

Možné vplyvy cirkadiánneho rytmu na členov letových posádok

ZGODAVOVÁ Zuzana¹, ROZENBERG Róbert², GAZDA Jindřich³

^{1,2,3}Katedra letovej prípravy, Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach,
Rampová 7, 041 21 Košice, Slovensko,

email: zuzana.zgodavova@tuke.sk, robert.rozenberg@tuke.sk,
jindrich.gazda@tuke.sk

Abstrakt:

Článok prináša poznatky z oblasti leteckej psychofyziológie a poukazuje na dôležitosť poznania vplyvu cirkadiánneho rytmu, príčiny jeho možného narušenia a účinky na ľudský organizmus členov letových posádok. Letecká doprava si vyžaduje nepretržitú 24-hodinovú prevádzku, čo spôsobuje narušenie psychofyziologických funkcií. Problematika cirkadiánneho systému vychádza z teórie biologických rytmov, ktorá je spojená s rotačným obehom Zeme. Cirkadiánnny rytmus možno považovať za regulátor telesných funkcií, ktorý sa prejavuje najmä vo fyziológii a v správaní, a zároveň riadia načasovanie spánku resp. cyklu prebúdžania, v závislosti na striedaní dňa a noci pri miestnom čase. Narušenie cirkadiánnnych rytmov spôsobuje pásmovú chorobu, ktorej účinky pretrvávajú určitý čas po pristáti. Preto je cirkadiánnna stabilita dôležitým kritériom pri plánovaní doby v službe a doby odpočinku.

KLúčové slová:

cirkadiánnny rytmus, funkcie organizmu, pásmová choroba, bezpečnosť

ÚVOD

Počas histórie leteckého priemyslu prevádzkové možnosti a technológie zaznamenali dramatický nárast. Neustále zvyšovanie prevádzkových požiadaviek si vyžaduje aktivitu 24 hodín denne. Ľudský faktor je pre prevádzku leteckej dopravy zásadným, pretože plní dôležité funkcie tak, aby boli zabezpečené požiadavky tohto odvetvia. Letové posádky sú pri vnútroštátnej či medzinárodnej

leteckej preprave vystavené práci na zmeny, nočnej práci, nepravidelnej pracovnej dobe, neadekvátnemu odpočinku a prispôsobeniu sa niekoľkým časovým pásmam. U človeka to môže vyvolať únavu, deficit spánku a narušenie cirkadiánneho rytmu. Tieto faktory predstavujú fyziologickú záťaž pre organizmus a môžu mať za následok zníženie výkonu a pozornosti počas letu. Preto ľudské fyziologické možnosti a obmedzenia ostávajú kľúčovými faktormi pri zachovaní bezpečnosti a produktivity v letectve. Za posledných 40. rokov sa vedecké poznatky o spánku, biologických rytmoch, ospalosti resp. bdelosti a úbytkoch výkonov spojených s týmito faktormi výrazne zvýšili. Štúdie potvrdili prítomnosť únavy vyplývajúcej z nedostatku spánku, narušenia cirkadiánneho rytmu a pracovného zaťaženia počas letu.

1. PROBLEMATIKA BIOLOGICKÝCH RYTMOV

Pre pochopenie problematiky cirkadiánneho rytmu je potrebné ozrejmiť si teóriu biologických rytmov. Biologický rytmus je rytmický dej zobrazený sínusoidou, ktorý je po určitom časovom intervale opakovaný (chronický) a navracia sa približne na rovnakú úroveň.

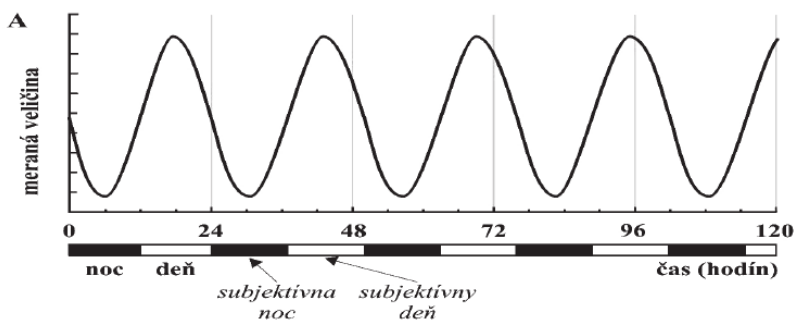


Fig.1 Schéma biologického rytmu

Source: [11]

Biologické rytmy u človeka predstavujú cykly v rozmedzí od niekoľkých milisekúnd až po niekoľko mesiacov, ako napríklad dýchanie, štádia spánku alebo uvoľňovanie hormónov v tele. Tieto rytmy resp. periodické cykly ovplyvňujú

najmä vnútorné fungovanie tela a ľudské správanie, tzn. rôzne fyziologické, biochemické a behaviorálne funkcie organizmu.

