



IDENTIFIKACE A MONITOROVÁNÍ ÚNAVY U ŘIDIČŮ

Petr Vysoký

Příspěvek se zabývá výzkumem únavy u řidičů. Cílem je nalézt vhodné veličiny, které nesou informaci o únavě řidiče. Je stručně ukázáno jaké jsou druhy únavy, kde se únava projevuje a jak se mění s časem. Hlavním cílem předložené práce je ukázat, že pohyby volantu nesou dostatečnou informaci o stavu řidiče pokud jde o únavu. Na závěr jsou uvedeny některé konkrétní výsledky.

Klíčová slova: únava, monitoring, dynamika řidiče, indikátory únavy.

Úvod

Podle policejních statistik v roce 2001 došlo na našich silnicích k 185 664 dopravním nehodám, při nichž zahynulo 1219 osob, 5493 osob bylo zraněno těžce a 28 297 bylo zraněno lehce. Hmotné škody, které při tom vznikly se odhadují na 8,24 miliard Kč. (Tesařík J. a Sobotka P. 2002) Naprosto převládající většinu uvedených dopravních nehod má na svědomí lidský faktor. Podle odhadu a zkušeností v celosvětovém měřítku 30% uvedených nehod je způsobeno únavou řidiče. To je hlavní důvod, proč je třeba monitorovat průběžně únavu řidiče. Současné moderní automobily, mohou průběžně testovat správnou funkci všech důležitých subsystémů, takže se skutečně stává nejslabším článkem lidský operátor – řidič. Lidský operátor při řízení automobilu pracuje převážně jako regulátor pro řízení směru a rychlosti vozidla.

Vynikající vlastnosti lidského operátora nejsou při takovéto činnosti příliš využity a pokud cesta trvá dosti dlouho, začnou se jeho vlastnosti postupně zhoršovat, dochází k poklesu jeho pozornosti, prodloužení reakční doby, poruchám vidění a celé řadě dalších nepříznivých změn jeho vlastností, které mohou vyvrcholit úplným přerušením jeho činnosti, upadnutím do mikrosněpku. Toto postupné zhoršování schopností řidiče budeme označovat jako růst únavy, i když to není označení zcela přesné.

Většinou jsme zvyklí rozlišovat únavu fyzickou, jako následek velkého vynaložení tělesné energie a únavu mentální, ke které může dojít aniž vynakládáme velkou tělesnou energii například nedostatkem spánku. V obou případech máme dobré důvody se domnívat, že vznik únavy je spojen se změnou koncentrace některých nervových mediátorů, a že se tedy účinky únavy budou projevovat jednak v centrálních strukturách v mozku a míše a dále v nejvíce inervovaných svalech. Takže únava se bude projevovat mnoha různými způsoby od zhoršeného usuzování, přes sníženou koncentraci, pomalejší reakce, pomalejší oční pohyby, pomalejší, či někdy rychlejší korekční pohyby volantu až po mikrosněpek.

Opět máme empiricky doloženo, že tyto změny narůstají postupně. Z toho vycházejí všechny snahy o monitorování únavy řidičů. Odhalit včas tyto změny a varovat řidiče, že únava dostoupila jisté kritické hodnoty a při dalším pokračování v jízdě může dojít k mikrosněpku.

Cílem většiny pracovišť, které se zabývají otázkou monitorování únavy řidičů je, na základě měření nějakých fyziologických veličin měřených na řidiči, nebo na základě fyzikálních veličin popisujících dynamiku automobilu, které jsou ovlivněny činností řidiče, odvodit nějaké ukazatele nesoucí informaci o únavě, tak zvané indikátory únavy.

Aby nebylo nutno na řidiče nic připojovat, většina světových výrobců se orientuje na snímání očí pomocí kamery a následné analýze očních pohybů metodami zpracování obrazů. Okohybné svaly jsou nejlépe inervované svaly a veškeré změny v inervaci svalových motorických jednotek se na nich nejlépe projeví. Tento přístup slibuje mnohé další výhody. Pro každého člověka je rozložení cév na pupile individuální jako papilární linie a umožňuje to navrhnout velmi spolehlivý elektronický „zámek“, který pozná svého majitele. Dále alkohol a mnohé drogy vyvolávají rozšíření těchto cév, takže by bylo možno již při nasednutí identifikovat, že řidič je pod vlivem alkoholu či drog. (Hamlin R. P. 1995). Přes intenzivní výzkum se stále v tomto směru naráží na velmi podstatné problémy.

