https://doi.org/10.26552/ pas.Z.2025.1.53

UNIVERSITY OF ŽILINA

OVERENIE METODIKY MERANIA POKLESU VÝKONNOSTI PRI ÚNAVE

Timotej Rimarčík
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Branislav Kandera
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

Fatigue is a critical factor in aviation safety, contributing significantly to human error. This study aimed to validate a methodology for measuring performance decline due to fatigue, using both objective and subjective approaches. Eight university students participated in a two-day measurement involving psychomotor vigilance tests (PVT) for reaction time and self-assessment on the Karolinska Sleepiness Scale. Sleep duration was reduced to induce acute sleep disruption. Results demonstrated a measurable decline in cognitive performance, particularly on the second day following reduced sleep. A moderate positive correlation was found between subjective and objective measurements, confirming the validity of the dual-measurement approach. The study highlights the negative impact of sleep deprivation on performance and supports the methodology's potential use in human performance education within aviation.

Keywords

Fatigue, Sleep, Psychomotor vigilance task, Karolinska sleepiness scale

1. Úvod

Jedným z najdôležitejších aspektov obchodnej leteckej dopravy je nepretržité monitorovanie a zlepšovanie bezpečnosti. Štúdium ľudského faktora má v tomto procese mimoriadny význam, pretože väčšina leteckých nehôd je spôsobená chybou na strane človeka. Práca letových posádok má svoje prevádzkové špecifiká, ktoré môžu ovplyvňovať ich fyzický a psychický stav. Únava je v tomto ohľade podstatným faktorom a jej negatívny vplyv na výkonnosť posádok môže viesť k robeniu chýb.

Pojem únava figuruje v rôznych oblastiach a jej definícia je v jednotlivých štúdiách upravovaná podľa konkrétneho predmetu skúmania. Odborné články sa zaoberajú znižovaním výkonnosti človeka vplyvom únavy, vplyvom prostredia a konzumácie na únavu, alebo únavou spojenou so somatickými a psychickými poruchami. [1]

Z výhradne fyziologického hľadiska je únava definovaná ako funkčné zlyhanie orgánu spojené s nadmernou spotrebou energie. Medzi príčiny patrí horúčka, infekcia, anémia, poruchy spánku alebo tehotenstvo. [2] Z psychologického hľadiska vyjadruje únava stav vyčerpania a zníženej motivácie vplyvom dlhotrvajúcej mentálnej aktivity alebo unudenosti pri pôsobení chronického stresu, úzkosti, alebo depresie. [3] Vo všeobecnosti je však únava komplexný syndróm, ktorý zažívajú nielen jedinci so zdravotnými problémami, ale aj zdraví jedinci a prejavuje sa súčasne fyziologicky a psychologicky. [4]

Pojem vyčerpanosť je zvyčajne používaný ako prejav únavy, ktorý vyjadruje slabosť a nedostatok energie. Únava a vyčerpanosť sú však často zamieňané pojmy, pričom autori lekárskej a psychologickej literatúry uprednostňujú pojem únava. [5]

Tento článok je zameraný na overenie metodiky merania únavy a poklesu výkonnosti pri únave, ktoré by mohlo pomôcť pochopiť vplyv únavy na človeka v rámci výučby predmetu ľudský faktor. Overenie metodiky merania poklesu výkonnosti pri únave je uskutočnené pomocou dostupných spôsobov objektívneho a subjektívneho merania. Pomocou štatistického spracovania výsledkov bude zisťovaný vplyv akútneho narušenia spánku na výkonnosť účastníkov a sledovaná bude aj korelácia medzi oboma spôsobmi použitými pri meraní.

2. Metodika merania

Únavu síce nie je možné merať priamo, existuje však viacero prejavov únavy, ktoré je možné merať. Pre tento účel boli zvolené také metódy merania, ktoré sú overené, dostupné a praktické. Pri objektívnom meraní sa jedná o meranie reakčného času pomocou programu PVT, subjektívne meranie je založené na Karolinskej stupnici ospalosti.