Biologické rytmy alebo oscilácie sú dôsledkom dynamicky sa meniacich fyziologických procesov v čase. Existencia biologických systémov je podmienená rytmicitou. Tá je odvodená od rotačného prípadne obežného pohybu Zeme (24-hodinový rytmus striedania svetla a tmy a resp. striedanie ročných období). Čas na zemeguli je rozdelený do 24 časových pásiem, 12 smerom na západ a 12 smerom na východ. Ak vychádzame zo skutočnosti, že jedno otočenie Zeme okolo vlastnej osi t. j. o 360° trvá 24 hodín, tak za 1 hodinu dôjde k pootočeniu o 15° zemepisnej šírky. Z toho vyplýva, že časové pásma sa rozkladajú približne pozdĺž poludníkov, avšak zohľadňujú hranice štátov alebo iné územia. Os základného pásma tvorí nultý poludník, ktorý prechádza v Londýne v Greenwichi, a tento čas je označovaný ako svetový čas (UTC alebo GMT). Každé ďalšie pásmo predstavuje poludník s násobkom 15° . V jednotlivých časových pásmach platí miestny čas (LMT), ktorý sa odlišuje odchýlkou od UTC v závislosti od čísla pásma a príslušného znamienka zemepisnej dĺžky (pre východnú zemepisnú dĺžku znamienko +, a pre západnú zemepisnú dĺžku znamienko -). Tento aspekt času je dôležitý z hľadiska letovej prevádzky, pri ktorej sú posádky diaľkových letov vystavené biorytmickej záťaži.

V dôsledku aktivity endogénneho oscilátora sú vo vnútri organizmu generované **endogénne rytmy** (genetický základ), ako odpoveď na rytmické zmeny prostredia. Podmienky prostredia tieto rytmy synchronizujú do optimálnych fáz. Za stálych podmienok nevymiznú, ale pretrvávajú a ich perióda je odlišná od periódy environmentálneho rytmu. **Exogénne rytmy** sú riadené synchronizáciou interných cyklov s vonkajšími podnetmi. Nazývame ich synchronizátory (zeitgeber), medzi ktoré patria spánok/bdenie, striedanie svetla a tmy, teplotné cykly, sociálne podnety a pod. V porovnaní s endogénnymi rytmiami v konštantných podmienkach vymiznú a sú výsledkom pasívnej reakcie na zmeny prostredia. Z uvedeného vyplýva, že biologické rytmy sú dané interakciou synchronizátorov a endogénnych oscilácií.

2. CIRKADIÁNNY SYSTÉM

Psychické a fyziologické funkcie organizmu sú podmienené rozdielnou periódou rytmu. Najčastejšie sa ako systéme telesných rytmov uvádza tzv. cirkadiánnny rytmus. Pre tento rytmus je charakteristická stabilná dĺžka periódy v trvaní cca 24 hodín, od čoho je odvodený jeho názov (približne deň). Cirkadiánnny rytmus je regulátorom telesných funkcií organizmu, a možno ho označiť ako

vnútorné biologické hodiny. Tie vyjadrujú komplexný vnútorný mechanizmus, ktorý reguluje a synchronizuje funkcie v pevne dodržiavanej činnosti celého organizmu (od buniek, cez vnútorné orgány až po najvyššie psychické funkcie). Cirkadiánne rytmy sa prejavujú najmä vo fyziológii a v správaní, a zároveň riadia načasovanie spánku resp. cyklu prebúdzenia, v závislosti na striedaní dňa a noci pri miestnom čase. Ovplyvňujú fyzickú a psychickú výkonnosť, aktivitu/činnosť, konzumáciu potravín, telesnú teplotu, kardiovaskulárne rytmy, svalový tonus, činnosť hormónov a imunitných reakcií a mnoho ďalších fyziologických funkcií. Psychické a fyziologické funkcie ako aktivita mozgu, reakčná doba, pozornosť a svalová aktivita počas 24 hodín nedosahujú rovnakú hodnotu, ale kolíšu po nepravidelnej sínusovej krivke, ako je to možné vidieť na obrázku. Svoje maximá ľudský organizmus dosahuje medzi 9. a 11. hodinou, za ktorým nasleduje mierny pokles aktivity s miminom okolo 15-tej hodiny. Neskôr začína aktivita opäť pomaly stúpať, a približne o 21. hodine nastáva druhé výkonnostné maximum, ktoré je menej intenzívnejšie v porovnaní s dopoludňajším, po ktorom nasleduje výrazný pokles s minimom medzi 1. až 4. hodinou rannou.