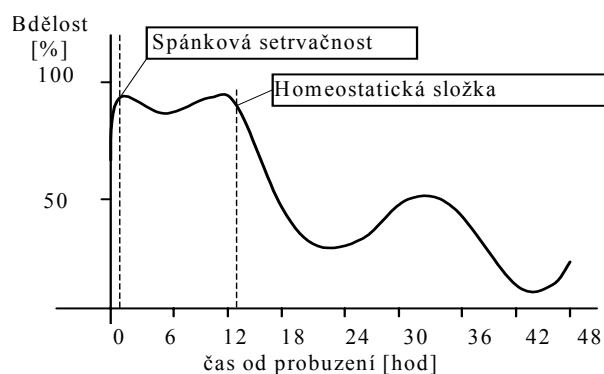
Další skupinou nejlépe inervovaných svalů po obličejových a okohybných svalech jsou svaly ruky, kterou řidič ovládá volant. Dá se předpokládat, že by se zde mohly objevit stejné efekty jako u okohybných svalů a že by bylo možno získat informace o únavě analýzou pohybů volantu. Tímto problémem se budeme zabývat dále.

Jak měřit únavu

Jediný způsob jak je možno objektivně měřit únavu je pozitronová emisní tomografie (PET). Jenže PET je unikátní diagnostická technika vyžadující specializované laboratorní vybavení a není reálné jí použít pro zkoumání únavy řidičů. Všechny ostatní způsoby měření únavy jsou založeny na nepřímých metodách, kdy se vlastně sledují nějaké projevy únavy. Přehled nepřímých metod je uveden např. v (Vysoký P. 2001). Je celá řada psychologických testů, které umožňují stanovit stupeň únavy. Nevýhodou těchto testů je, že se prakticky nedají provádět kontinuálně a že přerušení jízdy nutné na provedení testu okamžitou únavu výrazně ovlivní. Poznamenejme v této souvislosti, že místo únavy se často používá inverzní veličina charakterizující stupeň bdělosti či čilosti (alertness) zkoumaného řidiče. Pro snahy o zachycení dynamiky únavy lze prakticky použít pouze metody odhadu a to jednak subjektivního odhadu samotného řidiče a jednak expertního odhadu na základě chování řidiče. V našem případě byl pro referenční účely použit expertní odhad. Tvář řidiče byla snímána videokamerou, získaný záznam byl rozdělen na segmenty o délce jedné minuty, tyto segmenty byly náhodně uspořádány a byly hodnoceny deseti experty podle několika příznaků. Experti hodnotili únavu verbálně do pěti tříd a výsledný odhad byl získán fuzzy váženou agregací jednotlivých hodnocení. Podrobnější popis použité metody lze nalézt v (Vysoký P. 2000),

Únava řidiče je velmi závislá na počátečních podmínkách. Nezávisí ani tolik na délce jízdy, jako na spánkové historii řidiče a době ve které byla jízda podniknuta vzhledem k cirkadiálním rytmům řidiče. Tyto dva faktory zásadně ovlivňují dynamický průběh únavy. Nejdůležitější vlivy jsou zřejmé z obr. 1 podle (Jewett M. E. and Kronauer R. E. 1999). Pokud řidič spal osm hodin, jeho bdělost je zpočátku ovlivněna spánkovou setrvačností, jejíž trvání je individuální. Pak je bdělost zhruba konstantní s odpoledním poklesem (mnohem výraznějším u starších řidičů) a zhruba po dvanácti hodinách začne exponenciálně klesat. (Tzv. homeostatická složka). Na tuto homeostatickou složku se superponují cirkadiální rytmy, se zhruba sinusovým průběhem.