Aby bolo možné sledovať vplyv poklesu výkonnosti pri skrátení trvania spánku, bolo trvanie merania nastavené na 2 dni. V noci pred prvým dňom sa mali účastníci plnohodnotne vyspať, pred druhým dňom merania bol však ich spánok skrátený o približne 2 hodiny. Takéto skrátenie bolo pri viacerých nehodách vyhodnotené ako akútne narušenie spánku. Počas druhého dňa sú vplyvom únavy očakávané horšie výsledky, čo by malo lepšie odzrkadľovať vplyv únavy, keďže potenciálny vplyv zlepšenia sa účastníkov vďaka praxi by bol opačný.

Aby bolo možné sledovať zmeny výkonnosti v priebehu dňa, bolo stanovených 5 časov denne, v ktorých si mali účastníci vykonať merania, vždy objektívne spolu so subjektívnym. Poradie stanovených časov bolo číselne označené od 1 do 10 nasledovne:

1. 9:00, prvý deň
2. 12:00, prvý deň
3. 15:00, prvý deň

4. 18:00, prvý deň
5. 21:00, prvý deň
6. 9:00, druhý deň
7. 12:00, druhý deň
8. 15:00, druhý deň
9. 18:00, druhý deň
10. 21:00, druhý deň

Keďže meranie prebiehalo počas dvoch dní v širokom časovom rozmedzí, vykonávali ho účastníci individuálne pomocou vlastného počítača a sami zodpovedali za svoje odpovede a namerané výsledky. Meranie bolo uskutočnené v súlade s etickým kódexom Žilinskej univerzity v Žiline.

2.1. Účastníci

Merania sa dobrovoľne zúčastnilo 8 vysokoškolských študentov. Jednalo sa o 4 mužov a 4 ženy vo veku od 21 do 25 rokov. Postup merania bol účastníkom vopred vysvetlený, následne získali prístup k dotazníku cez ktorý posielali svoje odpovede. Dotazník zároveň obsahoval všetky potrebné inštrukcie.

Aby bolo pri meraní možné sledovať prirodzený vývoj únavy, museli sa účastníci počas svojej účasti riadiť niekoľkými zásadami:

- žiadny príjem kofeínu (v akejkoľvek forme),
- žiadna konzumácia alkoholu,
- žiadne zdriemnutia počas dňa,
- vyhýbať sa veľkej fyzickej námahe,
- odpovedať úprimne a snažiť sa o čo najlepšie reakčné časy.

2.2. Objektívne meranie

Meranie prebiehalo pomocou psychomotorického testu bdelosti (PVT). Tento test je jednoduchý a praktický nástroj vyžadujúci neustálu pozornosť počas zvolenej doby. Počas testu sa na obrazovke v náhodných intervaloch zjaví podnet (odpočet), na ktorý je potrebné reagovať stlačením tlačidla. Primárnym výstupom testu sú reakčné časy, pomocou ktorých je možné posúdiť kognitívnu výkonnosť. Okrem reakčného času môže byť výstupom testu aj počet oneskorených reakcií, ale vzhľadom na ich malý počet neboli oneskorené reakcie v tomto článku skúmané. [6]

Štandardná doba testu je 10 minút, pre potreby tohto merania bola táto doba skrátená na 5 minút. Meranie síce môže byť menej citlivé, avšak aj táto doba dokáže poskytnúť dostatočne spoľahlivé výsledky. [6] Aby si mohli účastníci robiť merania individuálne, bola im poskytnutá webová stránka s testom PVT, ktorá umožňovala export nameraných dát.

