

Jak ohrožuje pokles pozornosti řidičů vozidel bezpečnost jízdy

Prof. Ing. Mirko Novák, DrSc., Doc. Ing. Zdeněk Votruba, CSc., Prof. MUDr. Josef Faber, DrSc.

Souhrn:

Bezpečnost jízdy motorových vozidel je stále předmětem soustředěné pozornosti. Nehody při provozu na silnicích způsobují každoročně škody několika více desítek miliard Kč.

Při řízení motorových vozidel záleží velmi často na rychlosti a správnosti reakce řidičů na neočekávané situace. Úroveň bdělosti a pozornosti řidiče v průběhu řízení nezbytně postupně klesá, i když ne monotónně. Snížení řidičovy pozornosti a s ním i pokles rychlosti a pravděpodobnosti jeho správné reakce pod určitou úroveň vede k výraznému zvýšení nebezpečí nehod. Ze statistik lze soudit, že to je příčinou asi 20 až 40% všech nehod na silnicích.

V tomto článku jsou ukázány hlavní vlivy působící na spolehlivost řidičovy interakce s vozidlem, jsou ukázány mechanismy těchto vlivů a jsou naznačeny některé možnosti jak zlepšit uspořádání pracoviště řidiče, i jak jej včas varovat před možným kritickým poklesem jeho pozornosti.

Pro sestavení tohoto článku využili autoři přednášky na konferenci [10] a výsledků, získaných při pracích na výzkumném záměru MŠMT ČR č. MSM 210000024, a též na grantech MŠMT ČR č. ME 478 a ME 701.

1. Úvod

Intenzita dopravy na naprosté většině světových silničních komunikacích neustále roste. Snahy toto narůstání omezit přitom vyznívají vesměs naprázdno, protože dopravu lidstvo nezbytně potřebuje pro zajištění své existence, podobně jako potraviny, energii, informace, zdravotní péči a bezpečnost.

S rostoucí intenzitou dopravního zatížení silnic stoupá však i hustota dopravního provozu a tedy i množství situací, kdy mohou nastávat nebezpečné až kritické situace a kdy je třeba včasné a správné reakce řidiče.

Bohužel však působení lidského činitele v dopravě patří k nejvýznamnějším faktorům, vedoucím k snížení její bezpečnosti a spolehlivosti. Spolehlivost lidského činitele je obecně poměrně velmi malá.

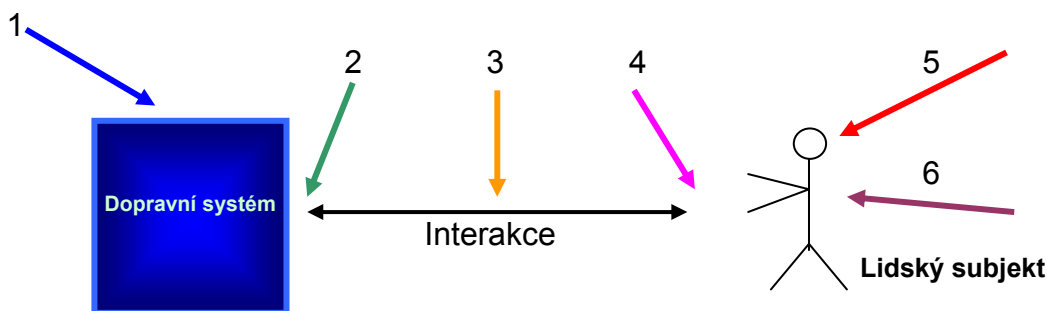
Jistou dobu se soudilo, že východiskem může být automatizace řízení dopravy tak, aby nespolehlivý vliv lidského činitele byl minimalizován či případně zcela vyloučen.

Plně automatický systém řízení pohybu vozidel je však, přes veškeré pokroky v tomto směru dosažené, ještě realitě značně vzdáleným záměrem.

S intenzitou dopravního zatížení silničních komunikací rostou proto také silně nároky na bdělost a pozornost řidičů vozidel. Tato bdělost a pozornost se však zákonitě zmenšuje v průběhu jízdy a zejména při delších jízdách může poklesnout až pod jistou kritickou hodnotu.

Takový řidič pak již není schopen spolehlivého a bezpečného výkonu své činnosti.

