nejčastěji používanými stupnicemi v letectví jsou Karolinska (KSS) a Samn Perelliho (SP). Mezi další výstupy lze zařadit i odhad spánku/bdělosti, a to především u modelů, které pracují s pracovní dobou. Doba trvání spánku je však ovlivněna mnohými faktory, např. cirkadiánními rytmy. Dalším výstupem může být například výkonnost, která je zjištěna ale pouze pro jedince, nikoli pro celou posádku, nebo například interval spolehlivosti.

3.4 Porovnání parametrů komerčních biomatematických modelů

3.4.1 Porovnání vstupů

Modelované vstupy	BAM	CAS	FAID	FRI	SAFE
Načasování spánku	●	●	●		●
Pracovní rozvrh	○	○	○	○	○
Změny časového pásma	○	●	○		
Složení posádky	○	○	●		○
Pracovní zátěž		●	●	○	
Spánkové návyky	●	●			●
Synchronizace jedinice	●	●			
Dojíždění	○	●	●	○	●

○ Požadovaný vstup ● Volitelný vstup

Tabulka 7 Porovnání vstupů komerčních modelů

Jak již bylo zmíněno výše, existují tři druhy vstupů – požadované vstupy, vstupy související s výkonem práce a individuální vstupy. V tabulce výše jsou vstupy související s výkonem práce a individuální vstupy shrnuty do jednoho bodu, jako volitelné vstupy.

Jako nejobsáhlejší model se z hlediska vstupů jeví model CAS. Model FRI vyžaduje nejmenší množství vstupů, ale umožňuje snadné pracování s modelem.

3.4.2 Porovnání prvků

Prvky modelu	BAM	CAS	FAID	FRI	SAFE
Spánková data	•	•	•	•	•
Cirkadiánní rytmy	•	•	•	•	•
Spánek Inertia	•	•		•	•
Adaptace na cirkadiánní změny	•	•	•		•
Typ práce	•	•		•	•
Čas na úkol	•	•	•	•	•

Tabulka 8 Porovnání prvků komerčních modelů

Porovnáním jednotlivých prvků modelů zjišťujeme, že všechny modely nesou v sobě informaci o spánkových datech, cirkadiánních rytmech a času na úkol. Model FRI nereaguje na adaptace cirkadiánních změn a model FAID navíc na spánek Inertia a typ práce.

3.4.3 Porovnání výstupů

Modelovaný výstup	BAM	CAS	FAID	FRI	SAFE
Subjektivní bdělost	•	•	•	•	•
Očekávaný spánek/čas probuzení	•	•	•		•
Výkonnost		•	•		
S únavou spojená chybovost		•	•	•	
Spolehlivost	•				

Tabulka 9 Porovnání výstupů komerčních modelů

Jednotným výstupem všech modelů je informace o subjektivní bdělosti. V ostatních výstupech se modely od sebe liší.

3.4.4 Porovnání využitelnosti

Využití	BAM	CAS	FAID	FRI	SAFE
Plánování posádek	•	•	•	•	•
Nepravidelnost provozu	•	•	•	•	•
Výkonnost při zdvojené posádce	•	•	•		•
Vytváření opatření proti vzniku únavy	•	•			
Predikce únavy	•	•			•
Školení	•	•	•	•	•
Bezpečnostní vyšetřování	•	•	•		•

Tabulka 10 Porovnání využitelnosti komerčních modelů

Dále mě zajímalo porovnání využitelnosti uvedených modelů. Všechny modely jsou využitelné pro potřeby plánování posádek, při nepravidelnostech provozu a pro potřeby školení. Pouze model BAM A CAS je vhodný pro vytváření opatření proti vzniku únavy. Model FRI není možný využít pro měření výkonnosti při zdvojené posádce, pro vytváření opatření proti vzniku únavy, pro predikce únavy a pro bezpečnostní vyšetřování.

3.5 Hodnotící kritéria při pořizování modelů do organizací

V kapitolách výše byly identifikovány specifické rysy několika modelů. V této sekci půjde o to, jaké jsou hodnotící kritéria pro management společností, která mohou významně pomoci při rozhodování uplatnění nějakého z výše uvedených únavových modelů v leteckém kontextu.

3.5.1 Náklady

Pořizovací cena je základním hlediskem pro všechny organizace. Bohužel, přímé srovnání nákladů modelů uvedených v mé práci není možné, protože náklady na pořízení se ve většině případů značně liší v závislosti na velikosti a požadavcích organizace.

3.5.2 Začlenění individuálních specifických údajů

Většina modelů jsou založeny na predikci „na průměrném člověku“ s vybrané skupiny obyvatelstva, takže primární aplikací modelů je posoudit nebo porovnávat směnování, než charakteristiky a pravděpodobné reakce jedince. Některé modely pracují s charakteristikami jedinců, a to je důležité, pokud organizace plánují podpořit individuální programy, nebo data použít při vyšetřování incidentů či nehod.

3.5.3 Integrace se systémy plánování posádek

Jedná se o schopnost modelu, která bude integrována na současné plánovací systémy. Toto kritérium bude důležité, především pokud organizace hodlá provádět systematické hodnocení párování.

3.5.4 Vhodnost pro využití ve velkém měřítku

Toto kritérium bude mít zásadní význam pro velké provozovatele, kteří pracují s velkými vzorky dat.

3.5.5 Začlenění změn časových pásem

Některé modely zohledňují účinky spojené se změnami časových pásem o více než 3 hodiny. Toto kritérium je důležité pro ty organizace, které provozují dlouhé lety a ULR lety, protože modely odpovídají na úpravy cirkadiánních hodin.

3.5.6 Začlenění několika letů v rámci jedné pracovní doby

Tento faktor se týká především takových leteckých společností, které provozují vnitrostátní nebo regionální dopravu. Je dokázáno, že počet sektorů má významný lineární vliv na únavu, kdy každý další sektor vede ke zvýšení únavy o 0,38 na SP.

[1]

4 Vytvoření modelů, měření a zhodnocení výsledků

4.1 Získání dat

Původní záměr byl získat data od existující a fungující organizace působící v letectví, aby tak bylo možno pracovat s co nejvíce relevantními daty. Otázka ovšem byla, zdali by získaná data byla pravdivá a s pečlivostí poskytnutá. Jde o něco, co by zaměstnanci museli dělat nad rámec jejich povinností, a tak by k tomuto úkolu nemuselo být přistupováno zodpovědně.

Osloveno bylo několik firem s prosbou o poskytnutí dat ohledně plánování a spánku jedinců, která by mohla pomoci k prohloubení znalostí o stavu vlivu únavy v jejich firmě. Ovšem zřejmě ze strachu z výsledků a nedostatečného řízení únavy, jsem byla všemi oslovenými subjekty odmítnuta.