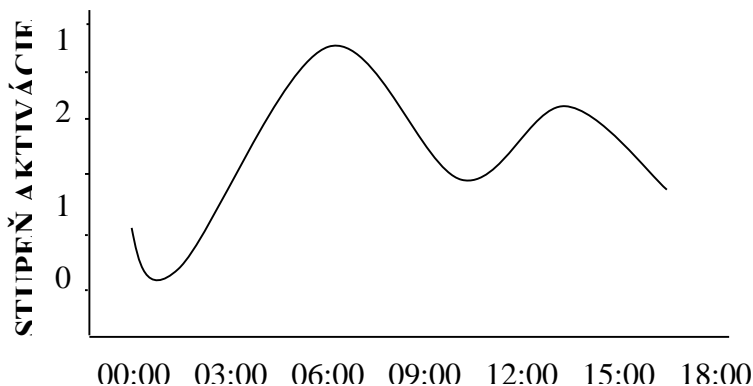


Fig.2 24-hodinová kondičná krivka

Source: [11]

Cirkadiánný systém zahŕňa 3 zložky, vstupnú dráhu, oscilátor a výstupnú dráhu. Za vstupnú dráhu je považovaný melanopsín, ktorý je lokalizovaný v bunkách sietnice a spoločne s tyčinkami a čapíkmi sníma zmenu fázy svetla a tmy. Nie je to teda len samotný melatopsín, ale spoločne sú tieto tri receptory optickým

vstupom do cirkadiálneho systému. Signál z buniek sietnice je súčasťou optického nervu, ktorý je vedený do suprachiazmatických jadier v hypotalame, kde je uložený oscilátor. Oscilátor (pacemaker) v tomto systéme slúži na generovanie cirkadiánných oscilácií a usmerňuje cirkadiánne oscilácie všetkých buniek tela, pričom ak dôjde k jeho narušeniu, organizmus sa stane arytmickým. Synchronizáciu centrálného oscilátora nemusí vyvolávať iba cyklus svetla a tmy ale aj iné podnety ako príjem potravy a sociálne interakcie, v tom prípade ak synchronizátor cyklu dňa a noci nie je prítomný alebo je nedominantný. Ako výstupná dráha sa najčastejšie uvádza hypotalamus, kde končia signály zo suprachiazmatických jadier, ale môžu to byť aj periférne orgány ako srdce, pečeň a obličky.

3. NARUŠENIE CIRKADIÁNNHO RYTMU

Narušenie cirkadiálneho rytmu vo veľkej miere ovplyvňuje nielen zdravie a výkonnosť, ale aj bezpečnosť. Spája sa predovšetkým s transatlantickými letmi naprieč niekoľkými časovými pásmami (najnápadnejšie zmeny vo fyzickej a psychickej výkonnosti a emočnom ladení), rovnako ako aj s nepravidelnou pracovnou dobou najmä pri charterových a nočných letoch (poruchy spánku).

V rámci 24-hodinového cyklu, sú hodiny medzi 02:00 až 05:59 označované ako doba najnižšej dennej výkonnosti, kedy je ľudské telo naprogramované na spánok, a počas ktorých je výkon značne zhoršený. Tento čas najnižšej dennej výkonnosti sa vzťahuje pre lety v rozmedzí 3 časových pásiem. Pri prekročení 3 a viac časových pásiem, doba najnižšej dennej výkonnosti pripadá na čas domácej základne a postupne na miestny čas v danej časovej zóne. Účinky cirkadiálneho rytmu sú dôležitými aspektmi pri riešení požiadaviek 24-hodinovej prevádzky, pretože cirkadiánne rytmy nie sú rýchlo prispôsobiteľné zmenám. Počas nočných letov sú fyziologické, psychické a behaviorálne funkcie organizmu nastavené cirkadiánnym systémom na nízku úroveň, ktoré nemôžu byť kompenzované stavom bdenia a aktivitou. Rovnako aj spánok počas dňa (po nočnej službe) je v priamom protiklade s fyziologickým naprogramovaním bdlosti. Narušenie cirkadiálneho rytmu tak môže viesť ku akútnemu deficitu spánku, kumulovanej strate spánku, zníženiu výkonnosti a pozornosti, zažívacím ťažkostiam a pod. Najväčšia náchylnosť ku vzniku chýb spôsobených zmenou v cirkadiánnom rytme je medzi 04.00 až 06.00 hodinou rannou v rámci vnútorných biologických hodín pilota. Z toho dôvodu je cirkadiánna stabilita dôležitým kritériom pri plánovaní doby v službe a doby odpočinku.