Schéma interakce lidského subjektu s dopravním systémem lze vyjádřit podle obr. 1.



Obr. 1: Struktura interakce dopravní systém – lidský subjekt. Zde značí:

- 1...rušivé vlivy na dopravní systém, vedoucí k poklesu spolehlivosti interakce
- 2...rušivé vlivy na spolehlivost interakce se strany dopravního systému
- 3...rušivé vlivy na přenosovou a procesní část interakce
- 4...rušivé vlivy na spolehlivost interakce se strany lidského subjektu
- 5...rušivé vlivy na mentální činnost lidského subjektu
- 6...rušivé vlivy na fyzickou schopnost lidského subjektu

Můžeme rozlišit 4 základní možné druhy interakce lidského subjektu s dopravním systémem.

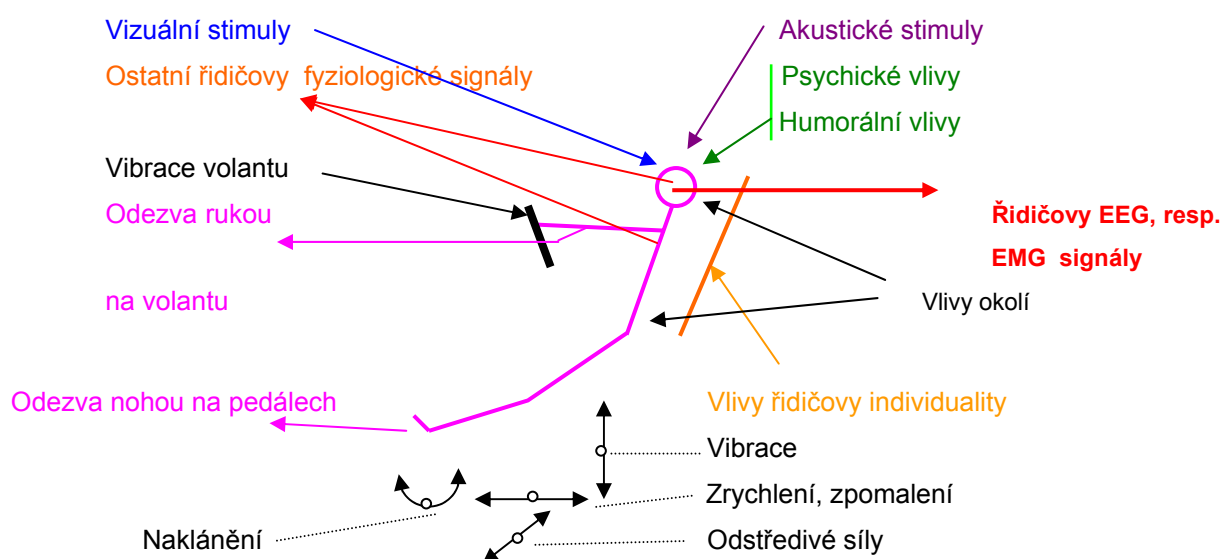
V nich lidský subjekt může vystupovat v roli:

- činitele řídicího dopravní prostředek (vozidlo, vlak, letadlo, loď),
- činitele řídicího činnosti celého dopravního systému (např. dispečer letového provozu),
- objektu dopravy (cestujícího),
- subjektu tvořícího okolí dopravního systému.

V tomto článku se zaměříme na první uvedený druh interakce, tj. na interakci řidiče (především automobilu) s vozidlem.

2. Spolehlivost a bezpečnost interakce řidiče se silničním vozidlem

Na řidiče v průběhu řízení vozidla působí celý soubor různých stimulů, na které, má-li řídit spolehlivě a bezpečně, musí zavčas a správně reagovat. Toto působení je schematicky naznačeno na obr. 2.



Obr. 2: Hlavní soubory stimulů, působících za jízdy na řidiče

Některé z těchto stimulů reprezentují situaci na vozovce (především vizuální, částečně též akustické stimuly a vibrace vozidla a volantu), další reprezentují vlivy okolí (teplota, atmosférický tlak, vlhkost, osvětlení, záření, prašnost apod.) a posléze na řidiče působí mechanické stimuly související s jízdou (zrychlení, zpomalení, odstředivé síly, naklánění vozidla). Řidič je též vystaven souboru celkových fyziologických (humorálních) stimulů a souboru různých psychických vlivů. Na všechny tyto vlivy reaguje podle své individuality.