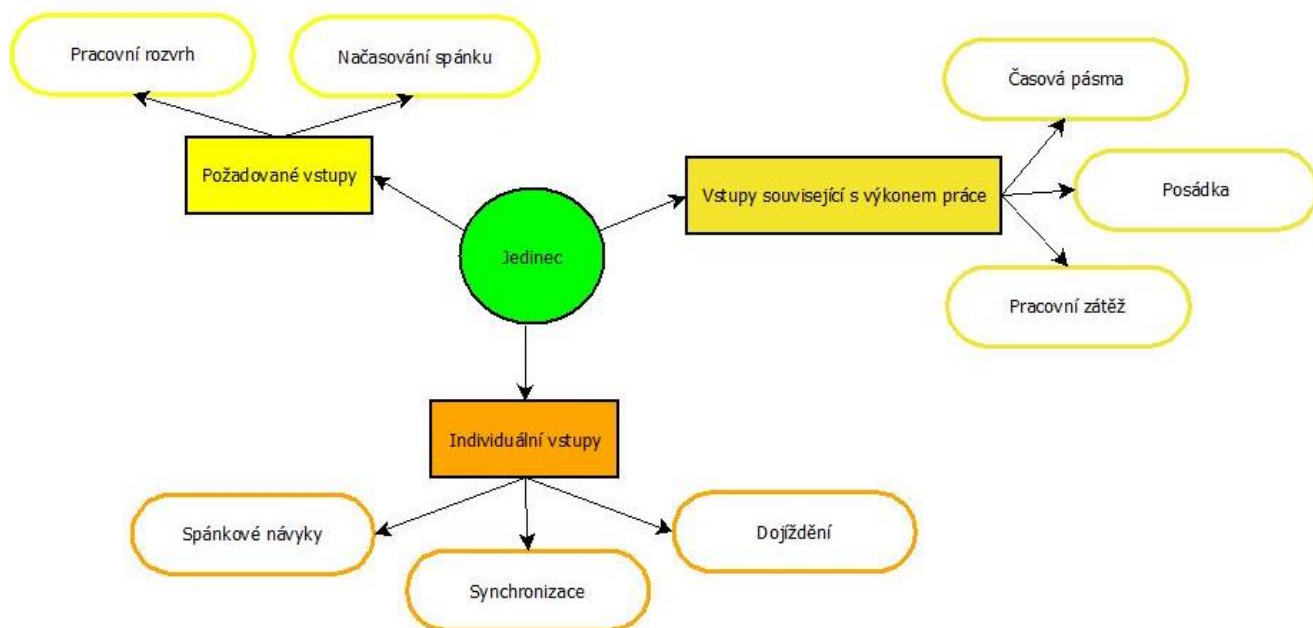
Ve světě se s fungujícím FRMS chlubí např.: Air New Zealand, Singapore Airlines nebo EasyJet. Air New Zealand zavádí FRMS již v roce 1995, Singapore Airlines v roce 2003 spolu se zavedením ULR letu ze Singapurů do New Yorku a EasyJet zavádí FMRS v roce 2000, kdy za pomoci nových plánovacích modelů zvyšují bezpečnost v rámci firmy a zdokonalují znalosti o FRMS, které poskytují i dalším organizacím. EasyJet se netají informací, že ve svém FRMS využívá biomatematických komerčních modelů FAID a SAFE. [2]

4.2 Simulace dat

K vytvoření nových modelů, nebo k vyzkoušení modelů již existujících bylo nutné potřebná data někde získat nebo je vytvořit.

Potřebovala jsem vytvořit simulátor, který by mi na základě předem definovaných požadavků generoval data týkající se únavy jedince. Na základě svých znalostí o únavě jsem tedy nasimulovala data v programu Matlab. Celý kód simulátoru přikládám ke své práci (Příloha 2).

Dle teorie jsou vstupní data rozdělena do tří základních skupin – požadované vstupy, individuální vstupy a vstupy související s výkonem práce. Nejprve jsem si vygenerovala data o pracovním rozvrhu a načasování spánku a poté individuální vstupy. Vstupy související s výkonem práce jsem v tomto případě zvolila jako konstanty, které se nebudou měnit. Zvažuji tedy konstantní pracovní zátěž, dobré vztahy v rámci posádky a práci v jednom časovém pásmu.



Obrázek 11 Vstupy modelu

Uvažovala jsem směnný provoz v rámci jedné firmy, kde pro jednoduchost zavádím pouze 3 možné směny, a to ranní směnu od 8:00 do 16:00, dále odpolední směnu od 16:00 do 00:00 a noční směnu od 00:00 do 8:00. Do programu byl zaveden požadavek na preferenci denních směn, kdy očekáváme větší hustotu provozu. Dále jsem vygenerovala časy konce směn, kde jsem brala v úvahu osmihodinovou pracovní dobu.

Ve skutečnosti by asi takovéto směnování nemělo smysl. Nástup posádky do práce se odvíjí od času odletu. Plánovači směn jsou omezeni pouze regulačním omezením FTLs.

Aby byla data co nejvíce realistická, a mohla jsem pracovat s individuálními rozdíly jedinců, vygenerovala jsem i individuální vstupy.

Dojíždění do práce má v modelech podstatnou úlohu, která určuje naši individuálnost. Čím kratší dobu člověk dojíždí domů, tím menší má dopady na celkovou únavu.

Dalším individuálním prvkem byla synchronizace jedince, která nám dává informaci o tom, zdali je člověk ranní typ, noční typ, nebo neutrální. Dle ověřených zdrojů jsem zjistila, že spíše ranních ptáčat je 28%, lidí, kteří podávají lepší výkon večer, je 28% a 44% lidí tvoří největší část - neutrální jedinci. [20]

Spánkové návyky jsem vygenerovala na základě informace o průměrné potřebě spánku. Jako střední hodnotu jsem uvedla 7,5 hodiny. Do simulátoru jsem zakomponovala délku spánku s ohledem na spánkové návyky. Pokud to směnování dovolilo, jedinci jsem předefinovala nejdelší možný odpočinek.

Takto nasimulovaná data mi poskytla vyzkoušet si dva existující komerční modely, které jsou volně k dispozici bez jakýchkoli finančních investic, a pochopit, jak fungují. Na základě těchto znalostí jsem mohla vytvořit vlastní modely.

4.3 Model zhodnocení únavy bez ohledu na individuality

Pro organizace s relativně jednoduchým plánováním, které nechtějí investovat peníze do komerčních softwarů, se nabízí manuální kalkulace výkonnosti, spočívající v bodovém hodnocení pěti parametrů. Toto ohodnocení může posloužit k odhadu predikované úrovně únavy.

Sledované parametry jsou:

- *Celkový počet odpracovaných hodin v průběhu 7 po sobě následujících dní.* Při zvyšující se pracovní době, potřeby spánku se zvyšují, výkonnost klesá.
- *Maximální délka jedné směny.* Čím delší směna, tím se zkracuje čas strávený spánkem.
- *Minimální délka krátkého odpočinku.* Délka krátkého odpočinku je definována jako příležitost ke spánku mezi směnami. Je obvykle kratší než 32 hodin. S růstem doby odpočinku se zvyšuje příležitost ke spánku.
- *Celkový počet hodin mezi 21:00 a 9:00 v sedmidenním cyklu.* Tento parametr bere na vědomí pozdní konce směn, časné začátky a noční směny. Všechny

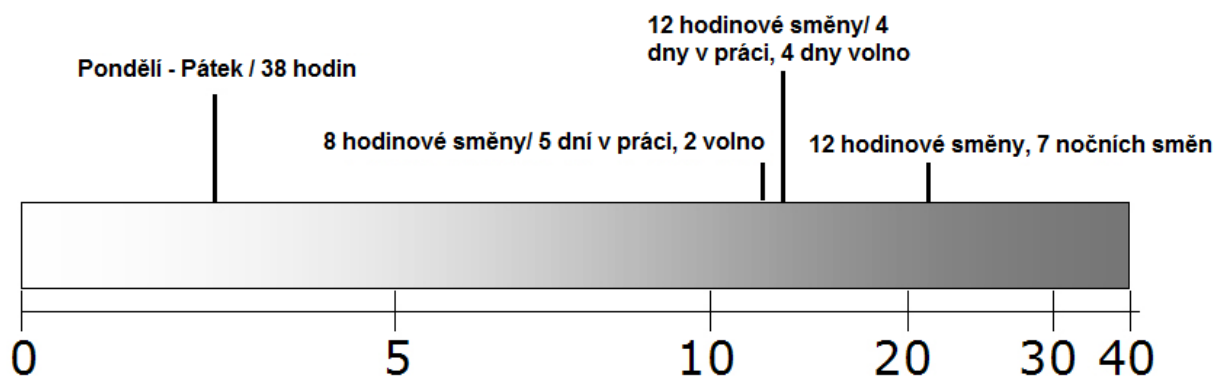
výše zmíněné směny omezují noční spánek a mají dopad na celkové únavě jedince.

