

INTELEKTUÁLNÍ VOZIDLOVÉ SYSTÉMY – SYSTÉMY PRO ZMÍRNĚNÍ NÁSLEDKŮ KOLIZE S CHODCI

INTELLIGENT VEHICLE SYSTEMS – COLLISION MITIGATION VEHICLE SYSTEMS FOR PEDESTRIANS

Jiří Plíhal¹, Matuš Šucha²

Anotace: *Systémy pro zmírnění následků kolize s chodci (Pedestrian Collision Mitigation Systems - PCMS) snižují závažnost kolize s chodci, kterým nelze zabránit, a rovněž snižují pravděpodobnost takovýchto kolizí. Pomocí upozornění na možnost kolize a automatického brzdění pro zmírnění následků kolize systémy pomáhají snížit rychlost vozidla ve chvíli, kdy je pravděpodobnost kolize vysoká. Snížením intenzity nárazu tak dochází ke snížení závažnosti a rozsahu zranění chodců. Obecně u takovýchto systémů posuzujeme mnoho aspektů jako základní strategii řízení, minimální požadavky na funkcionalitu, základní prvky rozhraní řidiče, minimální požadavky na diagnostiku a odezvu při poruše systému a rovněž popis testovacích postupů systémů pro zmírnění následků kolize s chodci. Podle stupně zásahu systému do řízení vozidla a intenzity varování řidiče rozeznáváme různé úrovně systému, jež přinášejí částečnou automatizaci řízení vozidla v podélném směru a tím i redukci zátěže řidiče vozidla. Zkusme nahlédnout na jeden takovýto asistenční vozidlový systém.*

Klíčová slova: *vozidlové systémy, asistenční systémy, systémy pro zmírnění kolize, aktivní bezpečnostní systémy pro chodce.*

Summary: *Pedestrian Collision Mitigation Systems - PCMS reducing severity of collisions with pedestrians, which are inevitable and decreasing probability of such accidents. By means of collision warning and automatic mitigation braking the systems contribute to the reducing vehicle speed in the moment when the probability of collision is high. Decreasing of collision energy enable to reduce seriousness and range of pedestrian's injury. Generally these systems are described by many features like strategy of control, minimal requirements on functionality, basic elements of HMI, minimal requirements on diagnostics, response to system failure and specification of testing procedures for collision mitigation. According to the rate of system intervention to the vehicle control and level of driver warning it is possible to distinguish various types of system that enable partial autonomous vehicle control in longitudinal direction thereby reduction of driver disturbances.*

Key words: *vehicle systems, assistant systems, collision mitigation systems, active safety systems for pedestrians.*

¹ Dr. Ing. Jiří Plíhal, ÚTIA AV ČR, v.v.i., Pod Vodárenskou věží 4 182 08 Praha 8, E-mail: plihal@utia.cas.cz

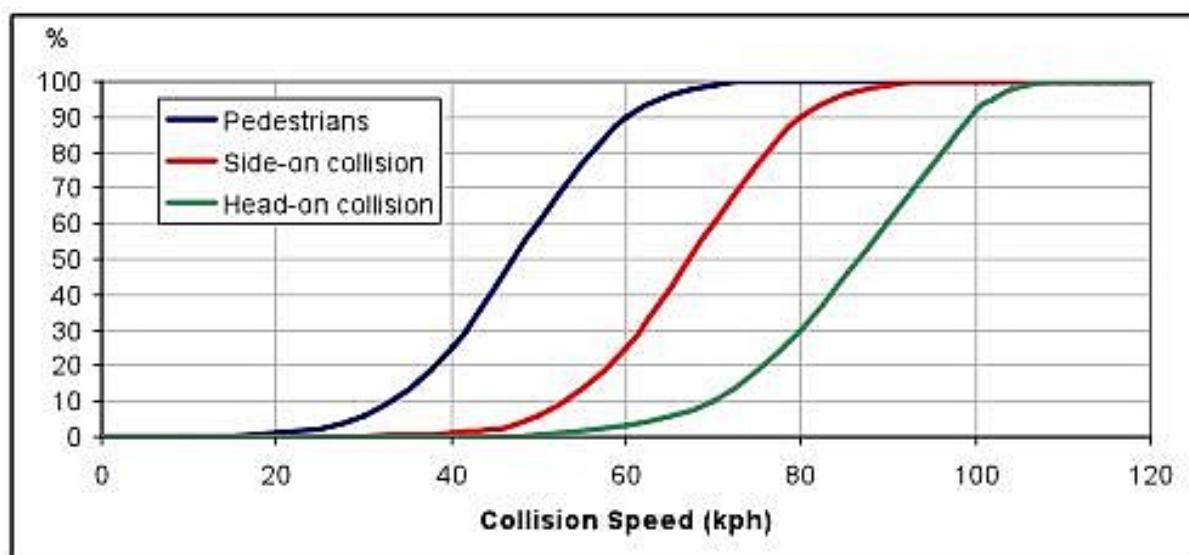
² PhDr. Matuš Šucha, PhD. Univerzita Palackého v Olomouci, Křížkovského 10 / 771 80 Olomouc, E-mail: matus.sucha@upol.cz