Jeho řídicí projevy (reakce na aktuální vnímané stimuly) jsou představovány jednak pohyby rukou na volantu, jednak pohyby nohou na pedálech, resp. též obsluhou palubních ovládacích prvků na panelu, případně ruční brzdy. U řídicích reakcí záleží především na pravděpodobnosti jejich rychlosti $P(RT^{-1})$ a jejich správnosti P_{corr} .

Oběmi těmito veličinami vyjadřujeme skalární míru pozornosti řidiče L_{AT}

$$L_{AT} = (RT^{-1}) P_{corr}, \dots\dots\dots (1)$$

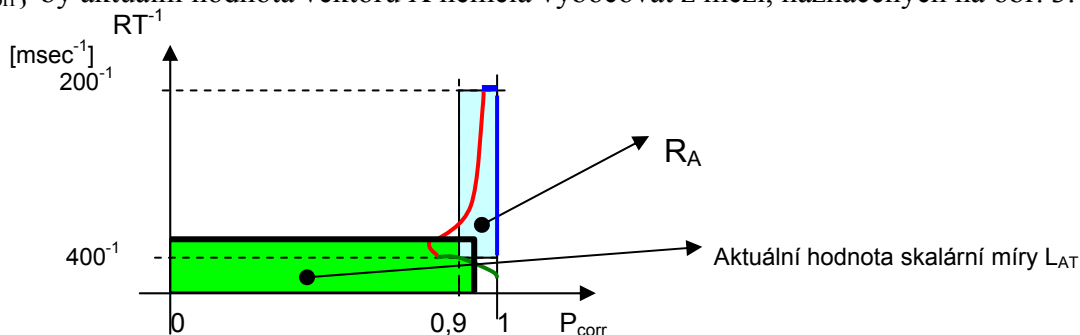
kde $P_{corr} < 0,1 >$.

Vztah (1) je ovšem jen přibližným vyjádřením skalární míry pozornosti, pro přesnější by bylo třeba zahrnout řadu dalších parametrů (viz např. [2,3]). Pro praktické účely však vztah (1) postačí.

Důležité jsou tzv. oblasti přijatelnosti R_A , ve kterých musí se musí nacházet vektor X parametrů x_i vyjadřujících vlastnosti systému řidič-vozidlo, resp. úroveň pozornosti řidiče (viz též [4,7]). Těchto parametrů může být větší počet, který označíme N . Aby systém měl přijatelné vlastnosti, třeba aby vektor X se nalézal uvnitř oblasti R_A . Přitom však musíme vzít v úvahu v praxi se obvykle vyskytující neurčitost ve stanovení hodnot jednotlivých uvažovaných parametrů. Existující závislosti mezi touto mírou neurčitosti parametrů a tvarem oblasti přijatelnosti R_A vedou k tomu, že v praxi je účelné počet N sledovaných parametrů x_i , $i=1 \dots N$ výrazně omezit (lze odhadnout, že za běžných podmínek by mělo být $N < 10$). V uvažovaném případě se tedy omezení na $x_1 = L_{AT}$ a $x_2 = RT^{-1}$, tedy $N = 2$ jeví rozumné.

Vyšetření hranic oblastí přijatelnosti R_A v prostoru X je často i při uvedeném omezení poměrně pracnou záležitostí, vyžadující excerpci poznatků z velkého množství praktických experimentů.

Stanovení hranic oblastí R_A pro míru pozornosti řidiče je nadto nutno vždy vztahovat k danému individuu, danému vozidlu, typu silnice a celkovým technickým i vnějším podmínkám jízdy. Technologie jejich specifikace i případné možnosti jisté rámcové typizace budou předmětem dalšího soustavného výzkumu. Zatím lze soudit, že v prostoru $X = \{RT^{-1}, P_{corr}\}$ by aktuální hodnota vektoru X neměla vybočovat z mezí, naznačených na obr. 3.