- *Frekvence dlouhého odpočinku.* Dlouhý odpočinek je definován jako perioda mezi dvěma nocemi, kde je zahrnut jeden mezi den jako nepracovní. Dlouhý odpočinek většinou poskytuje značnou příležitost k doplnění energie ztracené v důsledku kumulované únavy během výkonu práce.

Skóre	0	1	2	4	8
Počet odpracovaných hodin / 7 dní	≤36 hodin	36,1 – 43,9	44 – 47,9	48 – 54,9	55+
Maximální délka jedné směny	≤ 8 hodin	8,1 – 9,9	10 – 11,9	12 – 13,9	14+
Minimální délka krátkého odpočinku	≥16 hodin	15,9 – 13	12,9 - 10	9,9 - 8	≤8
Počet hodin mezi 21:00 a 9:00/ 7 dní	0 hodin	0,1 – 8	8,1 – 16	16,1 – 24	24+
Frekvence dlouhého odpočinku	≥1x za 7 dní	≤1x za 7 dní	≤1x za 14 dní	≤1x za 21 dní	≤1x za 28 dní

Tabulka 11 Skórovací tabulka pro vyhodnocení únavy

Body každého parametru jsou nastaveny tak, že umožňují získat hodnoty od 0 do 40. Výsledky naznačují, jak dostatečné příležitosti ke spánku jsou vlivem plánování umožněny. Čím nižší skóre, tím více příležitostí k odpočinku je. Obrázek 12 ukazuje různé možnosti směnování a jejich možné skóre.



Obrázek 12 Skórování různých druhů směnování

Pro znázornění využití manuálního ohodnocení únavy použijme následující tabulku vyjadřující pracovní dobu 7 po sobě následujících dní.

Den	Popis	Začátek pracovní doby	Konec pracovní doby
1	Denní	0600	1400
2	Denní	0600	1400
3	Volno	0000	0000
4	Odpolední	1400	2300
5	Odpolední	1400	2300
6	Odpolední	1400	2300
7	Noční	2300	0600

Tabulka 12 Příklad pracovní doby

Při použití pěti zmíněných parametrů bude bodové ohodnocení následující:

- Celkový počet hodin odpracovaných v průběhu 7 po sobě následujících dní je 50 (4 body).
- Maximální délka jedné směny je 9 hodin (1 bod).
- Minimální čas krátkého odpočinku je 15 hodin (1 bod).
- Celkový počet hodin odpracovaných v nočních časech naplánovaných v sedmidenním cyklu je 19. Zaměstnanec pracuje 3 hodiny na každé ranní směně (vlivem brzkého začátku směny), 2 hodiny na každé odpolední směně (vlivem pozdního konce směny) a 7 hodin na jeho noční směně (4 body).
- Frekvence dlouhého odpočinku je 1 den před odpolední směnou ve čtvrtém dnu (0 bodů).

Celkové hodnocení pro takto naplánovaný pracovní týden je 10 bodů.

Každý zaměstnavatel se může rozhodnout, zda je pro něj výsledná míra rizika přijatelná, nebo zda bude rizika mírnit. Takovéto ohodnocení dává podniku názorný přehled o míře rizika vzniklé v důsledku únavy.

Pro vytvoření tohoto modelu jsem využila funkce v Excelu, které umožňují zhodnotit únavu pomocí vyplnění údajů o pracovní době. V modelu není přihlédnuto k individualitám jedince, a tak model počítá únavu pouze objektivně na škále od 0 do 40. Výsledek je graficky zpracován.

Vytvořený model je k nahlédnutí v grafických přílohách (Příloha 3 a 4). Příloha 3 obsahuje prázdný model, příloha 4 model, který byl vyplněn dle vzorového příkladu z tabulky 12.

4.4 Model zhodnocení únavy s ohledem na individuální vstupy jedince

Tento komplikovanější model spočívá v rozvinutí předchozího modelu o individuální vstupy. Jako individuální vstupy se požadují data o předchozím spánku, synchronizace jedince, spánkové návyky a délka dojíždění do práce.

Sledovanými parametry jsou:

- *Průměrná délka spánku.* Při zkoumání tohoto parametru nás zajímá především informace o průměrné délce spánku během sedmi po sobě jdoucích dní. Tuto hodnotu dále porovnáváme s hodnotou spánkového návyku. Spánkové návyky je možné do modelu zadat buď z dat získaných z polysomnografie nebo aktigrafie, nebo dle vlastní zkušenosti se spánkem. Potřeba spánku se liší u každého z nás, avšak průměrná hodnota je mezi 6 až 8 hodinami.
- *Celková doba dojíždění.* Čím delší doba dojíždění, tím se zkracuje příležitost k odpočinku. Mnohé studie potvrdily, že přijatelná doba dojíždění je 30 minut. [23] Jakákoli hodnota nad 30 minut zvyšuje riziko vlivu únavy.
- *Synchronizace jedince.* Tento parametr bere na vědomí směnování pracovní doby. Jsou sledovány začátky směn, které zohledňují, zda je jedinec ranní či noční typ. Podle určené preference je sledováno, kolik směn v dané synchronizaci jedinec má naplánováno a s tímto ohledem hodnotí rizika. Čím méně směn v dané synchronizaci, tím větší riziko vlivu únavy představuje. Zájemem každé společnosti by mělo být využití potenciálu svých zaměstnanců.
- *Počet odpracovaných hodin včetně dojíždění.* Při zvyšující se pracovní době, potřeby spánku se zvyšují, výkonnost klesá.
- *Rozdíl mezi průměrnou délkou spánku a spánkovými návyky.* Zde sledujeme, jak velký rozdíl mezi těmito hodnotami je, a snažíme se o minimální nedostatek. V ideálním případě se snažíme o přebytek spánku.

Skóre	0	1	2	4	8
Průměrná délka spánku	≥ SN	99 – 76%	75 – 61%	60 - 51%	≤50%
Celková doba dojíždění	≤ 7 hodin (< 30 min)	7,1 – 10,5 (45 min)	10,6 – 14 (1 hod)	14,1 – 21 (1,5 hod)	21+ (nad 2 hod)
Synchronizace jedince	≥ 4 směny	3	2	1	0
Počet odpracovaných hodin včetně dojíždění	≤ 36 hodin	36,1 – 43,9	44 – 47,9	48 – 54,9	55+
Rozdíl mezi průměrným spánkem a návykem	Přebytek spánku	Nedostatek spánku o 1 hod	Nedostatek spánku o 2 hod	Nedostatek spánku o 3 hod	Nedostatek spánku o 3 hod+

Tabulka 13 Skórovací tabulka pro vyhodnocení individualit

Body každého parametru jsou nastaveny tak, že umožňují získat hodnoty od 0 do 40. Výsledky naznačují, jak dostatečné příležitosti ke spánku jsou vlivem plánování umožněny. Čím nižší skóre, tím více příležitostí k odpočinku je.