Ako bolo spomenuté v úvode, jedna časová zóna tvorená 15 poludníkmi predstavuje posun miestneho času o 1 hodinu. Je zrejmé, že pri medzikontinentálnych letoch dôjde k prekročeniu 6 a viac časových pásiem, v trvaní kratšom ako 6 hodín. K rozladeniu vnútorných biologických hodín však dostatočne postačuje aj prekročenie 3 až 4 časových zón. Hĺbka narušenia biologického rytmu a miera adaptácie je závislá nielen na celkovom počte časových pásiem, ale aj na ich smere. Pri letoch západným smerom fázový posun spôsobuje oneskorenie endogénneho cirkadiánneho systému. Ľudský organizmus znáša prejavy desynchronizácie ľahšie a prispôsobuje sa novému prostrediu rýchlejšie, ako v prípade letov opačným smerom (kedy východným smerom dochádza k fázovému predbehnutiu). Odborníci tvrdia, že pri posune o 1 časovú zónu je potrebný 1 deň pre zotavenie a adaptáciu organizmu. Ak pilot pri lete prekročí 8 časových pásiem bude trvať 8 dní dokým sa jeho endogénne rytmy opäť zosynchronizujú.

Vedecké štúdie poukazujú na skutočnosť, že lety východným smerom sa vzťahujú k únave, zatiaľ čo lety západným smerom vyvolávajú pokles psychofyziologickej výkonnosti. Pri letoch zo severnej pologuli na južnú, nie sú pozorované zmeny cirkadiánneho rytmu, ale mení sa charakter externých sezónnych synchronizátorov, čo v krátkej dobe môže sezónny rytmus úplne obrátiť. Táto fyziologická záťaž ovplyvňuje funkcie zmyslových orgánov (najmä zraku), mechanizmus termoregulácie a odhad času. Z pohľadu chronofyziologickej záťaže sú pre ľudský organizmus najmenej priaznivé diaľkové lety po tzv. diagonále, ktorých pôsobenie, prejavy a príznaky sú súčtom zmien cirkadiánnych a sezónnych zložiek. Preto je potrebné plánovať priebeh letu a dĺžku prestávok pri medzipristáti s cieľom minimalizácie spánkového dlhu, a zároveň naplánovať odpočinok vo fáze minimálnej aktivity globálneho cirkadiánneho rytmu.

Celý proces nerovnováhy začína v očných bunkách sietnice, ktoré vysielajú správu o striedaní svetla a tmy epifýze (endokrinné žľazy vo vnútri mozgu), ktorá uvoľňuje melatonin (hormón vyvolávajúci spánok) v reakcii na tmu. Tento endogénny synchronizátor poskytuje informáciu tkanivám o fáze dňa a aktuálnom čase vnútorných hodín. Náhle zmeny časových pásiem môžu narušiť produkciu melatonínu, ktorý v konečnom dôsledku rozladí cyklus spánku a bdlosti. Porucha synchronizácie medzi cirkadiánnym rytmom organizmu a cyklom striedanie svetla a tmy prostredia tzv. miestnym časom v danom pásme, sprevádzaný rozličnými telesnými a psychickými príznakmi, sa označuje ako desynchronóza resp. pásmová choroba (z angličtiny jet lag). Jej vznik a prejavy podmieňujú najmä dva fyziologické mechanizmy - dysrytmia a desynchronizácia.

Prvý mechanizmus je spôsobený nesúladom vnútorných biologických hodín a časom v danej časovej zóne. Pri prekročení určitého počtu časových pásiem sa perióda cirkadiánneho rytmu pri letoch na západ umelo predlžuje a v opačnom smere skracuje o počet hodín zodpovedajúcich počtu časových pásiem. Posun o niekoľko hodín vedie k narušeniu denného a nočného režimu funkcií organizmu. Prejavom dysrytmie možno zabrániť, ak sa po medzikontinentálnom lete človek neuloží k spánku.

