



OMEZENÍ SPOLEHLIVOSTI INTERAKCE ŘIDIČE S VOZIDLEM A JEHO TECHNICKÉ, ZDRAVOTNÍ A EKONOMICKÉ DŮSLEDKY

Faber J., Votruba Z., Novák M., Honců M.*

Téměř žádný ze současných dopravních systémů nemůže úspěšně fungovat bez interakce s člověkem. To se týká zejména člověka v úloze řidiče, resp. strojvedoucího či pilota. Pro spolehlivé řízení vozidel je třeba, aby řidič měl jistou minimální míru bdělosti a pozornosti.

U každého člověka však úroveň pozornosti zákonitě klesá v průběhu výkonu služby. Je známo, že plnou pozornost je od lidského subjektu možno očekávat pouze po jistou dobu, v průměru asi po 1 hodinu. Poté dochází k poklesu pozornosti a s tím i k prodlužování reakčního času, zužování zorného úhlu a k vzrůstu pravděpodobnosti chybných reakcí a rozhodnutí. Tento pokles pozornosti nemusí probíhat monotónně, mohou v něm být výkyvy a epizody přechodného zvýšení, nicméně vždy dojde posléze k poklesu pod hranici oblasti přijatelnosti a nakonec i k tzv. mikrosnánku.

Podle zahraničních statistik lze působení faktoru poklesu pozornosti přičítat vinu na 1 až 25 % všech silničních dopravních nehod, které mají velmi rozsáhlé negativní důsledky technické, zdravotní, sociální i ekonomické. V ČR byly celkové náklady silničních nehod za rok 2000 odhadnuty na 41 mld. Kč.

Existují předpoklady, že při dostatečně komplexním přístupu a využití poznatků výzkumu v oblasti spolehlivosti interakce člověk-technický systém je možno nezanedbatelné části těchto ztrát zamezit.

Klíčová slova: Interakce člověk-systém, interakce řidič-vozidlo, důsledky poklesu pozornosti.

1. Úvod

V postupně stále více se integrujícím světě mají mimořádně důležitou roli komunikační a dopravní systémy. I když nárůst jejich významu není monotónní a vyznačuje se různými výkyvy, v úhrnu v průběhu let stále roste a to tím více, čím důležitější informace, větší objem i cena zboží a čím větší počet lidí je přepravován. S tím ovšem rostou také nároky na provozní spolehlivost a bezpečnost těchto systémů, protože poruchy jejich funkce a případné dopravní havárie vedou ke stále narůstajícím škodám. Proto je snaha o minimalizaci těchto škod již poměrně dlouho středem značné pozornosti.

Že se jedná o velmi vážné záležitosti ukazují některé statistické údaje z poslední doby. Tak např. v materiálech ERTICO (viz např. [1]) se uvádí, že ročně na evropských silnicích zahyne při dopravních nehodách asi 40 000 lidí, přičemž celkové škody způsobené dopravními nehodami se odhadují na asi 165 miliard EUR ročně. Pokud jde o Českou republiku, uvádí se, že na našich silnicích je ročně asi 1200 dopravních nehod se smrtelnými úrazy, přičemž ztráty způsobené jedním smrtelným úrazem jsou odhadovány na asi 35 mil.

* Prof. MUDr. Josef Faber, DrSc., doc. Ing. Zdeněk Votruba, CSc., doc. Ing. Mirko Novák, DrSc. (e-mail mirko@fd.cvut.cz), Mgr. Marek Honců, ČVUT FD, LSS, Konviktská 20, 110 00 Praha 1.

Kč v oblasti tzv. primárních škod. Odhad tzv. sekundárních škod je podstatně obtížnější a liší se značně podle použité metodiky, nicméně lze soudit, že sekundární škody nejsou nižší než primární, spíše naopak. Jednoduchý přepočít ukáže, že tyto údaje jsou v podstatě srovnatelné s údaji EU.

2. Interakce s lidským činitelem v dopravních systémech

Žádný ze současných dopravních systémů nemůže fungovat zcela automaticky, bez jakékoliv interakce s lidským subjektem. Působení lidského činitele se v dopravních systémech uplatňuje v celé řadě různých úrovní. Mezi nimi za nejvýznamnější lze považovat:

- a) úroveň řidičů či pilotů,
- b) úroveň dispečerů dopravy,
- c) úroveň supervizorů dopravních systémů,
- d) úroveň cestujících,
- e) úroveň uživatelů,
- f) úroveň okolí,
- g) úroveň vlastníků.