Pro znázornění využití manuálního ohodnocení únavy použijme tabulku 14 vyjadřující spánková data u 7 po sobě následujících dní. Časy jsou nasimulovány tak, aby byly dodrženy směny dle pracovního rozvrhu uvedeného v předchozím modelu.

Simulovaný jedinec je ranní typ, se spánkovým návykem 8 hodin a jeho délka dojíždění je 45 minut.

Je nutné uvést, že pro funkčnost tohoto modelu je zapotřebí i první části, tzn. vyplnění modelu bez ohledu na individuální vstupy.

Den	Popis směny	Čas usnutí	Čas probuzení
1	Denní	2200	0430
2	Denní	2200	0800
3	Volno	2200	0700
4	Odpolední	0000	0700
5	Odpolední	2300	0800
6	Odpolední	0000	1000
7	Noční	0800	1400

Tabulka 14 Příklad spánkových dat

Při použití pěti zmíněných parametrů bude bodové ohodnocení následující:

- Průměrná délka spánku je 8 hodin a 12 minut, spánkový návyk 8 hodin (0 bodů).
- Celková doba dojíždění je 9 hodin. Je nutné poznamenat, že čas dojíždění v době volna není jedinci započítán do celkového součtu hodin (1 bod).
- Jedinec je ranní typ a v závislosti na této synchronizaci jsou jedinci naplánovány 2 směny (2 body).
- Počet odpracovaných hodin včetně dojíždění je 59 hodin (8 bodů).
- Rozdíl mezi průměrnou délkou spánku a spánkovým návykem je přebytek spánku (0 bodů).

Celkové hodnocení pro takto naplánovaný pracovní týden je 11 bodů.

K celkovému zhodnocení modelu je zapotřebí obě hodnoty výsledků sjednotit. Ohodnocení pro model neberoucí v úvahu individuální vstupy je 10 bodů, pro model s individuálními vstupy 11 bodů. Obě hodnoty jsou zprůměrovány do celkového výsledku. Aby bylo plánování co nejvíce optimální, je v tomto modelu více zohledňován výsledek z modelu prvního. Výsledku modelu bez individuálních vstupů je přisouzena váha 2/3. Celkový výsledek modelu je tedy individuálními vstupy ovlivněn 1/3.

Výsledek naznačuje, jak dostatečné příležitosti ke spánku jsou jedinci umožněny, a může posloužit k odhadu předpokládané úrovně únavy.

Modely jsou přiloženy k této práci v podobě grafických příloh. Příloha 5 obsahuje prázdný model, příloha 6 model, který byl vyplněn dle vzorového příkladu z tabulky 12.

Závěr a shrnutí vlastního přínosu práce

Jedním z cílů mé práce bylo představení problematiky biomatematického modelování a pokus o začlenění do stávajících podmínek FRMS. Tato práce hodnotí vybranou skupinu biomatematických únavových modelů s ohledem na jejich vhodnost pro použití jako součást účinného FRMS v rámci civilního letectví. Obsažené modely byly vybrány na základě určitých faktorů, včetně jejich dostupnosti a vhodnosti pro použití v letectví s ohledem na životní prostředí. Všechny uvedené modely mají schopnost přispět k identifikaci a řízení rizik únavy. Žádný model nemůže předpovědět únavu se stoprocentní přesností, nicméně pravděpodobnost únavy spojené s plánováním pracovní doby může být díky biomatematickým modelům prozkoumána. I když biomatematické modely mohou být velmi užitečné nástroje pro pomoc s identifikací a řízením rizik únavy, měli by vždy být považovány pouze za jeden z prvků komplexní strategie FRMS.

Biomatematické modely přináší informaci o míře rizika spojeného s únavou. Je na každém provozovateli, jak s informacemi získanými z modelování budou zacházet. Výstupy z modelů lze využít ke zlepšení plánování posádek, nebo ověření jeho správnosti, k vytváření predikcí individuální únavy, při zjišťování výkonnosti, při školeních nebo při bezpečnostních vyšetřováních. Nabízí se také využití zmírňujících strategií, kterými je možné rizika řídit. Je důležité si uvědomit, že využití biomatematických modelů představuje i určité finanční nároky. Výsledky modelování většinou přináší informace o nedostatku zaměstnanců, kteří jsou ve většině případů nadměrně vytíženi. Pro vedení firmy modelování znamená zvýšení nákladů na zaměstnance. Na druhou stranu správné začlenění FRMS do organizací může pomoci zjistit, jak únava ovlivňuje v daném podniku výkonnost a jak ji eliminovat. Taková eliminace může znamenat například snížení nehodovosti, tzn. zvýšení bezpečnosti, a snížení mimořádných nákladů spojených s nehodovostí.

Dalším mým cílem bylo vytvoření modelů, které vyhodnocují jednotlivé vstupy s ohledem na individuální požadavky jedince a zohledňují reálné možnosti společností. Modely vznikly na základě podrobného prostudování existujících komerčních modelů, které většinou zpracovávají data ve dvou krocích. Tzn., v prvním kroku dotázaný zadává do modelu pouze informace o svém pracovním rozvrhu a

v druhém kroku dochází k předpovědi spánku. Na základě těchto dvou kroků se dostáváme k predikci únavy. Přesně tento postup jsem zvolila i při vytváření svého prvního modelu nezohledňujícím individuální vstupy. Došlo tak ke zhodnocení pěti významných faktorů přispívajících ke vzniku únavy, jako jsou: celkový počet hodin odpracovaných v průběhu 7 po sobě jdoucích dní, maximální délka jedné směny, minimální čas krátkého odpočinku, celkový počet hodin odpracovaných v nočních hodinách při sedmidenním cyklu a frekvence dlouhého odpočinku.

Hlavním omezením únavových modelů je to, že jsou založeny na omezeném počtu hodnocení „průměrných lidí“. Slovo průměrné tu znamená, že data, jež byla použita k vytvoření těchto modelů, jsou získána pouze od určitého vzorku lidí, a tak nemůžeme brát v potaz individuality, díky kterým se jeden od druhého lišíme. Není tedy možné výsledky zobecnit pro celou populaci. Ve svém druhém modelu jsem se tedy pokusila přihlídnout k individuálním vstupům jedince. Za individuální vstupy považujeme spánkové návyky, dobu dojíždění do práce a synchronizaci jedince. S prací související vstupy, tzn. změna časových pásem, pracovní zátěž a složení posádky jsem ve svém modelu považovala za konstantní, neměnné. Druhý model, zohledňující individuality, je jednokrokový, a to zejména proto, že získávám data o spánku i pracovním rozvrhu v jednom kroku a není tak nutné provádět spánkové predikce, ale rovnou predikci o předpokládané úrovni únavy. Ve svém modelu vyhodnocuji údaje o průměrné délce spánku, celkové době dojíždění za dobu 7 dní, správné plánování směn v závislosti na synchronizaci jedince, počet odpracovaných hodin včetně dojíždění do práce a rozdíl mezi průměrnou délkou spánku a spánkovým návykem. Výstupem obou vytvořených modelů je míra rizika ohodnocená body od 0 do 40. Každý zaměstnavatel se může rozhodnout, jaká míra je pro něj přijatelná a za jakých podmínek bude rizika mírnit. Výsledek naznačuje, zdali jsou poskytnuté příležitosti ke spánku dostatečné či nikoli.