Druhý desynchronizačný komponent vyvoláva nerovnováhu vnútorných rytmov fyziologických funkcií. Ich adaptácia vzhľadom na nový pásmový čas je rozdielna. Napríklad činnosť centrálného nervového systému sa upraví v priebehu prvých 24 hodín. Výkonnosť môže byť spočiatku zhoršená, ale počas 3 až 4 dní sa jej krivka ustáli na normálnu hodnotu. Rovnako je to aj v prípade srdcovej frekvencie, zatiaľ čo sa cirkadiánna krivka telesnej teploty prispôsobí až po niekoľkých týždňoch.

Pred obnovou a úpravou biologických rytmov je pásmová choroba sprevádzaná radom rozličných symptómov. Príznaky sa môžu prejavovať od ľahších ako je bolesť hlavy, podráždenosť, nevoľnosť, až ku ťažším ako poruchy spánku, zvýšená únava, zažívacie ťažkosti, zimnica a neschopnosť koncentrácie. Dĺžka adaptácie závisí od individuálnej variability jedinca, ktorá je daná rozdielnou osobnou dispozíciou a aktuálnou situáciou. Jednou z navrhovaných metód minimalizácie účinkov jet lag je dostatočný pitný režim pred letom, počas letu a po lete. Výskyt dehydratácie je veľmi častý z dôvodu suchého vzduchu v kabíne. To má za následok zmenšenie prietoku krvi do svalov, zníženie funkcie obličiek a zvýšenú únavu, ktoré indikujú pásmovú chorobu. Ďalšou z možností je „svetelná terapia“, čo je metóda nastavenia vnútorných hodín organizmu prostredníctvom vystavenia sa vplyvu denného alebo umelého plnespektrálneho svetla. Bolo vedecky dokázané, že práve svetlo napomáha obnove cirkadiánnych rytmov. Nedávny výskum tiež poukázal na stratégiu melatonínových tabletiiek, ako možného spôsobu boja proti jet lag únave. Ide o doplnok stravy, ktorý pomáha zmierniť príznaky pásmovej choroby a zlepšuje spánok. V USA sú tieto tabletky dostupné na voľný predaj, ale v iných krajinách iba na lekársky predpis. Je však potrebné uskutočniť ďalšie štúdie o bezpečnosti melatonínu z dôvodu nedostatku informácií o vedľajších účinkoch a jeho užívaní s inými liekmi. Z bezpečnostných a zdravotných dôvodov sa pri užívaní melatonínu odporúča, aby piloti neleteli aspoň 12 hodín po jeho užití.

ZÁVER

Cieľom tohto článku bolo podať komplexný pohľad na problematiku cirkadiánneho rytmu a aplikáciu jeho účinkov na letecký personál, ktorý musí čeliť práci na zmeny, nepravidelnej prevádzke, nočným letom a zároveň prekračovaniu niekoľkých časových pásem. V úvode sa venuje teórii biologických rytmov z dôvodu pochopenia, významu, funkcie a procesu fungovania cirkadiánneho systému. Cirkadiánny rytmus ovplyvňuje fyzickú a psychickú výkonnosť, aktivitu/činnosť, konzumáciu potravín, telesnú teplotu, kardiovaskulárne rytmy, svalový tonus, činnosť hormónov a imunitných reakcií a mnoho ďalších fyziologických funkcií. Narušenie synchronných oscilácií je spôsobené bežnými prevádzkovými faktormi ako sú transatlantické, nočné a charterové lety. Účinky cirkadiánneho rytmu sú dôležitými aspektmi pri riešení požiadaviek 24-hodinovej prevádzky, pretože cirkadiánne rytmy nie sú rýchlo prispôsobiteľné zmenám. Narušenie cirkadiánneho rytmu je spojené s pásmovou chorobou známou aj ako jet lag. Jej príznaky sa prejavujú v podobe bolesti hlavy, podráždenosti nevoľnosti, poruchách spánku, zvýšenej únavy, zažívacích ťažkostiach, zinnici a neschopnosti koncentrácie. V snahe minimalizovať tieto účinky sa používajú rôzne metódy ako dostatočný pitný režim, svetelná terapia a melatonínové tabletky. Tieto aspekty cirkadiánneho rytmu je potrebné zohľadniť pri plánovaní pracovných zmien letových posádok, aby tak nedochádzalo k ohrozeniu zdravia, výkonnosti a bezpečnosti.