Ad a) Na úrovni řidičů či pilotů dochází k přímému ovládání dopravního prostředku, ať již po celou dobu jeho činnosti, či po její významné úseky. Přes četné pokusy v tomto směru žádný ze současných reálně využívaných dopravních prostředků nefunguje zcela automaticky, snad s výjimkou některých výtahových systémů a experimentálních tratí. Úloha řidiče či pilota je proto dosud nezastupitelná a spolehlivost a bezpečnost výkonu jeho činnosti je pro spolehlivost příslušného dopravního prostředku zcela určující. Přitom jde především o úroveň jeho pozornosti, rychlost reakce, pravděpodobnost správné reakce a šíři spektra vnímaných stimulů (zorný úhel, práh citlivosti a vnímané optické spektrum a též práh slyšitelnosti a vnímané akustické spektrum) a to po celou dobu jeho expozice výkonem příslušné funkce.

Ad b) Na úrovni dispečerů dopravy dochází k vlivu lidského činitele na chod rozsáhlých heterogenních dopravních systémů, které velmi často zasahují s mimořádným významem do života celé společnosti. S hlediska systémového přitom mnohdy heterogenost a autonomie jejich jednotlivých komponent nabývá takového významu, že je na místě uvažovat ne jen o jednotlivých systémech, ale spíše o celých systémových aliancích. Ačkoliv tzv. inteligentním dopravním systémům (IDS či ITS – Intelligent Transportation Systems) je v posledních několika letech věnována velmi značná pozornost, žádný z nich dosud nemůže působit zcela autonomně, bez účasti člověka. Ta může být u některých velmi vyspělých ITS realizována ovšem až na vyšších či nejvyšších úrovních řízení – tím významnější jsou však pak nároky, na spolehlivost a bezpečnost takové interakce kladené. Významným případem takových interakcí jsou zejména systémy řízení a zabezpečení letecké dopravy nebo řízení dopravy v dlouhých silničních tunelech. Operátoři a dispečeré zde působící musí mít poměrně značně vysokou odbornou kvalifikaci a přitom jejich pracovní nasazení musí být zcela soustředěné po dobu mnohahodinové směny (někdy 8 i více hodin). Během tak dlouhého zatížení náročnou a odpovědnou prací se nutně musí dostavit poklesy pozornosti až mikrospánky. Pokud nejsou učiněna potřebná opatření, mohou poklesy pozornosti u dispečerů takových dopravních systémů mít fatální následky (např. loňská tragická srážka letadel ve Švýcarsku či požár v tunelu pod horou Mont Blanc v r. 1999).

Ad c) Na úrovni supervizorů celých dopravních systémů nelze sice očekávat tak dlouhé pracovní nasazení interagujících lidských činitelů jako v případech ad b), závažnost případných chybných či nedostatečně včasných rozhodnutí je zde však mnohem vyšší. Také nároky na koordinační schopnosti příslušných pracovníků jsou zde obvykle velmi vysoké. Mnohorozměrnost a časová proměnlivost jednotlivých kritérií pro hodnocení aktuální situace a volbu opatření adekvátních nastávším situacím je zde velmi značná.

Ad d) Na úrovni cestujících musíme počítat s tím, že máme co do činění s celým spektrem individuálních lidských vlastností, které v této úrovni bývá značně široké. Přitom musíme rozlišovat případy, kdy se mohou uplatnit jisté typické vlastnosti jednotlivce od těch, kdy musíme jistým způsobem charakterizovat očekávané chování jistého lidského celku. Zde se můžeme ovšem setkat s velmi značným rozsahem způsobů charakteristického jednání se silnými regionálními vlivy,

Ad e) Na úrovni uživatelů dopravních systémů se setkáváme též s velmi mnoha různými formami interakce s lidským činitelem. Některé z nich vyplývají z přístupů, jež jsou typické pro jednotlivé profesní skupiny, řidiče, dispečery, operátory řízení provozu, příslušníky policie, zdravotníky, právníky atd. Další jsou charakteristické pro uživatelskou veřejnost obecně. Pokud jde o systémy pozemní dopravy se to týká zejména interakcí s chodci a cyklisty. To platí jak pro silniční, tak pro kolejovou dopravu, pochopitelně jinak ve městech a na volných silnicích a též jinak u tramvajové a u vlakové dopravy. U letecké dopravy se takovéto obecné rysy interakcí týkající se celých skupin cestujících jednak přímo v letadlech samých, jednak jejich kontaktech s odbavovacími a bezpečnostními systémy na letištích uplatňují se zvláštní naléhavostí.