ÚVOD

Inteligentní vozidlové systémy ochrany chodců obecně vyžadují informace o vzdálenosti od chodce, pohybu chodce, pohybu vlastního vozidla, pokynech řidiče a jeho chování. Tyto systémy detekují chodce před vozidlem, určují, jestli detekovaný chodec představuje nebezpečí a upozorňují řidiče v případě, že hrozí nebezpečí. Za situace, kdy řidič již nemá možnost zasáhnout, nebo pokud řidič nemá dostatek času a jsou splněna příslušná kritéria, dochází k aktivaci odpovídajících protiopatření.

Klíčovým faktorem, který určuje, jestli dojde ke srážce chodce a vozidla, resp. jak závažné jsou zranění, nebo dojde k úmrtí, je rychlost vozidla v momentu srážky. Chodec jako zranitelný účastník silničního provozu má velmi nízkou míru ochrany před nárazem vozidla. Tudíž i při relativně nízkých rychlostech je síla, kterou musí lidské tělo absorbovat (a která způsobuje zranění a úmrtí) velmi vysoká.

Z obrázku 1 vidíme (modrá křivka značí srážku chodce a vozem), že relativně bezpečná rychlost vozidel vzhledem k možné kolizi je 20 km/h. Následně riziko úmrtí chodce v důsledku kolize rapidně narůstá.



Zdroj: Aarts, L. T., & van Schagen, I., 2006

Obr. 1 - Vliv rychlosti na šanci chodce přežít při kolizi

Hlavním faktorem, který ovlivňuje vznik srážky a její následky jak bylo uvedeno je rychlost. Pokud chceme předcházet srážkám, případně snižovat jejich následky, je nutné zabezpečit nízkou rychlost vozidel v oblastech, kde hrozí střet s chodcem. Představovaný systém je jednou z možností, jak zabezpečit nižší rychlost vozidla v momentu srážky s chodcem.

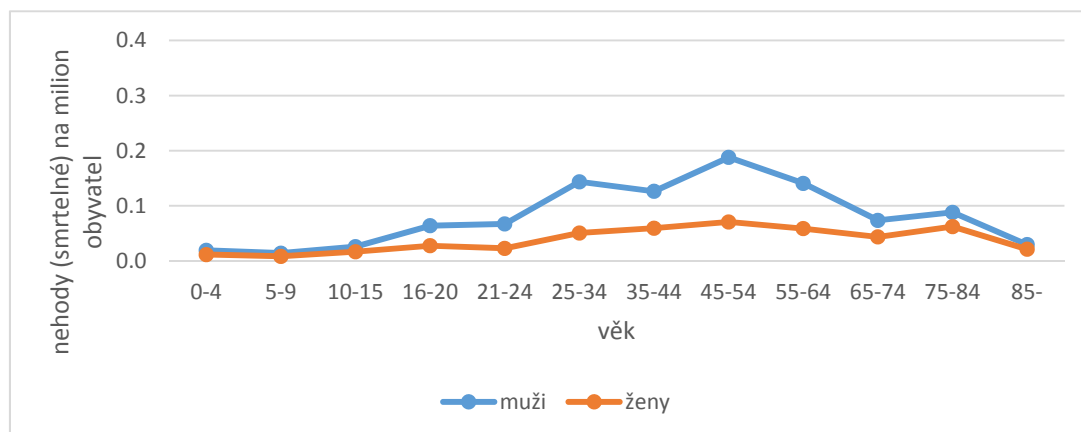
1. STAV DOPRAVNÍCH NEHOD S CHODCI VE VYBRANÝCH ZEMÍCH