S postupným vývojem vědy o únavě lze očekávat i další vývoj v oblasti FRMS i biomatematických modelů. Tímto vzniklým materiálem poskytuji společnostem podpůrný a účinný materiál k zamyšlení se nad vhodností aplikace biomatematických modelů v jejich provozech a věřím, že se v budoucnu únavové modely stanou nedílnou součástí plánování každé společnosti.

Bibliografie

- [1] *Biomathematical Fatigue Models Guidance Document* [online]; Civil Aviation Safety Authority (CASA): Australia, 2014.
https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/_assets/main/aoc/fatigue/fatigue_modelling.pdf
- [2] Hulínská, Š. *Řízení rizik únavy v letecké dopravě*. Bakalářská práce, ČVUT v Praze, 2013.
- [3] Mushenko, T. *Getting Real about Biomathematical Fatigue Models* [online]; 2014. <http://www.interdynamics.com/wp-content/uploads/2014/07/GettingRealAboutBMMs1.pdf>
- [4] *Measuring Fatigue*, Asia-Pacific FRMS Seminar; Millar, M., Ed.; 2012.
- [5] Ingre, M.; Van Leeuwen, W.; Klemets, T.; et al. *Validating and Extending the Three Process Model of Alertness in Airline Operations* [online]; 2014.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4203690/>
- [6] Persson, A. *Mobile Applications Design in Fatigue Risk Management*. Master's Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2013.
- [7] *Fatigue Risk Management* [online]; Jeppesen, 2009.
http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/pdfs/Fatigue_2009-10_Final_II.pdf
- [8] *Introduction to Fatigue Audit Tools* [online]; Fatigue Risk Management System for the Canadian Aviation Industry, 2007.
https://www.tc.gc.ca/media/documents/ca-standards/FRMS_14577-eng.pdf
- [9] *The Boeing Alertness Model* [online]; Boeing, 2010.
<http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/aviationservices/brochures/AlertnessModel.pdf>

- [10] Åkerstedt, T.; Folkard, S. *Validation of the S and C components of the three-process model of alertness regulation* [online]; Department of Clinical Neuroscience, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden. Sleep, 1995. http://www.researchgate.net/publication/15436929_Validation_of_the_S_and_C_components_of_the_three-process_model_of_alertness_regulation
- [11] Åkerstedt, T.; Folkard, S.; et al. *Predictions from the Three-Process Model of Alertness* [online]; Aerospace Medical Association, 2004. <http://www.ingentaconnect.com/content/asma/ asem/2004/00000075/a00103s1/art00012>
- [12] Melissa, M. *Summary of the Key Features of Seven Biomathematical Models of Human Fatigue and Performance* [online]; Aviation, Space, and Environmental Medicine, 2004. https://www.med.upenn.edu/uep/user_documents/dfd8.pdf
- [13] Åkerstedt, T. *Predicting duration of sleep from the three process model of regulation of alertness.* [online]; Occup Environ Med, 1996.
- [14] Hao, T.; Xing, G. <http://keshi.ubiwna.org/2014IoTComm/readinglist/iSleep%20Unobtrusive%20Sleep%20Quality%20Monitoring%20using%20Smartphones.pdf>[online]; <http://keshi.ubiwna.org/2014IoTComm/readinglist/iSleep%20Unobtrusive%20Sleep%20Quality%20Monitoring%20using%20Smartphones.pdf>
- [15] CAS-5 Aviation Fatigue Risk Model. <http://www.circadian.com/247-industries/aviation/cas-5-fatigue-risk-model.html> .
- [16] Fatigue Risk Management Solutions, Facilitating practical, effective FRMS implementations and positive cultural change. [Online]. <http://www.interdynamics.com/wp-content/uploads/2014/01/InterDynamicsFRMSolutions.pdf>
- [17] *Fatigue and Risk Index Calculator* [online]; <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr446g.pdf>

- [18] Holmes, M. Fitness for Work: Ensuring Alertness on Duty in the Control Room. Slide Share. <http://www.slideshare.net/informaoz/mark-holmes-circadian-australia>
- [19] Aircrew Fatigue: A Review of Research Undertaken on Behalf of the UK Civil Aviation Authority, 2007. Civil Aviation Authority. <https://www.caa.co.uk/application.aspx?catid=33&pagetype=65&appid=11&mode=detail&id=1942> .
- [20] Ingre, M.; Van Leeuwen, W.; Åkerstedt, T. *Validating and Extending the Three Process Model of Alertness in Airline Operations* [online]; October 20, 2014. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0108679>
- [21] *Some Perspectives on Fatigue Risk Management Systems* [online]; Eurocontrol, 2012. <http://www.eurocontrol.int/publications/some-perspectives-fatigue-risk-management-systems>
- [22] Hellerström, D.; Eriksson, H. *Flight Time Limitations and Fatigue Risk Management: A comparison of three regulatory approaches* [online]; Boeing, 2010. http://ww1.jeppesen.com/documents/aviation/commercial/EASS_paper_v4.pdf
- [23] Research Report. *The development of a fatigue / risk index for shiftworkers* [online]; QinetiQ Centre for Human Sciences & Simon Folkard Associates Limited, 2006. <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr446.pdf>
- [24] Just Culture. Eurocontrol. <http://www.eurocontrol.int/articles/just-culture> .
- [25] *The Germanwings FRMS Experience* [online]; Germanwings, 2014. http://www.beca.be/files/87/Sources_-_Fatigue_FRM/0B1PXZ8nRuXRNTm9pSzVoZ0w1VDg/EASA_FRM_Forum_2014_-_Germanwings_FRM.pdf
- [26] *FAID® Standard Version 2.2 User Guide* [online]; InterDynamics, 2014. <http://www.interdynamics.com/wp-content/uploads/2014/05/FAIDv2.2UserGuide.pdf>
- [27] Hlava 4 - Letový provoz. *Předpis Annex 6/I*. Dodatek A a Příloha 7, 2012.

- [28] Evropská agentura pro bezpečnost letectví. *Nařízení Komise (EU) č. 83/2014*. Praha: Úřad civilního letectví, 2014.
- [29] Implementation Workshop Air Ops Regulation (EU) No 965/2012. In *The new EU Fatigue Management Regulation Key Issues*, Warsaw; , Ed.; 2014.
- [30] IATA, ICAO, IFALPA. *Fatigue Risk Management System, Implementation Guide for Operators*. 2011. 1.vydání, 150 s [Online].
<http://www.iata.org/publications/Documents/FRMS%20Implementation%20Guide%20for%20Operators%201st%20Edition-%20English.pdf>.
- [31] ŠULC, J. (2004). *Studijní modul 9 - Lidský činitel*, učební texty dle předpisu JAR-66, Akademické nakladatelství Cerm, 112 s

Seznam obrázků

Obrázek 1 Procesy FRMS [21].....	15
Obrázek 2 Model řízení FRMS [8].....	17
Obrázek 5 Vztah mezi únavou a bezpečností [1].....	22
Obrázek 7 Důvody nezavedení FRMS [29].....	23
Obrázek 6 Schématická reprezentace nástrojů a podmínek využitých k plánování posádek.....	26
Obrázek 8 Principy FRMS v ČSA.....	31
Obrázek 3 Dvouprocesní model [10].....	38
Obrázek 4 Tříprocesní únavový model (Akerstedt & Folkard, 1996) [1].....	39
Obrázek 9 Odvození kumulativní složky únavového indexu	46
Obrázek 10 Jednokrokový a dvoukrokový model [3].....	52
Obrázek 11 Vstupy modelu	69
Obrázek 12 Skórování různých druhů směnování.....	72