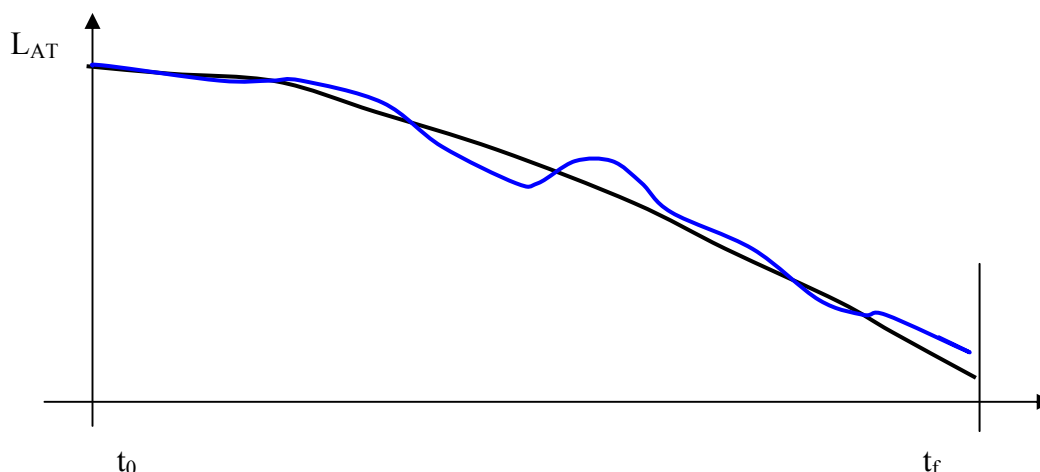
Ad f) Pokud jde o vlivy na okolí a životní prostředí, dopravní systémy interagují s lidskou společností velmi výrazně. Na jedné straně to mohou být interakce pozitivní, kdy rychlá a spolehlivá doprava osob i zboží může značně odlehčit celkovou ekologickou zátěž. Na druhé straně ovšem rostoucí intenzita dopravy, zejména v jejich zastaralých a neadekvátních formách vede často až k dramatické devastaci životního prostředí, zejména co do množství exhalací, hluku, vibrací a míry celkového ohrožení dopravovaných subjektů i okolní společnosti a jejich hodnot.

Ad g) Vlivy vlastníků, ač je v tomto přehledu uvádíme na posledním místě, jsou v mnoha případech dominantní.

Ekonomické problémy způsobují, že vlastníci velmi často zanedbávají diagnostiku, prevenci a údržbu dopravních zařízení. Omezují potřebné inovace nebo přetěžují jak vozidla, tak dopravní cesty. Řidiči i strojvedoucí jsou často ekonomicky donuceni pracovat daleko za mezí únavy. K velmi nepříznivým následkům může dojít, i když řidič je zároveň vlastníkem vozidla. Pak se může ekonomický stres, způsobený soutěží na trhu může kumulovat s únavou řidiče. Odstrašujícím případem může být neštěstí v silničním tunelu pod Taurami v r. 1999 a osud řidiče a majitele kamionu Alfreda Büschingera.

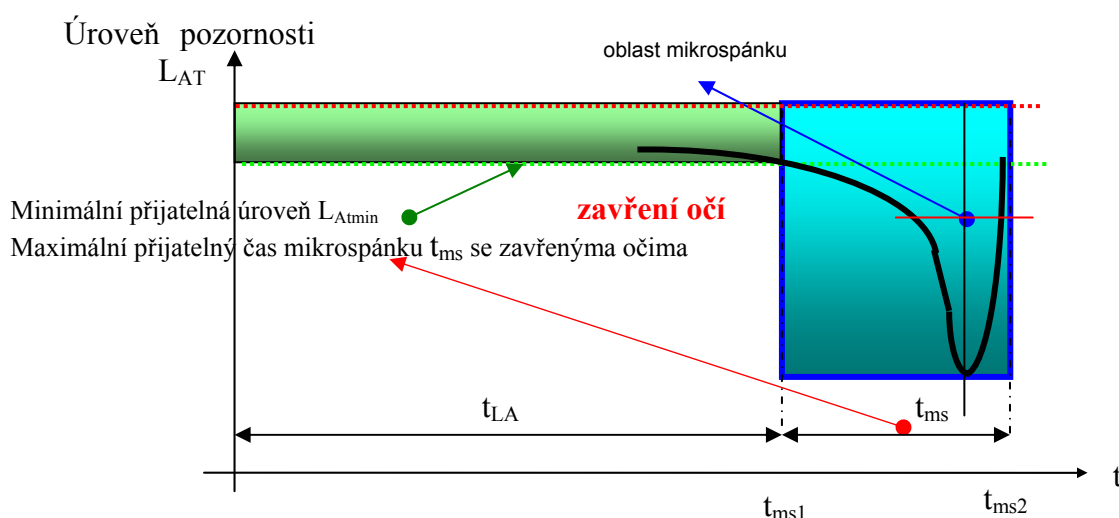
3. Omezení pozornosti lidského subjektu

Úroveň pozornosti každého lidského subjektu zákonitě s průběhem jeho expozice pracovní zátěží klesá, zejména je-li tato mentálního charakteru. To je typické zejména při výše uvedených úrovních a), b) a c). Ve všech těchto případech musíme počítat s tím, že počáteční vysoká pozornost kteréhokoliv lidského subjektu se v průběhu výkonu jeho služby počne měnit a v zásadě snižovat. Tyto změny a celkové snižování úrovně pozornosti mohou nastat již poměrně brzo, obvykle po asi 45 až 60 minutách. Typický průběh pozornosti L_{AT} v čase t při neměnné zátěži je naznačen na obr. 1.