REFERENCIE

- [1] MODUL - FS2-LETECKÁ DOPRAVA: *Lidský činitel v letecké dopravě* [online]. [cit.2016-11-23] Dostupné na internete: <<http://projekt150.havvel.cz/node/117>>
- [2] ŠULC, J.: *Letecká fyziologie*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 1980. 284 s. ISBN 28-035-80.
- [3] ŠULC, J. et al.: *Učebnice pilota 2013: Základy letecké psychofyziologie*. 1. vyd. Cheb: Svět křídel, 2013. 780 s. ISBN 978-80-87567-26-5.
- [4] ŠULC, J.: *Lidský činitel: Studijný modul 9*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 112 s. ISBN 80-7204-364-1.

- [5] DZVONÍK, O. - KRÍŽ, J. - BLAŠKO, P.: *Ludský faktor v leteckej: Ludská výkonnosť a jej obmedzenia*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline v EDIS, 2001. 148 s. ISBN 80-7100-811-7.
- [6] SOCHA, L. - SZABO, S.: *Czynnik ludzki w badaniach wypadków lotniczych*, In: *Ekonomia i bezpieczeństwo wyzwaniem regionu 21 wieku*. - Starachowice, PU COMPUS, 2014, P. 116-134., ISBN 978-83-64038-18-1.
- [7] DINGES, D. et al.: *Principles and guidelines for duty and rest scheduling in commercial aviation* [online]. [cit.2017-03-20] Dostupné na internete: <http://cfapp.icao.int/fsix/_Library/Duty%20times%20fatigue.pdf>
- [8] REGULA, M. et al.: *Study of heart rate as the main stress indicator in aircraft pilots*, In: *Mechatronika 2014 : proceedings of the 16th International Conference on Mechatronics, December 3-5, 2014.*, Brno, University of technology, P. 639-643., ISBN 978-80-214-4817-9.
- [9] VAJDOVÁ, I. - SZABO, S. - SOCHA, L.: *Stress in pilot training*, Aeronautica XV., Lublin, University of Technology, 2015, P. 20-25., ISBN 978-83-7947-149-2.
- [10] BRYMAN, D.: *Flight Safety: The human component in general aviation accidents* [online]. [cit.2017-03-20] Dostupné na internete: <http://www.pilotfriend.com/safe/safety/human_and_accidents.htm>
- [11] JAVORKA, K. et al.: *Lekárska fyziológia*. 4. vyd. Martin: Osveta, 2014. 735 s. ISBN 9788080634070.
- [12] SOCHA, V. et.al.: *Evaluation of the variability of respiratory rate as a marker of stress changes* In: *Transport Means 2014, Proceedings of 18th International Conference : October 23 - 24, 2014, Lithuania, Kaunas University of Technology*, P. 339-342., ISSN 1822-296X.
- [13] JANČKOVÁ, E. et al.: *Chronobiológia od teórie k športovej praxi*. 2. vyd. Banská Bystrica: Belianum.Vydavateľstvo UMB v Banskej Bystrici. 2013, 202 s. ISBN 978-80-557-0634-4.
- [14] OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT: *Biological Rhythms: Implications for the worker* [online]. [cit.2016-03-29] Dostupné na internete: <<http://www.princeton.edu/~ota/disk1/1991/9108/9108.PDF> >

- [15] BENEŠ, L. et al.: *Učebnice pilota*. 2. vyd. Cheb: Svět křídel. 2000. 294 s. ISBN 80-85280-30-2.
- [16] VAJDOVÁ, I. - SZABO, S.: *Zmeny vo výkonnosti pilota spôsobené požitím psychoaktívnych látok*. In: Air Transport 2014, Košice : TU, 2014, s. 162-166., ISBN 978-80-553-1867-7
- [17] OSTER, C.: *The effects of commuting on pilot fatigue* [online]. Washington, D. C.: The National Academy Press. 2011. [cit.2016-03-31] Dostupné na internete: <<http://www.nap.edu/read/13201/chapter/1>>. ISBN 978-0-309-21699-9.
- [18] AVIATION MEDICINE: *Jet-lag and transmeridian flight* [online]. [cit.2017-03-20] Dostupné na internete: <<http://www.pilotfriend.com/aeromed/medical/jetlag.htm>>