Seznam tabulek

Tabulka 1 Ukázka zmírňující strategie	34
Tabulka 2 FAID výstup zhodnocení pracovní doby	43
Tabulka 3 Další možné výstupy FAID modelu.....	44
Tabulka 4 Příklad použití FAID při plánování 3/3/3 a 5/2/5/4	51
Tabulka 5 Karolinska únavová stupnice	54
Tabulka 6 Samn Perelliho stupnice	54
Tabulka 7 Porovnání vstupů komerčních modelů.....	64
Tabulka 8 Porovnání prvků komerčních modelů	65
Tabulka 9 Porovnání výstupů komerčních modelů.....	65
Tabulka 10 Porovnání využitelnosti komerčních modelů.....	66
Tabulka 11 Skórovací tabulka pro vyhodnocení únavy	71
Tabulka 12 Příklad pracovní doby	72
Tabulka 13 Skórovací tabulka pro vyhodnocení individualit	75
Tabulka 14 Příklad spánkových dat.....	76

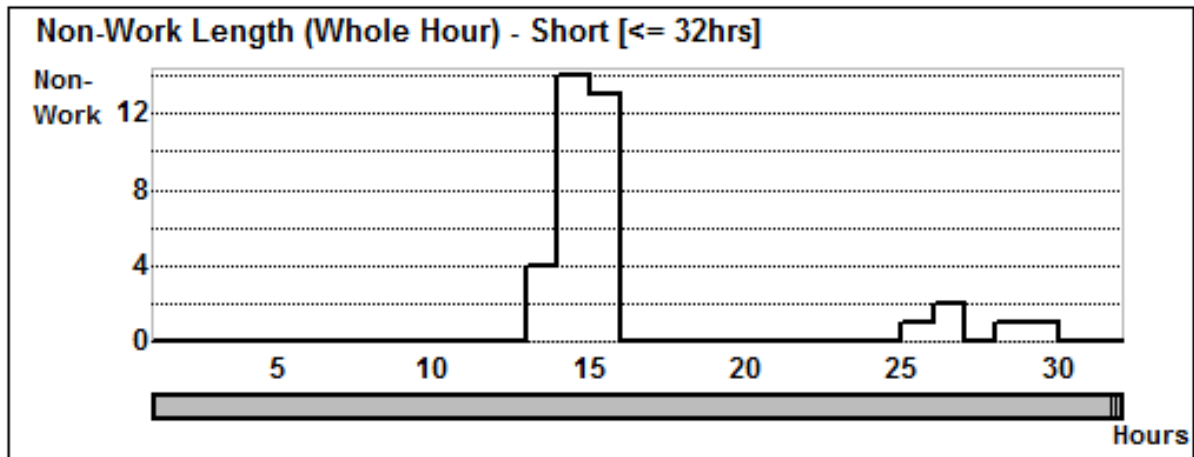
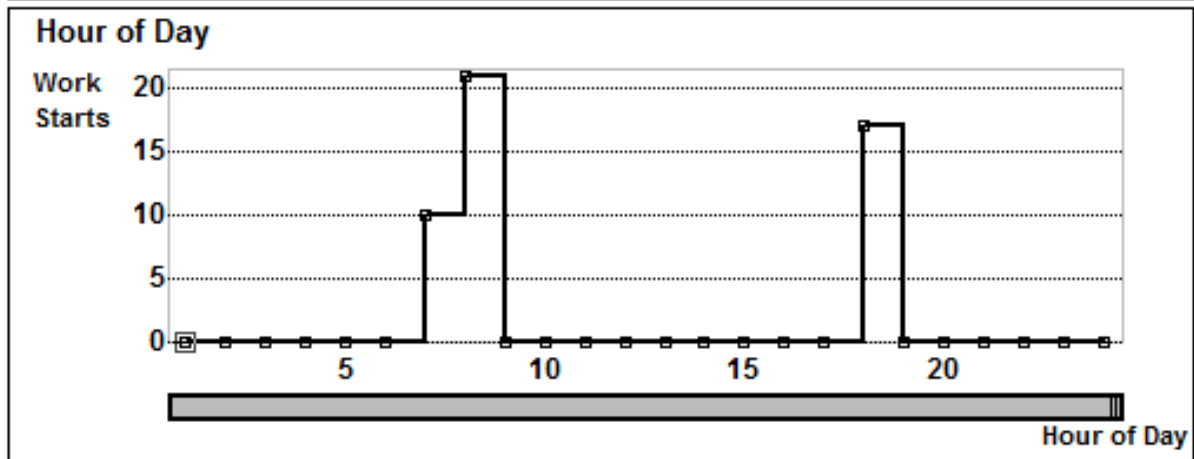
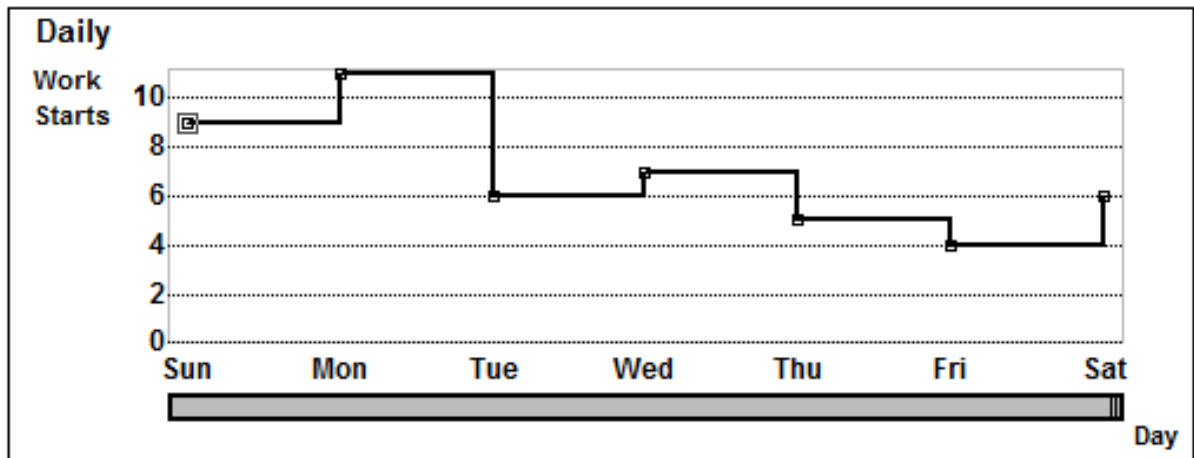
Seznam grafů