Obr. 1: Příklad skutečné (oscilující křivka) a střední (klesající křivka) úrovně pozornosti L_{AT} lidského subjektu při jeho expozici neměnnou pracovní zátěží mentálního charakteru v průběhu času, t_0 je počátek, t_f konec uvažované zátěžové expozice.

Po jisté době dochází ovšem na takovémto ve své střední hodnotě monotónním průběhu ke zlomu, kdy pozornost příslušného subjektu, vystaveného zátěži prudce poklesne a ten se dostane do stavu tzv. mikrospánku, kdy rychlost jeho reakce již obvykle úroveň pozornosti měříme, poklesne téměř až na nulu – viz obr. 2.



Obr. 2: Schematický průběh poklesu pozornosti a nástupu mikrospánku, t zde značí čas, v němž je úroveň pozornosti L_{AT} sledována.

Mikrospánek, podobně jako spánek vůbec je *velmi složitým neurofyziologickým jevem*, k jehož úplnému objasnění zbývá ještě mnoho výzkumné práce. Procesy spánku, usínání, vědomí a pozornosti jsou silně individuální a ovlivnitelné nejen geneticky, ale též celkovým vývojem jednotlivce, jeho výchovou a výcvikem, fyzickou i psychickou kondicí i působením požití stravy či farmak.

Předpokládejme pro jednoduchost, že úroveň pozornosti lidského operátora může být měřena nějakou reálnou mírou L_{AT} a vyjádřena odpovídajícím reálným číslem.

Tento předpoklad musí být doplněn respektováním několika dalších faktorů, u nichž zejména následující dva lze považovat za podstatné:

a) minimální přijatelná úroveň L_{ATmin} mentální pozornosti lidského organismu L_{AT} silně závisí na požadavcích, jež je nutno zajistit pro daný systém lidský operátor - umělý systém;

b) nežádoucí pokles pozornosti až mikrosпánek může být ohodnocen zejména podle jeho celkové délky t_{ms} a jeho intenzity, měřené hloubkou rozdílu aktuální hodnoty pozornosti L_{AT} oproti minimální její přijatelné hodnotě L_{ATmin} .

Na obr. 2 je schematicky naznačena situace, kdy dochází k postupnému přechodu mezi mikrosпánkem s otevřenýma (světlejší oblast) a se zavřenýma očima (tmavší oblast). Šedý stín znázorňuje intenzitu (sílu, hloubku) mikrosпánku. Rychlost přechodu mezi oběma těmito fázemi může být rozličná a mohou být též případy, kdy proběhne pouze mikrosпánek s otevřenýma očima. Ten je obvykle předzvěstí mikrosпánku s očima zavřenýma. V takovémto stavu je organismus ještě stále bdělý, ale jeho pozornost značně klesá (snižuje se, oslabuje) a doba reakce se prodlužuje. Také pravděpodobnost správného a rychlého rozhodnutí se výrazně klesá. Proto i tento stav může být velmi nebezpečný. Může trvat značně dlouho a přestože vlastní pozornost operátora je v takovéto situaci stále ještě v rozmezí přijatelné úrovně ($L_{ATmin} \leq L_{AT}$), mohou se zcela změnit ostatní významné parametry (markery) pozornosti a tím silně degradovat schopnost prakticky řídit svěřený umělý systém.

4. Ekonomické důsledky dopravních nehod

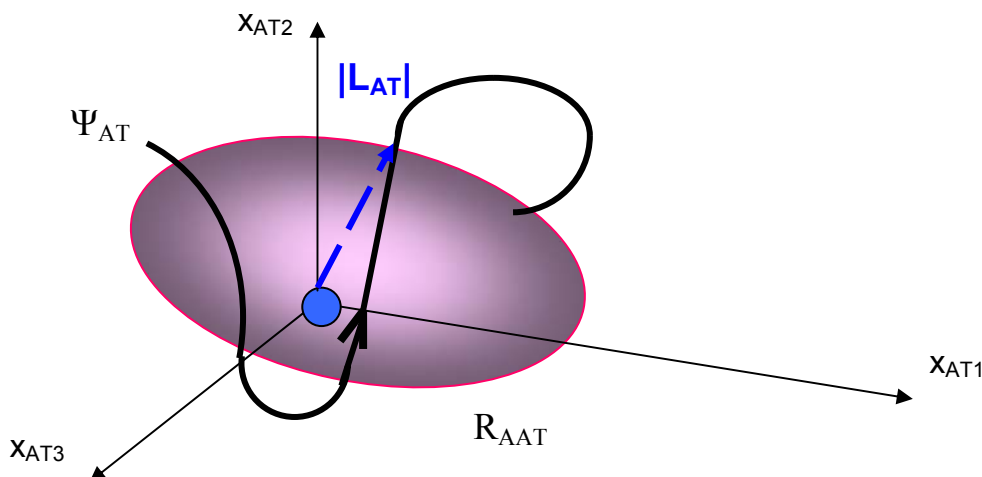
Dopravní nehody, zvláště silniční, mají rozsáhlé ekonomické dopady (viz [6]), jejich celkové náklady jsou odhadovány na procenta HDP příslušné země a zejména jejich subjektivní následky je těžké vůbec finančně vyčíslit. V České republice se tato položka nákladů oceňovaných obvykle metodou ochoty platit dosud nezapočítává, podle výsledků různých zahraničních studií se jejím zahrnutím celkové náklady cca zdvojnásobují (viz [4]).