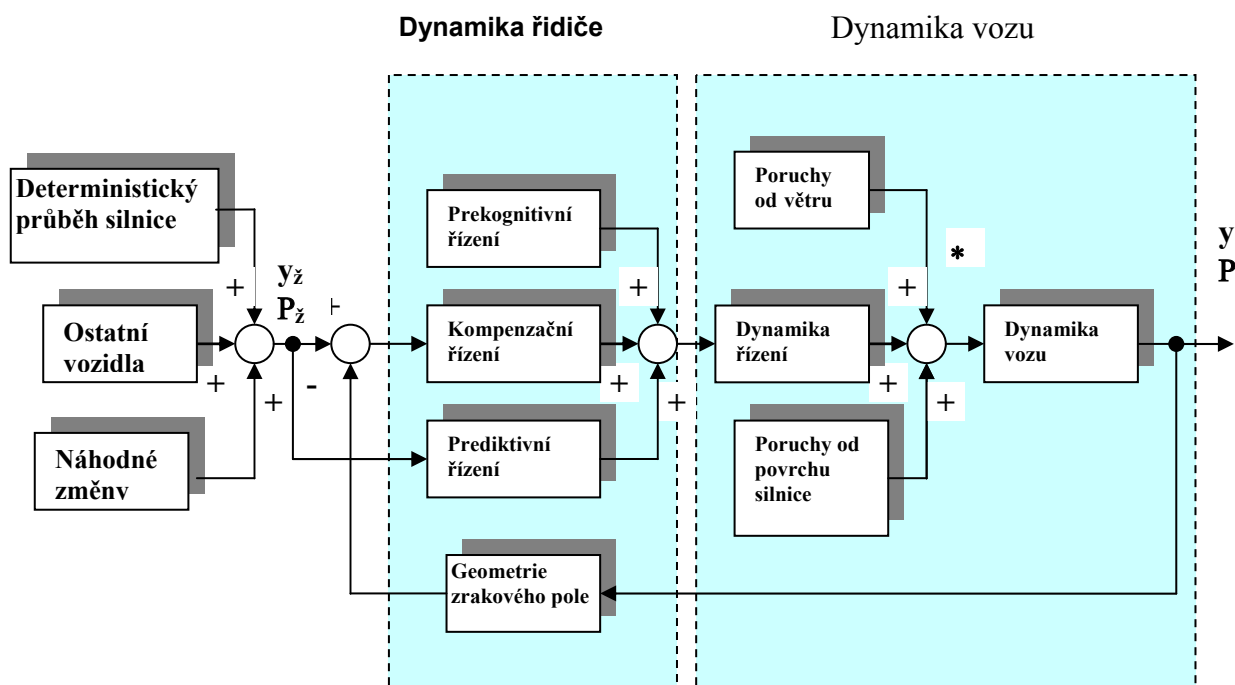
Uvedení autoři vytvořili velmi dobrý matematický model průběhu únavy (či bdělosti), který zahrnuje i nelinearity způsobené synchronizací cirkadiálních rytmů na světlo. Což má význam pro dálkové jízdy, kdy řidič překračuje několik časových pásem.



Obr. 1 Průběh únavy v čase

Pohyby volantu a únava řidiče.

Chování řidiče je velmi komplexní proces, ve kterém můžeme rozlišit několik hierarchických úrovní. jde o tzv. exekutivní (regulační úroveň), koordinační úroveň (řízení založené na pravidlech) a organizační úroveň (řízení založené na znalostech). (Rasmussen J. 1983), (Saridis G. N. 1989). My se budeme zabývat jen úrovní regulační. Existuje řada modelů, které různým způsobem formalizují činnost řidiče jako regulátoru. Nejlépe pro naše účely vyhovuje model McRuerův (Weir D. H. and McRuer D. 1970). Blokové schema modelu je na obr. 2. Zabýváme se zde jen řízením směru, nezabýváme se „podélným řízením“, tedy řízením rychlosti. Z tohoto pohledu řidič pomocí volantu řídí směr vozidla P a polohu vozidla vzhledem k ose dopravního pruhu y .



Obr. 2. Blokové schema řidiče jako regulátoru.

K tomu využívá tří typů regulátorů. Směr řídí pomocí prediktivního regulátoru, který dostává informaci o tom jak vypadá cesta několik desítek metrů před vozidlem. Polohu řídí zpětnovazebním regulátorem, na základě vizuální informace o tom, jaká je poloha vozidla vzhledem k ose dopravního pruhu či vzhledem k dělicímu či krajnímu pruhu. Další složka

řízení je tzv. prekognitivní složka, což je přímé řízení, spočívající ve vyvolání pevného programu - předem naučeného manévru. (například změna pruhu, či zaparkování na kraji vozovky a pod.)