2.3. Subjektívne meranie

Toto meranie prebiehalo jednoduchým vyhodnotením svojho pocitu ospalosti na Karolinskej stupnici ospalosti. Pri výskumoch bola dokázaná významná korelácia medzi hodnotením na tejto stupnici a výkonnosťou pri šoférovaní, či EEG indikátormi ospalosti. [7] Ospalosť je hodnotená na 9 stupňoch a každý z nich má príslušnú hodnotu:

1. Extrémne ostražitý
2. Veľmi ostražitý
3. Ostražitý
4. Skôr ostražitý
5. Ani ostražitý, ani ospalý
6. Nejaké známky ospalosti
7. Ospalý, ale bez snahy ostať bdelý
8. Ospalý, s určitou snahou ostať bdelý
9. Ospalý s veľkou snahou ostať bdelý (bojujem so spánkom)

2.4. Spánkový záznam

Od účastníkov bolo požadované, aby bola doba ich spánku pred prvým dňom merania dostatočne dlhá pre čo najlepší odpočinok a pred druhým dňom merania si mali túto dobu skrátiť o približne 2 hodiny. Spánok ale môže byť nevyspytateľný a preto si účastníci počas oboch dní pred prvým meraním vyplnili spánkový záznam, ktorý mal potvrdiť požadovaný priebeh spánku. Dotazník sa zaoberal časom zaspávania, časom vstávania, trvaním zaspávania, prerušovaním spánku a subjektívnym hodnotením kvality spánku.

Trvanie spánku účastníkov počas prvej noci bolo v rozmedzí 7,5 až 9 hodín, trvanie spánku počas druhej noci bolo v rozmedzí 4 až 6,75 hodín. Rozdiel medzi prvou a druhou nocou bol u všetkých účastníkov dostatočný, u siedmich účastníkov bol tento rozdiel 1,5 až 3-hodinový, u jedného účastníka dokonca až 5-hodinový. Napriek väčšiemu skráteniu spánku sú vo výsledkoch zahrnuté aj merania tohto účastníka. Kvalitu spánku ohodnotili 3 účastníci rovnako počas oboch nocí a 5 účastníkov ohodnotilo kvalitu spánku počas druhej noci horšie. Spánkový záznam u všetkých účastníkov potvrdil dostatočné akútne narušenie spánku počas druhej noci.

3. Výsledky merania

Pri spracovaní reakčných časov nameraných pomocou testu PVT bolo zaznamenaných niekoľko odľahlých hodnôt, ktoré bolo potrebné odstrániť. Odľahlé nízke hodnoty (napríklad 30 ms) predstavovali očakávanie podnetu, keďže takáto rýchlosť reakcie by bola nereálna. Pri odľahlých vysokých hodnotách sa mohlo jednať o chybu účastníka. Zo zvyšných hodnôt boli vypočítané stredné hodnoty v milisekundách (označené ako Q_2), pretože aritmetické priemery by mohli byť skreslené oneskorenými reakciami.

Tabuľka 1 Hodnoty Q_2 a ich priemer

Poradie merania	Účastník								Priemer (bez B)
	A	(B)	C	D	E	F	G	H	
1.	237	304	287	283,5	274	310	295,5	253	277,14
2.	239	300	285	299	283	307,5	296,5	256	280,86
3.	236,5	294	283	318	287	282	290,5	261	279,71
4.	231,5	344	300,5	327	282,5	308	291	242	283,21
5.	241,5	314	282	354	292	282,5	292	273,5	288,21
6.	226	543	290	314	286	303	300	274	284,71
7.	234	425	279	343	303	298	318	271,5	292,36
8.	247	424	302,5	339	288	292	341	270	297,07
9.	247	440	298,5	360	297	282	346	271	300,21
10.	252	358	301,5	350	307	283	311,5	286,5	298,79

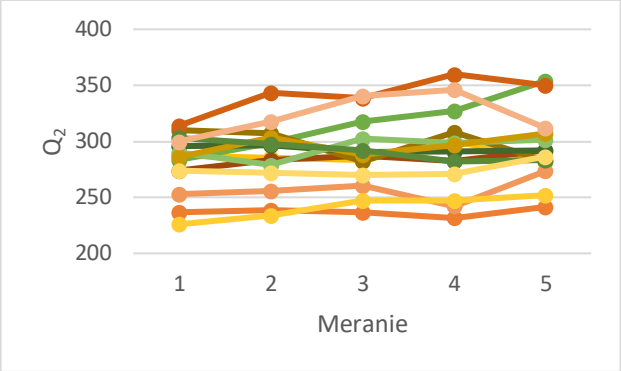
Tabuľka 2 Subjektívne merania vyjadrené na Karolinskej stupnici ospalosti a ich priemer