Zahraniční analýzy uvádějí (viz [3]), že přibližně 1-25 % všech nehod lze přičítat vlivu snížené pozornosti vlivem únavy řidičů. V jedné z nedávných studií (viz [5]) z Anglie autoři došli k odhadu podílu 16 % všech nehod vlivem únavy, na sledovaných dálnicích činil však tento podíl zhruba 30 % všech nehod. Za určitých okolností – na dálkových komunikacích, v nočních hodinách, u mladistvých řidičů, u nehod těžkých nákladních vozidel nebo u nehod se smrtelnými následky jsou tyto podíly obecně větší, až okolo 50 % (viz [7]). Navíc nehody způsobené únavou mají (podobně jako ty pod vlivem alkoholu nebo jiných látek) těžší následky a často končí smrtelně (viz [8]). Značný rozptyl odhadů počtu těchto nehod je dán tím, že je není snadné identifikovat, spolehlivá metodika dosud neexistuje a systematicky se tato příčina stále ještě nesleduje.

V ČR se podobné analýzy také dosud neprovádějí, výskyt a náklady těchto nehod lze tedy odhadovat jen velmi přibližně. Celkové, tzv. společenské náklady všech silničních nehod byly u nás pro rok 2000 vyčísleny na 41 mld. Kč (viz [2]). Použijeme-li hodnotu podílu nehod způsobených poklesem pozornosti na celkovém počtu nehod 15 % a uvažíme-li vyšší závažnost těchto nehod a podceňování nákladů, dostáváme pro ČR velmi hrubý odhad nákladů silničních dopravních nehod způsobených vlivem únavy a nedostatečnou úrovní pozornosti řidičů okolo 10 mld. Kč ročně. Pro srovnání uvedme, že pod vlivem alkoholu bylo v ČR zaviněno v roce 2000 „jen“ 4,4 % všech nehod (ovšem s podílem 8 % na počtu smrtelně zraněných) s odpovídajícím odhadem nákladů ve výši několika miliard korun.

5. Možnosti detekce a predikce poklesů pozornosti

Soubor všech N_{AT} , parametrů x_i , reprezentujících pozornost lidského operátora, vytváří vícerozměrný prostor $\{X\}_{AT}$. Pozice vektoru pozornosti X_{AT} , v tomto prostoru reprezentuje kvalitu pozornosti jednotlivého operátora. Všechny parametry pozornosti závisí na čase t . Ve směru toku času t vektor $X_{AT}(t)$ sleduje jistou N_{AT} -dimenzionální trajektorii $\Psi_{AT}(t)$, kterou zde budeme nazývat křivka pozornosti (pro zidealizovaný případ $N_{AT} = 3$ je křivka zobrazena na obr. 3).



Obr. 3: Zidealizovaný případ křivky pozornosti $L_{AT}(t)$ v třírozměrném prostoru $\{X\}_{AT}$.

Všechny body $X_{AT}(t)$, které odpovídají přijatelné kvalitě pozornosti, vyplňují jistou oblast prostoru $\{X\}_{AT}$, nazývanou oblastí přijatelné pozornosti R_{AAT} . Tvar a velikost R_{AAT} závisí na individualitě operátora a na jednotlivých požadavcích vzájemného působení člověka a systému.

Protože potřebná analýza R_{AAT} a $L_{AT}(t)$ ve vícerozměrném prostoru $\{X\}_{AT}$ pro $N_{AT} > 3$ může být velmi pracná, snažíme se toto číslo minimalizovat. Pro účely takové redukce jsou vybírány a analyzovány nejvýznamnější parametry (markery) jednotlivých $\{X\}_{AT}$. Určité hodnoty míry vlastností takového zjednodušeného souboru markerů mohou pak být použity pro reprezentaci úrovně pozornosti L_{AT} .

Zde budeme uvažovat následující čtyři hlavní markery pozornosti:

- délku poklesu pozornosti pod daný limit, resp. délku mikro-spánku $t_{MS} = t_{ms2} - t_{ms1}$;
- rychlost reakce $s_r = RT^{-1}$ lidského operátora ve stavu poklesu pozornosti, resp. mikrosopánku s otevřenými očima na neočekávané situace,
- nejširší úhel α_{ob} v jakém může být pozorována daná scéna při předpokládaném mikro-spánku s otevřenými očima
- pravděpodobnost P_{cr} správné reakce lidského operátora na jistou neočekávanou situaci.