Pro možné zjišťování únavy je nejzajímavější zpětnovazební regulátor polohy. Chování řidiče jako zpětnovazebního regulátoru se dá aproximovat pro malé odchylky lineárním modelem, který odpovídá proporcionálně - derivačnímu regulátoru se zpožděním prvního řádu a s dopravním zpožděním. Přenos tohoto regulátoru se většinou uvádí ve tvaru:

$$R_y(p) = \frac{Ke^{T_r p}(T_A p + 1)}{(T_L p + 1)(T_N p + 1)}$$

Kde K je zesílení, které se mění se od +35dB do -12dB, T_r je reakční doba (0,12s – 0,3s), T_A je prediktivní časová konstanta (0 – 2 s), T_L je čas. konstanta vyhlazování chyb (0 – 2,5 s) a T_N je neuromuskulární časová konstanta (0 – 0,67 s).

Dynamika vozidla je poměrně složitá, a nemůžeme se ji zde detailně zabývat, lze odkázat např. na: (Hessburg T., Peng H. et al. 1991) Pro nás je důležité, že lineárním modelem je astatická soustava s astatizmem druhého řádu. Jinak řečeno poloha vozidla vzhledem k ose pruhu je dvojnásobným integrálem úhlu natočení kol a tedy volantu. Jakákoli nenulová odchylka od natočení kol do přímého směru se tedy neustále integruje a způsobuje odchylku od osy pruhu i při jízdě po přímé silnici. Řidič se samozřejmě nechová jako lineární systém. Zcela jistě má určité pásmo necitlivosti. Tzv. „complacency zone“, pásmo ve kterém toleruje odchylku od osy pruhu a teprve po vybočení z tohoto pásma provede regulační zásah na odstranění odchylky. Řidič musí tedy i na rovné silnici dělat neustále malé korekční pohyby volantu (menší než \forall 3 uhlivé stupně, měřeno na volantu).

Jak jednotlivé časové konstanty, tak dopravní zpoždění (které tvoří hlavní složku měřené reakční doby) se s únavou mění.

Indikátory únavy

Naším cílem je nalézt nějaké funkcionály průběhu signálu natočení volantu, které nesou informaci o únavě řidiče. Tyto příznaky či ukazatel nazýváme podle klasika tohoto oboru prof. Wierwilla indikátory únavy. (Wierwille W. W. et al 1994). Ukazatele mají zachycovat jednak globální jevy, celkovou nebo primární únavu řidiče, jednak dynamické jevy, jako jsou špičky únavy (vlny). Jak většina řidičů zná z vlastní zkušenosti, tyto vlny přicházejí s jistou periodicitou, typická hodnota je 10-20 min. Vhodnost ukazatele budeme posuzovat podle následujících kritérií.

Monotonicita: Průměr ukazatele pro unaveného řidiče je větší než průměr ukazatele pro čerstvého řidiče.

Trend: Lineární trend ukazatele souhlasí s lineárním trendem odhadu co do znaménka směrnice. Zde máme na mysli dlouhodobé trendy, v časových horizontech desítek minut až hodin. V případě většiny dat, která jsou k dispozici jde o trend celého experimentu, tedy většinou cesty tam i zpět.

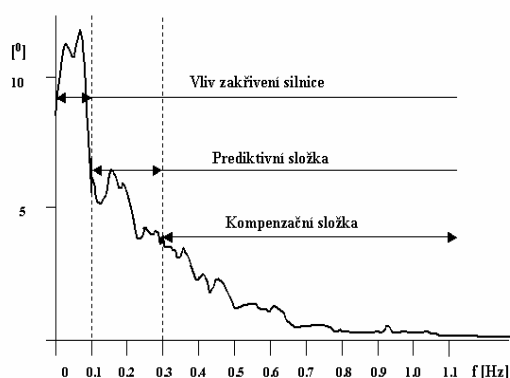
Extrémy: Ukazatel zachycuje dynamické změny únavy (špičky rychlého nárustu či poklesu). Pokud jde o monotonicitu, je to jediné kritérium, u kterého není zapotřebí expertní odhad. Unavený řidič je míněn řidič s 24 hodinovou spánkovou deprivací, ne po hodině jízdy, kdy může z důvodů circadianích rytmů dojít k poklesu únavy.