Poradie merania	Účastník								Priemer (bez B)
	A	(B)	C	D	E	F	G	H	
1.	4	3	5	3	3	5	3	3	3,7
2.	5	4	5	3	3	5	4	3	4,0
3.	7	2	4	4	4	3	5	3	4,3
4.	4	4	6	3	3	6	5	4	4,4
5.	5	4	8	5	5	4	8	6	5,9
6.	3	5	5	3	4	6	4	5	4,3
7.	5	5	4	6	4	4	5	3	4,4
8.	6	6	6	6	5	3	7	4	5,3
9.	6	7	7	5	6	3	8	3	5,4
10.	6	6	8	7	7	4	8	6	6,6

Rozdiely medzi strednými hodnotami reakčných časov medzi účastníkmi môžu byť spôsobené rozdielnymi schopnosťami a rozdielmi v technike. Pri 6. meraní účastníka B bol zaznamenaný veľký nárast Q_2 oproti predchádzajúcim meraniam, vysoké hodnoty mali aj 3 nasledujúce merania. Pri ostatných účastníkoch boli rozdiely medzi meraniami výrazne citlivejšie, mohlo teda dôjsť k chybnému meraniu a účastník B preto nie je zahrnutý vo výsledkoch merania.

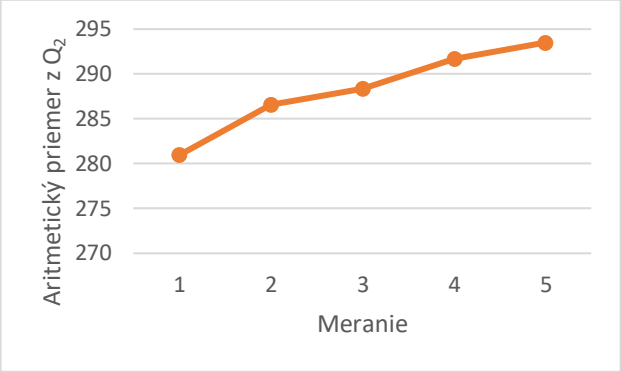
3.1. Zmena výkonnosti v priebehu dňa

Pri sledovaní zmien vo výkonnosti v priebehu dňa je využité objektívne meranie. Na obrázku 7 je grafické znázornenie hodnôt Q_2 za všetky merané dni, pri siedmich účastníkoch to bolo 14 dní. Jednotlivé línie teda znázorňujú priebeh všetkých meraných dní od 9:00 do 21:00.



Obrázok 1 Grafické znázornenie hodnôt Q_2 za jednotlivé dni

Jednotlivé merané dni mali rôzne priebehy. Lepší obraz o celkovej zmene výkonnosti môže poskytnúť priebeh dňa, vytvorený z aritmetických priemerov z Q_2 za všetky merané dni.

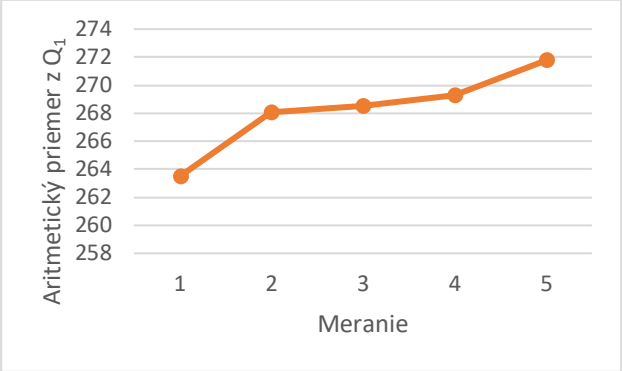


Obrázok 2 Grafické znázornenie priemerných hodnôt Q_2 počas dňa

Priemerné hodnoty Q_2 počas dňa majú súvislý rastúci priebeh, čo vyjadruje pokles výkonnosti počas dňa. Tento pokles výkonnosti môže súvisieť práve s narastajúcou únavou. Na grafe nebola zaznamenaná sekundárna ospalosť, po ktorej by nasledovalo zlepšenie výkonnosti v podvečerných hodinách.