Všechny tyto čtyři markery, jenž budeme nazývat primárními markery pozornosti, mohou být měřeny jako reálné hodnoty t_{MS} , s_r , α_{ob} a P_{cr} , a mohou být považovány za dostatečné pro úvodní popis a klasifikaci úrovně pozornosti.

Proto pro praktické účely mnohde dáváme přednost skalárnímu vyjádření úrovně pozornosti, např. výrazem

$$L_{AT} \approx RT^{-1} P_{cr} \alpha_{ob} / t_{MS} \dots\dots\dots(1).$$

Zanedbáme-li dobu trvání poklesu pozornosti, resp. mikrospánku a zorný úhel, dojdeme k dalšímu zjednodušení na

$$L_{AT} \approx RT^{-1} P_{cr} \dots\dots\dots(2),$$

případně v krajním přiblížení na

$$L_{AT} \approx RT^{-1} \dots\dots\dots(3).$$

Jako jedna z vhodných maximálně zjednodušených měr pozornosti operátora L_A se tedy jeví převrácená hodnota jeho reakční doby RT (z anglického „Reaction Time“).

Hodnota RT je měřena jako časový interval, který uplyne od začátku působení příslušného stimulu (většinou vizuálního či akustického, někdy jejich současnou kombinací, výjimečně i jiného) do ukončení odpovídajícího reakčního pohybu probanda.

Predikce průběhu poklesu pozornosti a nebezpečí vzniku mikrospánků musí být aplikovatelná přímo na palubě či na velínu příslušného řídicího systému. Klasifikátory a prediktory pro ni sloužící jsou nutně silně individuální a je třeba po jistém čase je testovat a aktualizovat. Výsledek klasifikace pozornosti daného jednotlivce a predikce jejího případného poklesu pod přípustnou mez bude stimulem pro zahájení činnosti varovacího systému, který jednak vhodným způsobem upozorní daného operátora (řidiče) na nastávající situaci a nebezpečí z ní vyplývající, jednak o ní bude informovat příslušné řídicí středisko.

Na palubě vozidla je možno za provozu uskutečnit použitelnou detekci úrovně pozornosti lidského operátora řadou různých způsobů.

Výzkumy posledních let však ukázaly, že:

- jedním z neúčinnějších prostředků pro detekci, analýzu a predikci očekávaného vývoje stavu bdělosti a pozornosti lidského činitele, operujícího s jakýmkoliv umělým, zejména technickým systémem je rozběr elektromagnetického pole, vyzařovaného celým rozsáhlým souborem nervových drah v mozku, zejména pak drah mezi cortexem a thalamem;
- existují i jiné biologické signály, které lze považovat alespoň z části za signifikantní – tj. za tzv. markery pro podobný účel. Mezi ně patří zejména frekvence mžikání očních víček, vibrace rukou na ovládacích systému (volantu, řídicí páce apod.), elektrický odpor a teplota pokožky, výraz obličeje, teplota dechu, charakteristiky chování řidiče jako součásti řídicího (regulačního) systému;
- většinu těchto markerů, s výjimkou posledně jmenovaného, je však nutno považovat za markery sekundární, podpůrné, protože indikace sledovaného jevu z nich jednak není dostatečně specifická, jednak se mohou projevovat s jistým, někdy i velmi značným (až několikaminutovým) zpožděním;
- analýzu elektromagnetického pole vyzařovaného mozkem je možno provádět buď na základě jeho magnetické či elektrické složky. Výsledky jsou víceméně rovnocenné, nicméně měření magnetické složky tohoto pole je mnohem obtížnější.

Na základě toho se výzkum výše zmíněné problematiky soustředil především na detekci a analýzu tzv. elektroencefalografických signálů (dále jen signály EEG).

Měření EEG signálů se sice v medicínské praxi provádí již dlouho, samo je však poměrně obtížné, protože je třeba snímat elektrické potenciály o poměrně velmi malé amplitudě v oblasti velmi nízkých kmitočtů a vyrovnat se přitom s proměnlivým elektrickým odporem mezi pokožkou a elektrodou. Ten se mění s fyzickým a psychickým stavem probanda (měřeného lidského subjektu), s parametry vnějšího prostředí i s časem.

Dále je třeba na hlavě nalézt taková místa, kde je měření dostatečně málo ovlivňováno rušivými signály (v medicínské terminologii tzv. artefakty), produkovanými zejména pohyby obličejových a hlavových svalů i pohyby očí. Lze soudit, že pro účely detekce, analýzy a případné predikce poklesů pozornosti a nástupu mikrosopánků k tomu budou vhodné zejména partie hlavy za ušima. Tam lze též očekávat menší potíže s vlasovou pokrývkou hlavy.