Pro hledání indikátorů je v první řadě třeba se zbavit nežádoucích složek signálu. V první řadě se potřebujeme zbavit vlivů silnice. V tom nám pomůže zkoumání spektra malých pohybů volantu. Typické spektrum pohybů volantu je na obr. 3. Jak je zřejmé, většina

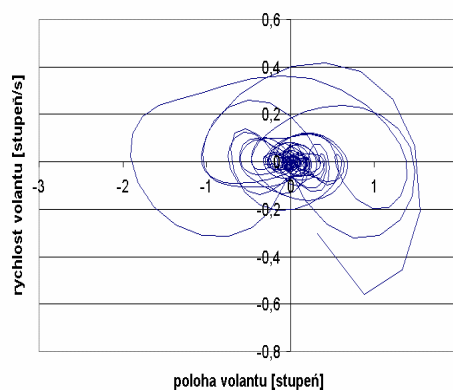
dynamických změn vyvolaných změnou směru silnice (a do značné míry i předjíždění) se pohybuje ve frekvenčním pásmu do 0,1 Hz. Tato nízkofrekvenční složka je pro nás z hlediska vlivu únavy nežádoucím šumem a musíme ji odfiltrovat. „Středofrekvenční“ pásmo od 0,1 Hz do 0,3 Hz nese informaci o činnosti prediktivního regulátoru. Nejvýraznější změny vyvolané únavou jsou právě u zpětnovazebního regulátoru a to je tedy ve „vysokofrekvenčním“ pásmu od 0,3 Hz výše. Poznamenejme, že činnost prediktivního regulátoru velmi významně ovlivňuje činnost regulátoru zpětnovazebního. Dalo by se říci, že vliv prediktivního regulátoru se projevuje tak, jako kdybychom ke zpětnovazebnímu regulátoru přidali velmi silnou derivační složku.

Nalezené indikátory únavy

Z předpokladu, že únava způsobuje slabší inervaci svalů plyne, že unavený řidič by měl mít pomalejší reakci, pomalejší pohyby volantu a menší amplitudu pohybů volantu. Jak upozorňují někteří autoři, řidič



Obr. 3. Spektrum pohybů volantu



Obr. 4. Pohyby volantu ve fázové rovině

přechází na úspornou strategii. Byla nalezena celá řada indikátorů, které tuto hypotézu potvrzují. Nedostatek místa nám nedovoluje je uvést podrobněji. Zájemce nalezne podrobnější informace např. v (Bittner R., Smrčka P. et al. 2000), (Bittner R., Smrčka P. et al. 2001), (Bittner R., Smrčka P. et al. 2001), (Vysoký P. 2001), (Vysoký P. 2001).

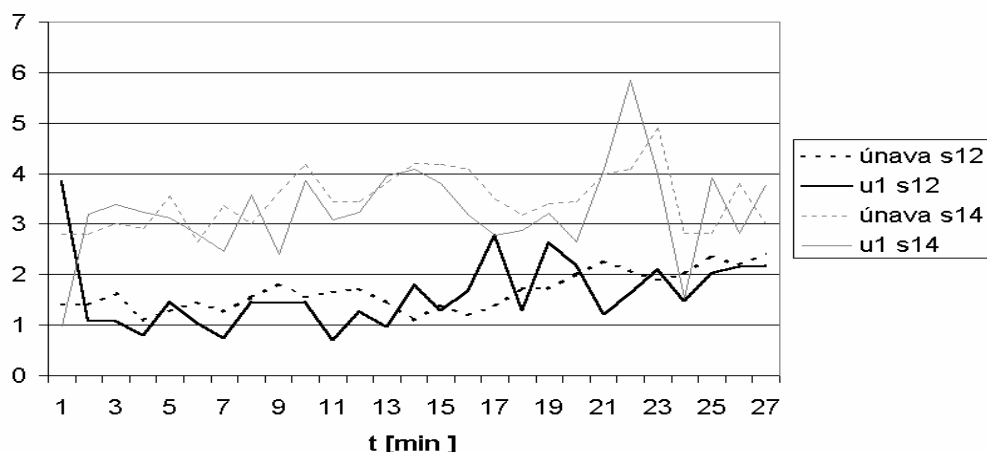
Zde uvedeme jen jeden, který je v mnoha případech nejvýhodnější. Znázorníme-li pohyby volantu jako trajektorii ve fázové rovině (v souřadnicích poloha – rychlost), budou fázové trajektorie tvořeny křivkami podobnými elipsám, jak je zřejmé z obr. 4. Zvolíme-li vhodný eliptický orbit jako práh, můžeme zjišťovat četnosti s jakými se zastupující bod vyskytuje uvnitř a vně zmíněného orbitu. Poměr těchto četností lze považovat za poměrně velmi dobrý indikátor únavy.