Při nehodách bylo v České republice v roce 2013 usmrceno celkem 134 chodců. Z uvedeného počtu usmrcených chodců (134 osob) připadá na noční nehody 80 usmrcených. Na noční nehody tak připadá 59,7% z počtu usmrcených chodců. Speciální pozornost je nutné věnovat dětem – chodcům. Z celkového počtu usmrcených dětí v roce 2013 – 8 dětí, 3 děti byli chodci. Z dlouhodobého pohledu (1993 – 2010) je více než polovina usmrcených osob na pozemních komunikacích v České republice, ale i v Evropě, usmrcena v osobním automobilu

– v ČR je to 53 %, v EU 52 %. U usmrcených chodců je situace poměrně odlišná – v daném sledovaném období bylo v ČR usmrceno 24% chodců (z celkového počtu usmrcených osob) přičemž průměr EU je o 5% nižší - 19 % (Policie ČR, 2014).

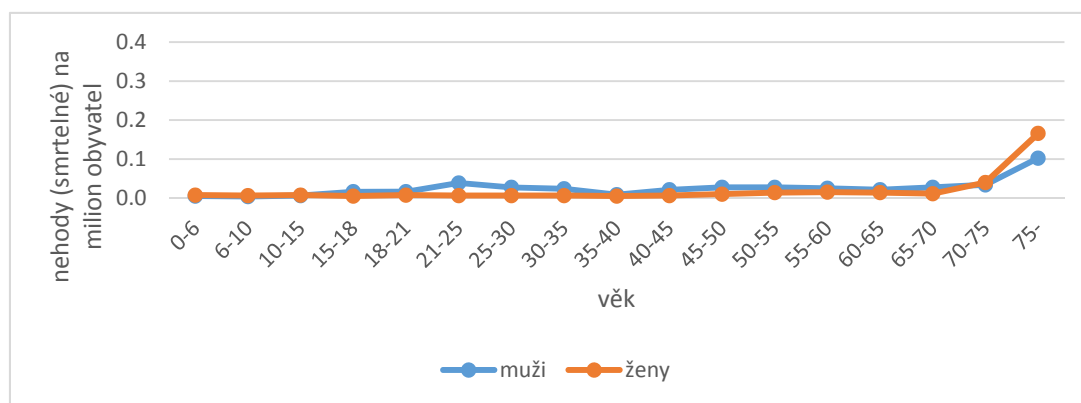
Na příkladu tří zemí Japonska, Německa a USA ukažme statistická porovnání dopravních nehod, jimiž jsou účastníky chodci.

Podle statistik dopravních nehod v Japonsku (směr jízdy vlevo), více než 80% smrtelných úrazů chodců se vyskytuje na rovné pozemní komunikaci. Z těchto nehod, 74 % jsou nehody vyskytující se za podmínek dobré viditelnosti (62 % při procházení silnice a 12 % při herní nebo při pracovní činnosti). Pokud bychom tato data roztřídili, lze prokázat korelaci mezi věkem a vyšším poměrem úmrtí, viz obrázek 2, 3, 4.



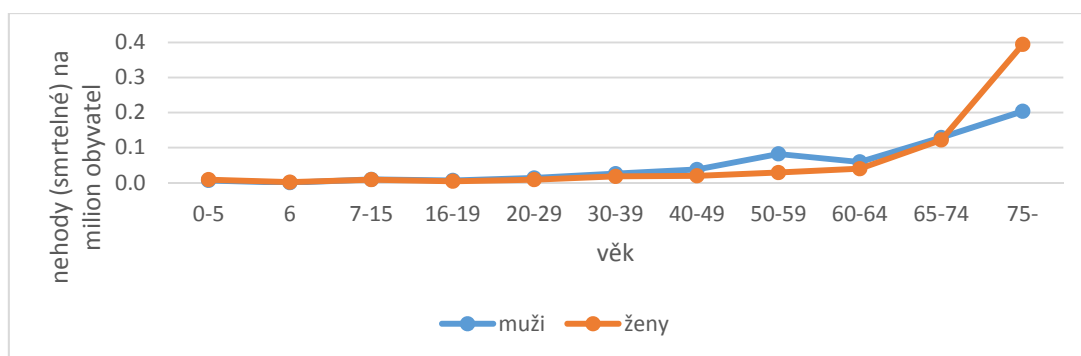
Zdroj: NHTSA, 2010

Obr. 2 - Přehled smrtelných nehod s chodci USA.