Obr. 3: Rámcové vymezení hranic oblastí přijatelnosti pro míru pozornosti L_{AT}

Spodní hranice rychlosti reakce RT^{-1} je dána přirozenými mezemi možností lidského organismu. Uvažujeme-li reakční dobu RT jako celkový čas, který uplyne mezi okamžikem, kdy je řidiči prezentován příslušný stimul a okamžikem, kdy na něj reaguje příslušnou akcí na odpovídajícím ovládacím prvku vozidla, pak jen velmi málo mladých a trénovaných pokusných osob (probandů) dosahuje reakčních časů, blízkých se této hranici. Na druhé straně z téměř stovky provedených komplexních měření průběhu poklesů pozornosti různých

probandů na vozovém simulátoru ve Společné laboratoři spolehlivosti systémů na Fakultě dopravní ČVUT v Praze vyplývá, že po nárůstu reakční doby nad cca 400 msec již nelze hovořit o spolehlivém výkonu funkce řízení. Při rychlosti vozidla 130 km/hod odpovídá doba 400 msec dráze 14,4 m. Pokud se neočekávaná překážka vyskytne blíže, nemá řidič šanci reagovat. K tomu je ovšem ještě nutno přičíst čas (a tedy i dráhu) potřebný pro technickou reakci vozidla.

Parametry RT^{-1} a P_{corr} však nejsou zcela nezávislé. Existuje mezi nimi korelace, silně závislá na individualitě řidiče. Obecně lze říci, že s klesající rychlostí reakce RT^{-1} klesá i hodnota P_{corr} . Výsledkem je pak mez, jejíž příklad je naznačen v obr. 3 červeně. Její průběh je ovšem silně ovlivněn především individualitou řidiče, zčásti pak též technickými parametry vozidla, vozovky a celkových podmínek jízdy.

Podobně je tomu i se spodní mezí reakční rychlosti, kterou jsme rámcově odhadli na $400^{-1} \text{ msec}^{-1}$. Skutečnost se bude podobat zelené čáře na obr. 3.

Analýza aktuálních hodnot míry pozornosti řidiče za jízdy je značně obtížnou záležitostí. Přímé měření parametrů RT^{-1} a P_{corr} za jízdy vozidla je poměrně problematické. Proto dáváme přednost měření nepřímému, založenému na analýze vhodných fyziologických projevů řidiče.

3. Analýza EEG signálů řidiče

Jak bylo naznačeno na obr. 2, řidičova činnost se navenek projevuje jednak reakcemi jeho nohou na pedálech vozidla, jednak reakcemi jeho rukou na volantu, dále pak jeho elektrickými (EEG), resp. magnetickými (MEG) signály, vyzařovanými jeho mozkem a posléze souborem jeho ostatních fyziologických signálů (pohybů očí, kožního el. odporu, teploty dechu a pod) či posléze výrazem jeho tváře. Vlivy únavy a poklesu pozornosti se projevují na hodnotách všech těchto parametrů, nicméně žádný z nich není pro spolehlivé stanovení aktuálních hodnot úrovně jeho pozornosti L_{AT} ideální. Význačnou nevýhodou pohybů očí, el. odporu kůže, teploty dechu atd. je jednak jejich poměrně malá specifická (dostí obtížné rozhodování, zda příslušná zjištěná hodnota odpovídá stavu uvnitř či vně R_A , jednak skutečnost, že změny těchto parametrů způsobené poklesem pozornosti se projevují vesměs s poměrně značným zpožděním (desítky sekund až několik minut). To téměř vylučuje možnost jejich praktického využití jako primárního zdroje informací o aktuálním stavu pozornosti řidiče.