Vážným problémem však zůstává vyřešení techniky snímání tak, aby měření bylo možno konat po dostatečně dlouhou dobu i za provozu v pohyblivém se dopravním prostředku. Podstata tohoto problému není v případných rušivých signálech technického charakteru – dosavadní zkušenosti z měření v jedoucím autě ukázaly, že toto lze poměrně dobře překonat. Rovněž vyvinutá převozná elektronická zařízení se ukázala přijatelně spolehlivá a použitelná.

Hlavní část problému tkví v tom, že dosud je nutno používat kontaktních elektrod, jejichž spolehlivá instalace na hlavu pokusné osoby, tzv. probanda je zdlouhavá, pracná a elektrody pochopitelně probanda obtěžují.

Ideálním řešením by tedy bylo bezkontaktní snímání. Dosavadní diskuse s odborníky z oblasti fyziky však vedou k názoru, že takové řešení, ať již orientované na elektrickou či na magnetickou složku mozku vyzařovaného elektromagnetického pole, je někde na hranici současných možností, zejména, mělo-li by se jednat o mobilní a cenově dostupné řešení. Pokud je tento názor správný, bude třeba se vyrovnat s potřebou vytvořit lehké a po dostatečně dlouhou dobu (alespoň nepřetržitě několik hodin) použitelné kontaktní elektrody, které by byly na hlavu probanda snadno instalovatelné (např. v podobě speciálních brýlí, sluchátek, čelenky či u vojenských pilotů doplněním standardní přilby), probanda by příliš neobtěžovaly a z nichž by snímané signály byly do palubního záznamového a analytického zařízení přenášeny bezdrátově (půjde pouze o vzdálenost 1 až 1,5 m).

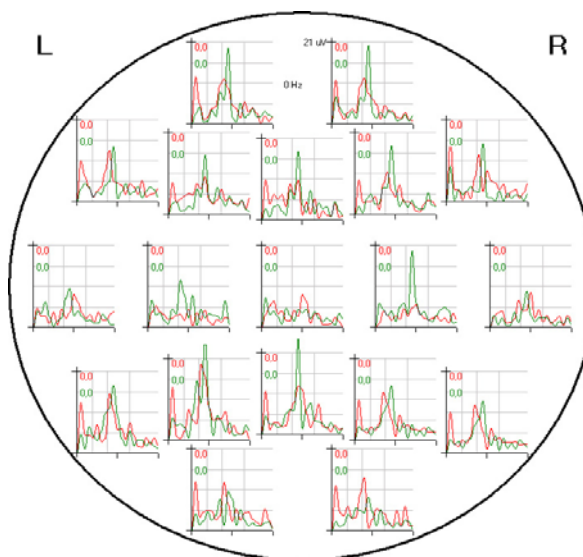
Další problém představuje sám charakter snímaných signálů. Jak jsme již uvedli, jsou příslušné časové řady v podstatě kvazi-periodické a kvazi-stacionární. Konvenční metody spektrální analýzy lze na ně uplatnit tedy pouze za předpokladu, že neočekáváme přesný a reprezentativní výsledek. Standardní a dosud velmi rozšířené metody Fourierovy spektrální analýzy jsou zejména v neurologii sice používány pro rozbor naměřených časových řad již velmi dlouho a lékařští experti z jejich výsledků dokážou získat řadu cenných poznatků, ty však jsou dosahovány převážně zásluhou jejich zkušeností, invence a talentu.

Jednotlivá takto získaná pseudo-spektra jsou ve skutečnosti navzájem těžko porovnatelná a lékařští experti často přitom ani nevědí (resp. nemohou vědět, neboť firmy vyrábějící EEG analyzátoři to vesměs neuvádějí) na základě jaké metody spektrální analýzy jejich přístroj pracuje.

Nicméně i tak se podařilo získat základní obecný náhled na souvislost vývoje některých charakteristických komponent takových pseudo-spekter a jednoho z hlavních markerů poklesu pozornosti a nástupu mikrosopánku, za nějž lze považovat reakční dobu.

Od r. 2000 bylo provedeno několik více desítek měření časových řad EEG signálů různých probandů a byla analyzována jejich pseudo-spektra a to zejména se zřetelem k jejich souvztáženostem k současně měřeným reakčním dobám těchto probandů.

Příklad pseudo-spekter, získaných v daném případě Gaborovskou filtrací s polynomiální filtrační funkcí 50-tého stupně je na obr. 4.