Na obr. 5 Je znázorněn průběh uvedeného ukazatele pro dvě jízdy po dálnici Praha – Plzeň. Testovaný řidič jel stejnou trasu ve stejnou denní dobu jednou jako zcela čerstvý (signál s12) a jednou po spánkové deprivaci (signál s12). Průběhy označené jako „únava“ jsou hodnoty únavy získané na základě expertního odhadu. Z průběhů je zřejmé, že indikátor (u1) splňuje všechny požadavky, které jsme pro použití nějaké veličiny jako indikátoru únavy deklarovali. Splňuje podmínku monotonicity, jsou zhruba stejné trendy jak u indikátoru tak u expertních odhadů. A zhruba se shodují i dynamické změny u indikátoru i u odhadu.

Bohužel tyto velmi slibné výsledky dostáváme především u mladých řidičů. Věk testovaného řidiče je 25 let. To je sice kategorie řidičů s největším rizikem mikrosopánků v noci. Pro starší řidiče, kolem 60 let se však zmíněný indikátor chová zcela opačně. Tuto anomálii zatím nedokážeme objasnit. Máme zatím pracovní hypotézu, že menší inervace okohybných svalů vlivem únavy působí u starších řidičů velmi pomalé zaostřování oka na

postupné cíle na silnici. To by se mohlo projevit jako snížená aktivita prediktivní složky řízení, což by nutně vyžadovalo mnohem větší aktivitu složky zpětnovazební, což může zcela překrýt nasazení úsporné strategie. Zatím máme málo dat od starších řidičů, abychom tuto pracovní hypotézu mohli potvrdit či vyvrátit.

Práce o kterých zde referujeme, zatím nepřinesly bezprostřední efekt v nalezení vhodných indikátorů, které by mohly sloužit k varování řidičů při dosažení kritické únavy, kdy hrozí nastání mikrospánku. Nicméně ukázaly, že pohyby volantu informaci o únavě bezpečně nesou.



Obr. 5. Průběhy únavy a indikátoru u1.

Literatura:

- [1] Bittner R., Smrcka P., et al. (2001). Fatigue indicators of drowsy drivers based on analysis of physiological signals. ISMDA 2001, Madrid, Springer Verlag.
- [2] Bittner R., Smrcka P., et al. (2000). Detecting of fatigue states of a car driver. International symposium on Medical Data Analysis ISMDA 2000, Frankfurt am Main, Springer Verlag.
- [3] Bittner R., Smrcka P., et al. (2001). ECG, EEG, and EOG based fatigue indicators. Intelligent systems in patient care, Vienna, Oesterreichische computer gessellschaft, Wien.
- [4] Hamlin R. P. (1995). Three-in-one vehicle operator sensor, Northrop Grumman Corp.: 13.
- [5] Hessburg T., Peng H., et al. (1991). An experimental study on lateral control of a vehicle. Berkeley, UCLA.
- [6] Jewett M. E. and Kronauer R. E. (1999). "Interactive mathematical models of subjective alertness and cognitive throughput in humans." Journal of biological rhythms **14**(6): 588-597.
- [7] Pilluti T. and Ulsoy A.G. (1999). "Identification of driver state for lane-keeping tasks." IEEE trans. SMC, Part A **29**(5): 486-502.
- [8] Rasmussen J. (1983). "Skills, rules and knowledge, signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models." IEEE trans. SMC **13**(2): 257-266.
- [9] Saridis G. N. (1989). "Analytic formulation of the principle of decreasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines." Automatica(3): 467-471.
- [10] Tesařík J. and Sobotka P. (2002). Informace o nehodovosti v silničním provozu na území České republiky za rok 2001, Ministerstvo vnitra ČR. **2002**.
- [11] Vysoký P. (2000). Calibration of the driver's fatigue estimator with help of fuzzy aggregation functions. Analysis of biomedical signals and images, Biosignal 2000, Brno, Brno university of technology - VUTUM PRESS.
- [12] Vysoký P. (2001). "Central fatigue identification of human operator." Neural network world **11**(5): 525-535.
- [13] Vysoký P. (2001). Driver's fatigue and microsleep monitoring. Intelligent systems in patient care, Vienna, Oesterreichische computer gessellschaft.
- [14] Weir D. H. and McRuer D. (1970). "Dynamics of driver vehicle steering control." Automatica **6**: 97-98.
- [15] Wierwille W. W. et al (1994). Research on vehicle - based driver status/performance monitoring, development, validation, and refinement of algorithms for detection of driver drowsiness. Washington DC, Departemnt of transport: 219 str...