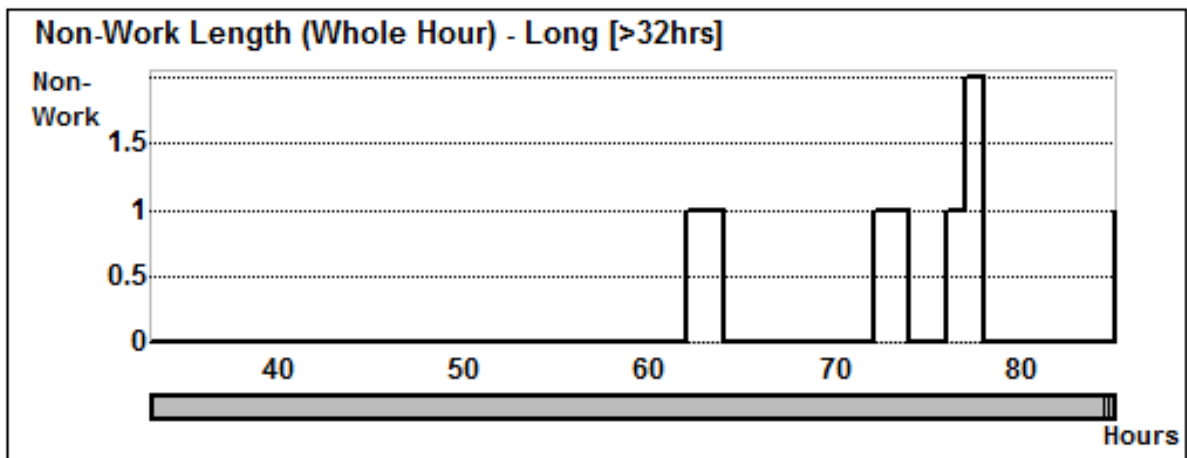
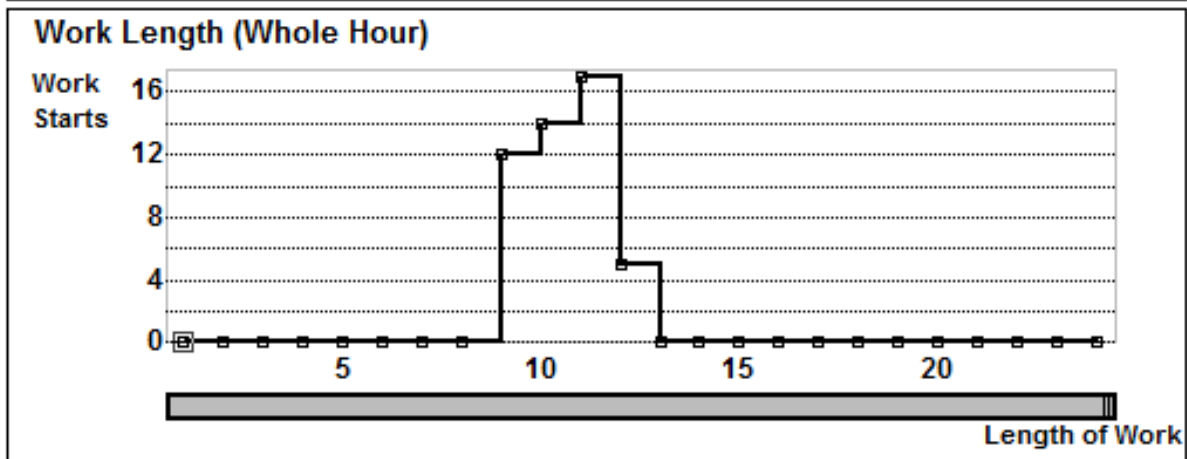
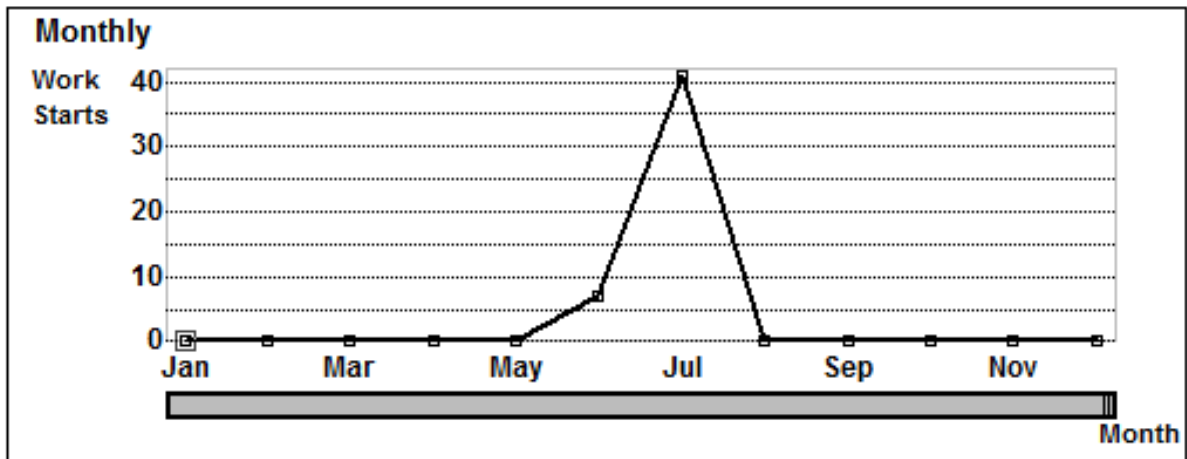
Graf 1 Příklad únavové křivky.....	36
Graf 2 FAID výstup v podobě Fatigue Level.....	44
Graf 3 Únava v závislosti na plánování směn [23].....	47
Graf 4 Fatigue index pro směnu 5d/2	48
Graf 5 Fatigue index pro směnu 5n/2	48
Graf 6 Fatigue index pro cyklus 3/3/3.....	50
Graf 7 Fatigue index pro cyklus 5/2/5/4.....	50

Seznam grafických příloh

Grafická příloha 1 Výstupy z modelu FAID.....	87
Grafická příloha 2 Kód simulátoru generující únavová data	88
Grafická příloha 3 Mustr modelu zhodnocení únavy bez individuálních vstupů	89
Grafická příloha 4 Ukázka vyplněného modelu zhodnocení únavy	90
Grafická příloha 5 Mustr modelu zhodnocení únavy s ohledem na individuální vstupy jedince - individuální část	91
Grafická příloha 6 Ukázka vyplněného modelu zhodnocení únavy s ohledem na individuální vstupy jedince - individuální část	93

WORK SCHEDULE PROFILES





Grafická příloha 1 Výstupy z modelu FAID


```

clc, clear all;

%%cas prichodu do prace
a=0.25*randn(50,1)+8;
b=0.25*randn(50,1)+16;
d=0.25*randn(50,1)+24;

for i=1:50;
    if d(i,1)>=24;
        d(i,1)=d(i,1)-24;
    end
end

for i=1:50;
    n(i)=randn;
    if n(i)>0.4;
        c(i,1)=d(i);
    elseif n(i)<=-0.4;
        c(i,1)=b(i);
    else c(i,1)=a(i);
    end
end

%%cas odchodu z prace
a2=exprnd(0.08,50,1)+8;
b2=exprnd(0.08,50,1)+16;
d2=exprnd(0.08,50,1)+24;

for i=1:50;
    if n(i)>0.4;
        c(i,2)=a2(i);
    elseif n(i)<=-0.4;
        c(i,2)=d2(i);
    else c(i,2)=b2(i);
    end
end

for i=1:50;
    if c(i,2)>=24;
        c(i,2)=d2(i)-24;
    end
end

%%cas dojazdneni v hodinach
for i=1:50;
    c(i,3)=rand*1.666+0.333;
end

%%synchronizace jedince
for i=1:50;
    g(i)=rand;
    if g(i)<=0.44
        c(i,4)=0;
    elseif g(i)>=0.73
        c(i,4)=2;
    else c(i,4)=1;
    end
end

%%spankove navyky
for i=1:50;
    c(i,5)=round((2.5*randn+7.5)/0.5)*
    0.5;
end

%%soucet konec smeny a dojazdneni
for i=1:50;
    c(i,6)=c(i,2)+(c(i,3)/2);
end

%%cas usnuti
for i=1:50;
    if c(i,6)<=1
        c(i,7)=0.333*randn+(c(i,6)+0.5);
    elseif c(i,6)>=16
        c(i,7)=2*randn+22;
    else
        c(i,7)=0.333*randn+(c(i,6)+0.5);
    end
end

for i=1:50;
    if c(i,7)>=24;
        c(i,7)=c(i,7)-24;
    end
end

%%cas probuzeni
for i=1:50;
    c(i,8)=c(i,7)+c(i,5);
    if c(i,8)>=24;
        c(i,8)=c(i,8)-24;
    end
end

for i=49;
    if c(i,8)>c(i+1,1)
        c(i,8)=0.25*randn+(c(i+1,1)-
        0.5*c(i,3));
    else
        c(i,8)=c(i,8);
    end
end
end

```

Grafická příloha 2 Kód simulátoru generující únavová data

Zhodnocení únavy

bez ohledu na individuální vstupy

Den	Začátek pracovní doby	Konec pracovní doby
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Vyplňujte pouze modrá pole. V případě volna, vyplňte do pracovní doby 0:00, 0:00.