Pre potvrdenie rastúcej únavy počas dňa bolo vytvorené ďalšie grafické znázornenie. Namiesto hodnoty Q_2 boli priemery vytvorené z hodnôt dolného kvartilu jednotlivých meraní bez odľahlých hodnôt v milisekundách (označené ako Q_1). Hodnota Q_1 je teda namiesto strednej hodnoty založená na dolnom

kvartile a predstavuje hranicu 25% najrýchlejších reakčných časov.

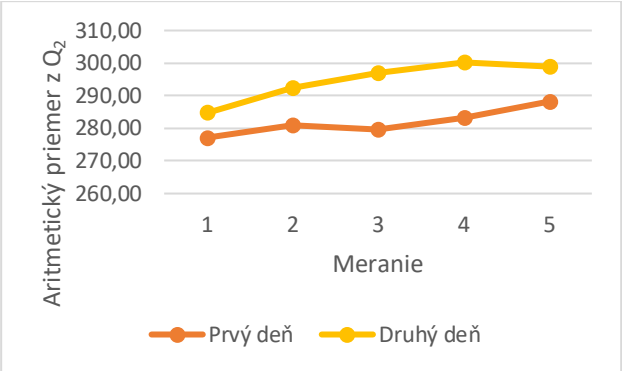


Obrázok 3 Grafické znázornenie priemerných hodnôt Q_1 počas dňa

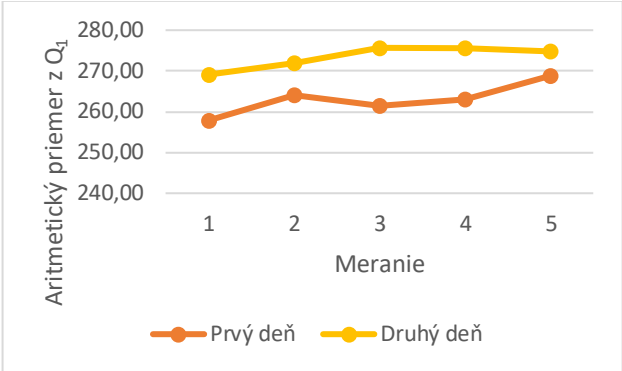
Priemerné hodnoty Q_1 potvrdili pokles výkonnosti, aj keď grafické znázornenie nemalo taký súvislý priebeh ako pri hodnotách Q_2. Pri overovaní metodiky sa teda podarilo zaznamenať pokles výkonnosti v priebehu dňa. Sekundárna ospalosť nebola zaznamenaná, príčinou môže byť veľký časový interval medzi meraniami.

3.2. Pokles výkonnosti pri akútnom narušení spánku

Sledovanie poklesu výkonnosti pri akútnom narušení spánku je tiež založené na objektívnom meraní. Priemerné hodnoty grafického znázornenia na obrázku 10 sú vytvorené z Q_2 samostatne počas prvého a druhého dňa. Rovnakým spôsobom je vytvorené aj znázornenie na obrázku 11, avšak priemerné hodnoty sú vytvorené z Q_1.



Obrázok 4 Grafické znázornenie priemerných hodnôt Q_2 počas prvého a druhého dňa



Obrázok 5 Grafické znázornenie priemerných hodnôt Q_1 počas prvého a druhého dňa

Priemery reakčných časov vytvorené cez parametre Q_2 a Q_1 indikujú pomalšie reakčné časy účastníkov počas druhého dňa. Namerané hodnoty teda zaznamenali zhoršenú výkonnosť pri akútnom narušení spánku, ktorému museli účastníci počas druhého dňa čeliť. Toto zhoršenie bolo zaznamenané vo všetkých stanovených časoch merania, najväčšie zhoršenie výkonnosti bolo pri meraniach o 15:00 a 18:00. Jednoznačné zhoršenie výkonnosti u pomerne malého počtu účastníkov iba zdôrazňuje negatívny vplyv akútneho narušenia spánku na kognitívnu výkonnosť.