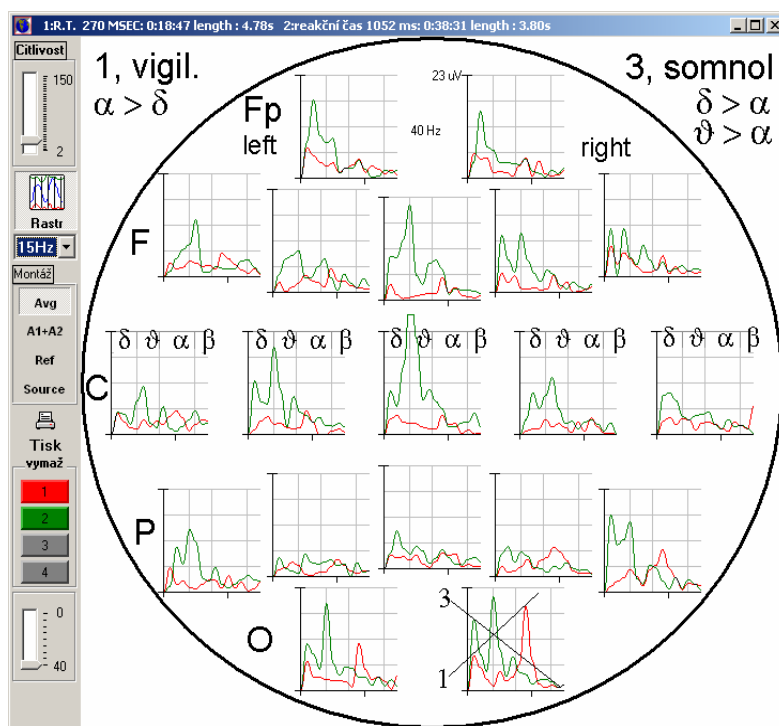
Vypovídací hodnota EEG a MEG signálů je téměř stejná, měření EEG signálů je však v praxi proveditelné mnohem snáze (zatímco dosud nelze sestavit měřicí aparaturu pro snímání MEG signálů, použitelnou na palubě pohybujícího se vozidla, experimenty s měřením aktivity mozku řidiče za jízdy na bázi EEG již úspěšně proběhly).

Amplitudy elektrických signálů, které se jako projev velmi složitěho elektromagnetického pole, vyzařovaného po celý život člověka oscilacemi nervových vzruchů mezi jeho mozkovou kůrou (cortexem) a thalamem, promítají na povrch jeho hlavy je sice velmi malá (několik až několik desítek μV) při frekvenci asi 0,5 až 30 Hz, nicméně měření (a to i za jízdy je dnes již prakticky rutinní záležitostí. Problémy však zůstávají:

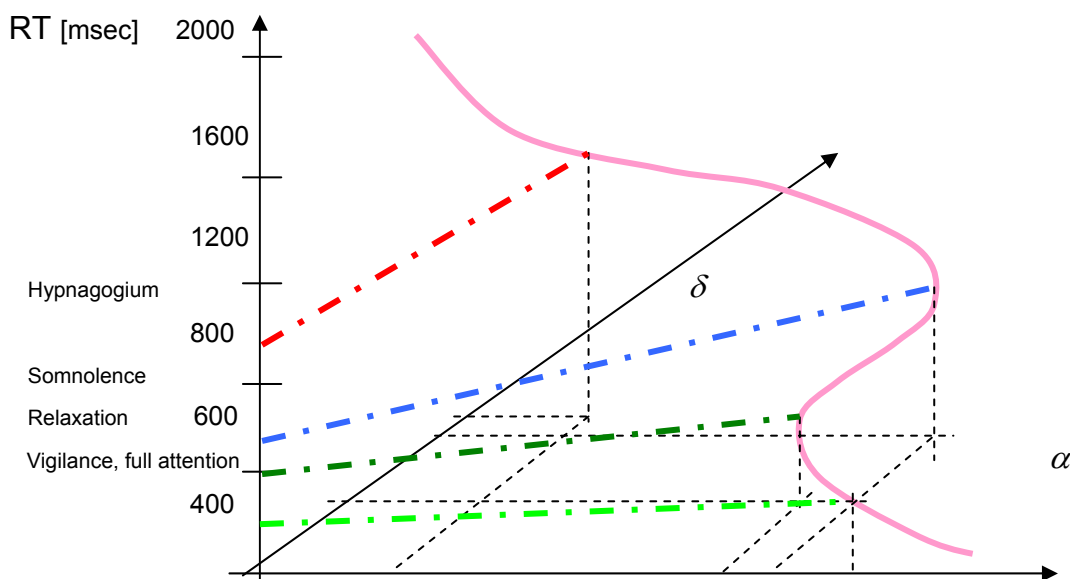
- a) v technologii snímacích elektrod – dosud jsou užívány kontaktní elektrody různého druhu, které však vesměs vyžadují pracnější a pečlivější adjustaci na hlavě pokusné osoby, kterou pochopitelně také více či méně obtěžují. Ideální by bylo bezkontaktní snímání, provedené studie však ukazují, že bezkontaktní snímání el. napětí uvedené velikosti a frekvencí na vzdálenost 1 až 2 cm je dosud na hranici fyzikálních možností. Jakýkoliv pokrok v tomto směru má ovšem velmi značný význam.
- b) V charakteru snímaných signálů – ty jsou obvykle vzorkovány zvolenou snímací frekvencí (v našem případě 128 vzorků/sec) a tvoří složité časové řady. Ty mají v podstatě kvazi-periodický a kvazi-stacionární charakter.