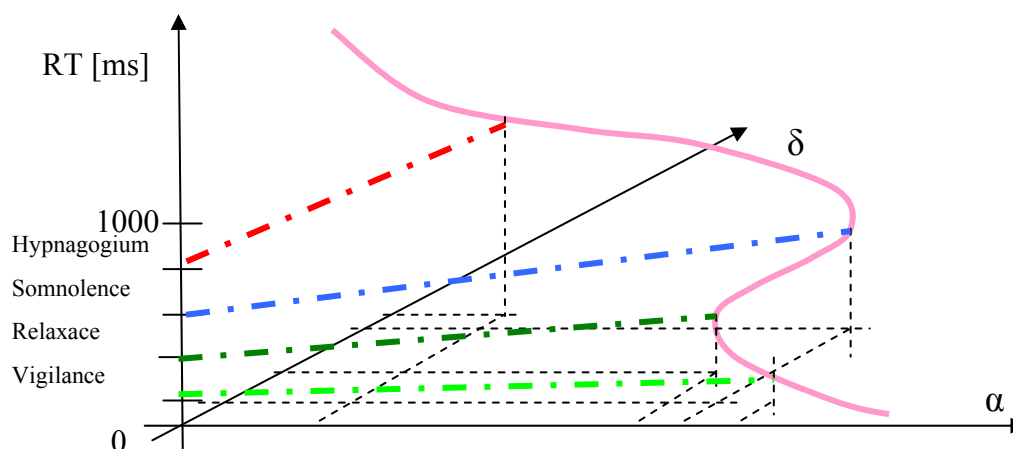
Obr. 4: Příklad pseudo-spekter EEG signálů pokusné osoby, získaných Gaborovskou filtrací. L značí levou, R pravou stranu při pohledu na hlavu shora.

Ze získaných poznatků lze soudit, že pro identifikaci poklesů pozornosti probanda a nebezpečí nástupu mikrosněpánku jsou dominantní zejména frekvenční pásma jejich pseudo-spekter, označovaná v medicínské terminologii jako α a δ .

Na obr. 5 je naznačen principiální vztah mezi komponentami α a δ pseudo-spektra EEG signálu, změřeného na hlavě probanda a jeho reakčním časem RT.

Při tom byla úroveň pozornosti klasifikována takto:

- reakční doba RT od 200 ms do 400 ms....vigilance, tj. plná pozornost,
- reakční doba RT od 400 ms do 600 ms... relaxace, tj. uvolnění s nastupující únavou,
- reakční doba RT od 600 ms do 800 ms... somnolence, tj. ospalost
- reakční doba nad 800 ms...hypnagogium, tj. usínání, případně mikrosněpánek.



Obr.5: Závislost mezi reakčním časem probanda a komponentami α a δ pseudo-spektra jeho EEG signálů.

Hranice jednotlivých těchto fází poklesu pozornosti jsou ovšem empirické a do jisté míry diskutabilní. Reakční doba byla přitom měřena elektronicky jako rozdíl časů mezi začátkem stimulačního signálu a časů, v nich na ně proband reagoval stisknutím páky, na níž měl položenou pravou ruku. Stimulační signály byly přitom generovány v náhodných okamžicích.

I u zdravých a odpočínutých jedinců se na počátku měření podařilo dosáhnout reakční doby pod 200 ms jen zcela výjimečně. S postupujícím časem měření (seance pro jednoho probanda trvala obvykle asi 45 minut) se počal projevovat nástup únavy a hodnoty RT se prodlužovaly, většinou 3 až 4-krát. Po prodloužení hodnot RT nad 800 až 1000 ms proband usínal (hodnota RT by se prodloužila mnohonásobně až do jeho probuzení). U odpočínutých, mladých a zdravých probandů může však čas, potřebný k dosažení tohoto stavu být velmi dlouhý.

Lze soudit, že dalším rozvinutím výše uvedeného přístupu bude možno vytvořit prakticky použitelný nástroj pro výrazné omezení nebezpečí a ztrát s poklesy pozornosti operátorů (zejména řidičů) dopravních prostředků spojené.

Literatura

- [1]...Konference IDS, Praha, 5. a 6. 3.2003
- [2]...CDV, 2001: Ekonomické ztráty způsobené nehodovostí v silničním provozu v ČR za rok 2000, CDV, Brno, (<http://www.cdv.cz/text/oblasti/bsp/ekoztr.htm>),
- [3]...Connor J. et al., 2001: The role of driver sleepiness in car crashes: a systematic review of epidemiological studies, *Accident Analysis and Prevention* 33, pp. 31-41,
- [4]...Elvik, R., 2000: How much do road accidents cost the national economy?, *Accident Analysis and Prevention* 32, č. 2, pp. 849-851,
- [5]...Horne J. A., et al., 1999: Sleep-Related Vehicle Accidents on Sections of Selected Trunk Roads and Motorways in the UK (1995-1998), Road Safety Research Report No. 22, Department for Transport, London,
- [6]...Kinnock, N., 1996: K správnému a efektivnímu stanovení cen v dopravě, 1996: Zelená kniha ES, Nakladatelství dopravy a turistiky, Praha,
- [7]...Miller J. C. et al., 1996: Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study, Report No. FHWA-MC-97-002, Federal Highway Administration, Washington, D.C.,
- [8]...Philip P. et al., 2001: Fatigue, alcohol and serious road crashes in France: factorial study of national data, *British Medical Journal* 322, pp. 829-830.