3.3. Korelácia medzi objektívnym a subjektívnym meraním únavy

Dosiaľ bol v meraniach preukázaný vplyv únavy na reakčný čas počas testu PVT, zároveň však boli účastníci zapojený aj do subjektívneho merania kde hodnotili svoj pocit ospalosti. Pokiaľ dokázali účastníci správne odhadnúť svoju ospalosť, malo by byť možné nájsť koreláciu medzi objektívnym a subjektívnym meraním.

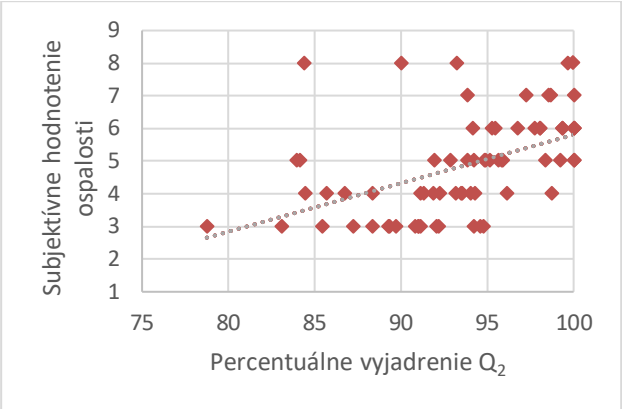
Hodnoty Q_2 sú vhodným výstupom objektívneho merania, nevýhodou však je, že hodnoty jednotlivých účastníkov sa pohybovali na rôznych úrovniach. V tomto prípade nie je možné použiť aritmetický priemer Q_2, pretože koreláciu je potrebné hľadať medzi individuálnymi meraniami. Riešením bola premena hodnôt Q_2 na percentuálne vyjadrenie vzhľadom na maximálnu hodnotu jednotlivých účastníkov.

Tabuľka 3 Percentuálne vyjadrenie hodnôt Q_2 vzhľadom na maximum jednotlivých účastníkov

Poradie merania	Účastník						
	A	C	D	E	F	G	H
1.	94,05	94,88	78,75	89,25	100,00	85,40	88,31
2.	94,84	94,21	83,06	92,18	99,19	85,69	89,35
3.	93,85	93,55	88,33	93,49	90,97	83,96	91,10
4.	91,87	99,34	90,83	92,02	99,35	84,10	84,47
5.	95,83	93,22	98,33	95,11	91,13	84,39	95,46

6.	*89,68*	*95,87*	*87,22*	*93,16*	*97,74*	*86,71*	*95,64*
7.	*92,86*	*92,23*	*95,28*	*98,70*	*96,13*	*91,91*	*94,76*
8.	*98,02*	*100,00*	*94,17*	*93,81*	*94,19*	*98,55*	*94,24*
9.	*98,02*	*98,68*	*100,00*	*96,74*	*90,97*	*100,00*	*94,59*
10.	*100,00*	*99,67*	*97,22*	*100,00*	*91,29*	*90,03*	*100,00*

Výstupom subjektívneho merania boli hodnoty od 1 do 9 vyjadrujúce stupeň ospalosti, ktoré sú uvedené v tabuľke 5. Tieto hodnoty mohli byť priamo porovnávané s percentuálnymi vyjadreniami Q_2.



Obrázok 6 Bodový graf závislosti subjektívnych a objektívnych meraní so znázornenou priamkou lineárnej regresie

Grafická analýza odhaľuje určitú koreláciu medzi subjektívnym a objektívnym meraním, keďže poloha najväčšej hustoty bodov má rastúci trend. Sila lineárnej závislosti je následne skúmaná pomocou Pearsonovho korelačného koeficientu.