Proto na ně nelze korektně použít žádný z běžných aparátů spektrální analýzy (nicméně naprostá většina neurologických pracovišť ve světě používá běžně některý druh rychlé Fourierovské analýzy, ovšem s tím, že následnou nekorektnost a vzájemnou nekompatibilitu výsledků kompenzují zkušeností a analytickými schopnostmi lidských expertů).

Vhodným rozbořením nalezených pseudo-spekter je pak možno s poměrně vysokou specifičností a velmi rychle stanovit, v jaké fázi poklesu pozornosti se daná osoba nalézá – viz např. obr. 5 a 6.



Obr. 5: Příklad pseudo-spektra EEG řidiče



Obr. 6. Příklad vztahů parametrů pseudospektra k reakční době řidiče.

Toho je možno využít jednak pro analýzu vlivů uspořádání ovládacích, navigačních a komunikačních prvků pracoviště řidiče na jeho pozornost, jednak pak pro vytvoření vhodného varovacího systému, který ho s potřebným předstihem upozorní na nebezpečí, že parametry úrovně jeho pozornosti se blíží hranicím příslušné oblasti přijatelnosti R_A .

Aby toto bylo možné, je ovšem zapotřebí mít k dispozici poměrně značné množství měřených dat na různých pokusných osobách. Zatím jsme proměřili cca 90 osob, odhadujeme však, že bude třeba mít záznamy o několika stech až několika tisících lidských subjektů.

Tato data jsou ukládána do specializované datové báze (Micro-Sleep Base, MSB - ta je rozvíjena v rámci projektů Neuroinformatika, řešených v návaznosti na aktivitu Global Science Forum OECD), která umožní potřebnou generalizaci poznatků a hledání skrytých souvislostí.

Literatura:

- [1]...Příbýl P.: Bezpečnost silničních tunelů – porovnání s požadavky Evropského parlamentu, přednáška na zasedání AITES, Praha, 14.7.2003
- [2]...Novák M., Faber J., Votruba Z., Přenosil V., Tichý T., Svoboda P., Tatarinov V.: Reliability of human subject - artificial system interactions, ACTA POLYTECHNICA, No. 3., vol. 42, 2002, 31 - 40
- [3]...Faber J., Novák M., Svoboda P.: Electrical brain wave analysis during hypnagogium, Neural Network World, vol. 13, No. 1, 2003
- [4]...Novák M., Faber J., Votruba Z.: Theoretical and Practical Problems of EEG based Analysis of Human – System Interaction, Multiconference METMBS'03, Las Vegas, Nevada, USA, June 23-27 2003, 247-259
- [5]...Novák M., Faber J., Votruba Z.: Impacts of driver attention failures on transport reliability and safety and possibilities of its minimizing, Conference SSGRR-2003, L'Aquila Rome, Italy, July 27 – August 4, 2003
- [6]...Votruba Z., Novák M., Voráčková Š.: Problem of dimensionality in predictive diagnostics, Neural Network Word, vol. 13, No. 4, 2003
- [7]...Vlček M.: Mathematica Problems of Time-varying Signals. 3rd International Seminar on Micro-Sleeps, ČVUT, Fakulta dopravní, Praha, 1.10.2003
- [8]...Svoboda P.: Metody analýzy EEG aktivity, Diplomová práce FEL, ČVUT, Praha, 2001
- [9]...Faber J., Novák M., Svoboda P., Tatarinov V.: Detection of Micro-sleeps by help of EEG, Konference “ Zdravý spánek v rozvinuté civilizaci”, University of Hradec Králové, 22. – 24.5.2003
- [10]...Novák M., Votruba Z., Faber J.: Bezpečnost a spolehlivost jízdy vozidel Spolehlivost 2003, Vojenská Akademie, Brno, 30.9. až 1.10.2003