Celkový počet odpracovaných hodin	0,00	[hod]
Maximální délka jedné směny	0,00	[hod]
Minimální čas krátkého odpočinku	24,00	[hod]
Celkový počet nočních hodin	0,00	[hod]

Tabulka ohodnocení

Celkový počet odpracovaných hodin	0
Maximální délka jedné směny	0
Minimální čas krátkého odpočinku	0
Celkový počet nočních hodin	0
Frekvence dlouhého odpočinku	VYPLNIT FDO

Napiště 1 do jednoho z modrých polí

Frekvence dlouhého odpočinku (FDO)	
>=1x za 7 dní	
<1x za 7 dní	
<=1x za 14 dní	
<=1x za 21 dní	
<=1x za 28 dní	

Celkový součet bodů	0
----------------------------	----------

Grafická příloha 3 Mustr modelu zhodnocení únavy bez individuálních vstupů

Zhodnocení únavy

bez ohledu na individuální vstupy

Den	Začátek pracovní doby	Konec pracovní doby
1	6:00	14:00
2	6:00	14:00
3	0:00	0:00
4	14:00	23:00
5	14:00	23:00
6	14:00	23:00
7	23:00	6:00

Vyplňujte pouze modrá pole. V případě volna, vyplňte do pracovní doby 0:00, 0:00

Celkový počet odpracovaných hodin	50,00	[hod]
Maximální délka jedné směny	9,00	[hod]
Minimální čas krátkého odpočinku	15,00	[hod]
Celkový počet nočních hodin	19,00	[hod]

Tabulka ohodnocení

Celkový počet odpracovaných hodin	4
Maximální délka jedné směny	1
Minimální čas krátkého odpočinku	1
Celkový počet nočních hodin	4
Frekvence dlouhého odpočinku	0

Frekvence dlouhého odpočinku (FDO)	
>=1x za 7 dní	1
<1x za 7 dní	
<=1x za 14 dní	
<=1x za 21 dní	
<=1x za 28 dní	

Celkový součet bodů 10

Grafická příloha 4 Ukázka vyplněného modelu zhodnocení únavy

Individuální vstupy

Den	Čas usnutí	Čas probuzení
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

Synchronizace jedince		* typ
Spánkové návyky (SN)		[hod]
Délka dojíždění (jedna cesta)		[hod]

* Vyplňte 0,1 nebo 2
0 = bez preference
1 = ranní typ
2 = noční typ

Průměrná délka spánku (PDS)	0:00	[hod]
Rozdíl mezi PDS a SN	přebytek spánku o	
	0:00	[hod]
Počet odpracovaných hodin vč. dojíždění	0,00	[hod]
Celková doba dojíždění za týden	0,00	[hod]
Počet směn v synchronizaci	0	[směn]

Tabulka ohodnocení s ohledem na individuální vstupy

Průměrná délka spánku (DS)	0
Celková doba dojíždění	0
Rozdíl mezi PDS a SN	0
Synchronizace jedince	0
Počet odpracovaných hodin vč. dojíždění	0

Celkový součet bodů	0
Součet bodů bez ohledu na individuality	0
Součet bodů s ohledem na individuality	0

Grafická příloha 5 Mustr modelu zhodnocení únavy s ohledem na individuální vstupy jedince - individuální část

Individuální vstupy

Den	Čas usnutí	Čas probuzení
1	22:00	4:30
2	22:00	8:00
3	22:00	7:00
4	0:00	7:00
5	23:00	8:00
6	0:00	10:00
7	8:00	14:00

Synchronizace jedince	1	* typ
Spánkové návyky (SN)	8:00	[hod]
Délka dojíždění (jedna cesta)	0:45	[hod]

* Vyplňte 0,1 nebo 2
0 = bez preference
1 = ranní typ
2 = noční typ

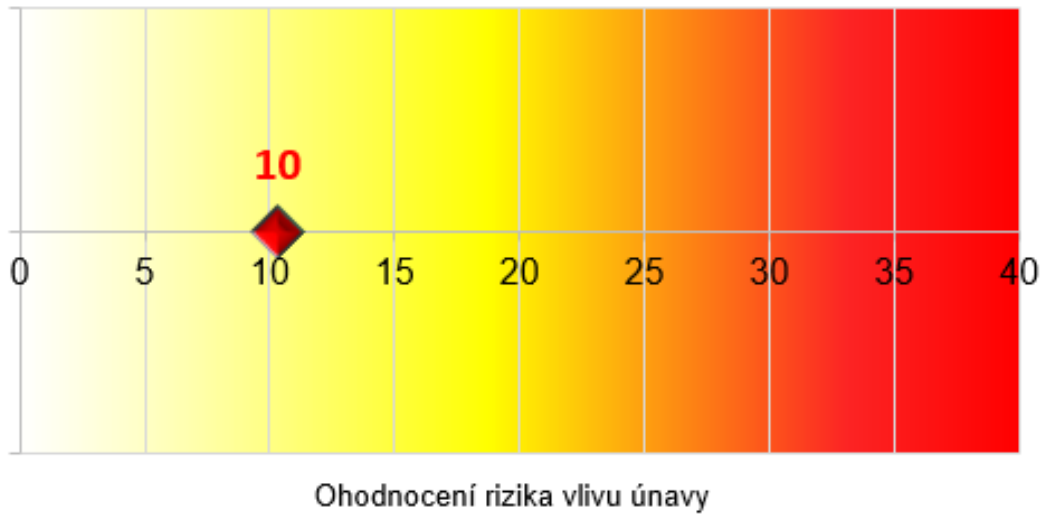
Průměrná délka spánku (PDS)	8:12	[hod]
Rozdíl mezi PDS a SN	přebytek spánku o 0:12	[hod]
Počet odpracovaných hodin vč. dojíždění	59,00	[hod]
Celková doba dojíždění za týden	9,00	[hod]
Počet směn v synchronizaci	2	[směn]

Tabulka ohodnocení s ohledem na individuální vstupy

Průměrná délka spánku (DS)	0
Celková doba dojíždění	1
Rozdíl mezi PDS a SN	0
Synchronizace jedince	2
Počet odpracovaných hodin vč. dojíždění	8

Celkový součet bodů	10
Součet bodů bez ohledu na individuality	10
Součet bodů s ohledem na individuality	11

Ohodnocení rizika s ohledem na individuální vstupy



Grafická příloha 6 Ukázka vyplněného modelu zhodnocení únavy s ohledem na individuální vstupy jedince - individuální část