Výsledná hodnota koeficientu lineárnej korelácie má hodnotu 0,488. Keďže má koeficient kladnú hodnotu, jedná sa o priamu závislosť. To znamená, že s rastúcou ospalosťou rastie reakčný čas. Hodnota koeficientu vyjadruje silu závislosti, pričom čím je absolútna hodnota koeficientu bližšie k 1, tým silnejšia je závislosť. Koeficient 0,488 označuje stredne silnú závislosť.

Následne bol ešte vykonaný test významnosti korelačného koeficientu. Pred testom bola definovaná hladina významnosti $\alpha = 0{,}05$. Pri teste významnosti bola vypočítaná p-hodnota = $1{,}859 \cdot 10\text{-}5$. Keďže je p-hodnota menšia ako α, nejedná sa o náhodný jav, ale o významnú závislosť. Overenie metodiky teda odhalilo významnú, stredne silnú koreláciu medzi objektívnym a subjektívnym meraním únavy.

4. Záver

Overenie metodiky prebiehalo pomocou jednoduchých a dostupných spôsobov merania únavy, vďaka čomu by bolo meranie možné jednoducho replikovať. Napriek pomerne malému počtu účastníkov bol vo výsledkoch merania spozorovaný vplyv únavy, ktorý ovplyvňoval výsledky v súlade s teoretickými poznatkami o únave. Výkonnosť účastníkov sa znižovala v priebehu dňa, výrazne sa znížila aj po akútnom narušení spánku. Zaznamenaný pokles výkonnosti zdôrazňuje veľkosť vplyvu únavy na výkonnosť a význam zabraňovania vzniku únavy u letových posádok. Vo výsledkoch merania bola taktiež potvrdená korelácia medzi subjektívnym a objektívnym meraním.

Overenie metodiky môže pomôcť pri výučbe predmetu ľudský faktor. Pokiaľ by boli študenti v rámci cvičení podrobení takémuto meraniu, mohlo by to zlepšiť ich pochopenie vplyvu únavy na jedinca. Pre zvýšenie kvality merania v budúcnosti je odporúčané poskytnúť všetkým účastníkom rovnaký hardvér, aby sa predišlo chybám a rozdielnemu oneskoreniu. Kvalitu merania by zlepšil aj väčší počet účastníkov a väčší počet meraní v priebehu dňa.

Referencie

[1] BAROFSKY, I. – LEGRO, M. W. 1991. *Definition and Measurement of Fatigue.* In: Reviews of Infectious Diseases. 1991, roč. 13, č. 1, s. 94-97. ISSN 0162-0886.

[2] AARONSON, L. S. a kol. 1999. *Defining and Measuring Fatigue.* In: Image the Journal of Nursing Scholarship. 1999, roč. 31, č. 1, s. 45-50. ISSN 0743-5150.

[3] LEE, K. A. a kol. 1991. *Validity and reliability of a scale to assess fatigue.* In: Psychiatry Research. 1991, roč. 36, č. 3, s. 291-298. ISSN 1872-7123.

[4] BILLONES, R. a kol. 2021. *Dissecting the fatigue experience: A scoping review of fatigue definitions, dimensions, and measures in non-oncologic medical conditions.* In: Brain, Behavior, & Immunity – Health. 2021, roč. 15. ISSN 2666-3546.

[5] NECKEL, S. – SCHAFFNER, A. K. – WAGNER, G. 2017. *Burnout, Fatigue, Exhaustion: An Interdisciplinary Perspective on a Modern Affliction.* Cham: Springer Nature, 2017. 316 s. ISBN 978-3-319-52887-8.

[6] LOH, S. a kol. 2004. *The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration.* In: Behavior Research Methods, Instruments, & Computers. 2004, roč. 36, č. 2, s. 339-346. ISSN 1532-5970.

[7] ÅKERSTEDT, T. a kol. 2014. *Subjective sleepiness is a sensitive indicator of insufficient sleep and impaired waking function.* In: Journal of Sleep Research. 2014, roč. 23, s. 242-254. ISSN 1365-2869.