Zdroj: Statistisches Bundesamt, 2012

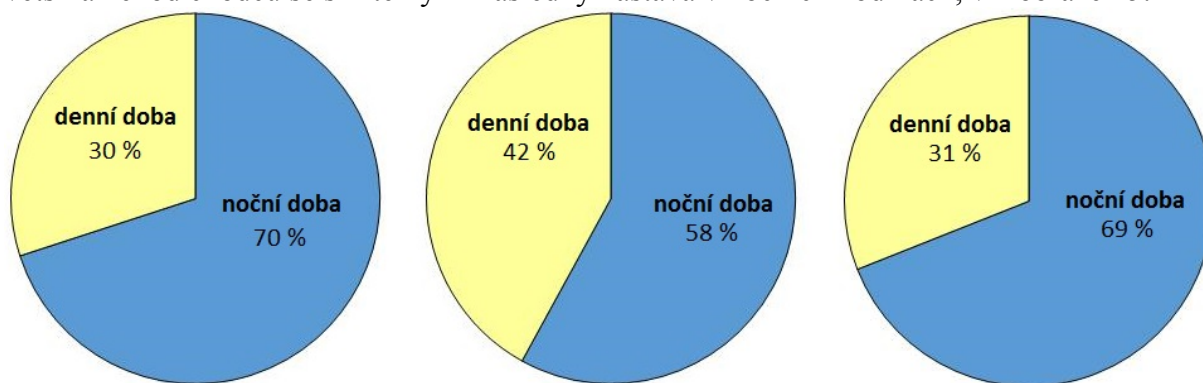
Obr. 3 - Přehled smrtelných nehod s chodci Německo.



Zdroj: ITARDA, 2014

Obr. 4 - Přehled smrtelných nehod s chodci Japonsko

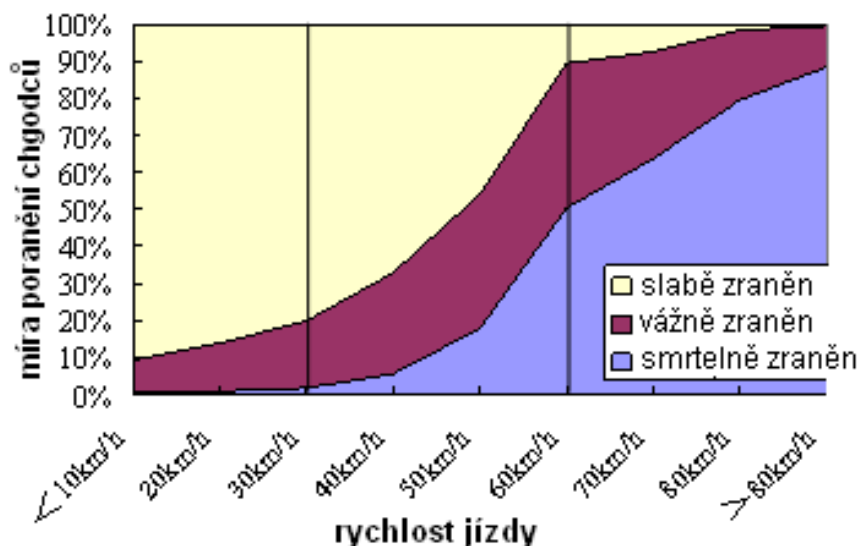
Pokud bychom na tyto nehody pohlédli vzhledem k časovému výskytu pak je zřejmé, že většina nehod chodců se smrtelnými následky nastává v nočních hodinách, viz obrázek 5.



Zdroj: NHTSA, 2010, Statistisches Bundesamt, 2012; ITARDA, 2014

Obr. 5 - Výskyt smrtelných nehod s chodci s ohledem na čas výskytu, zleva USA Německo a Japonsko

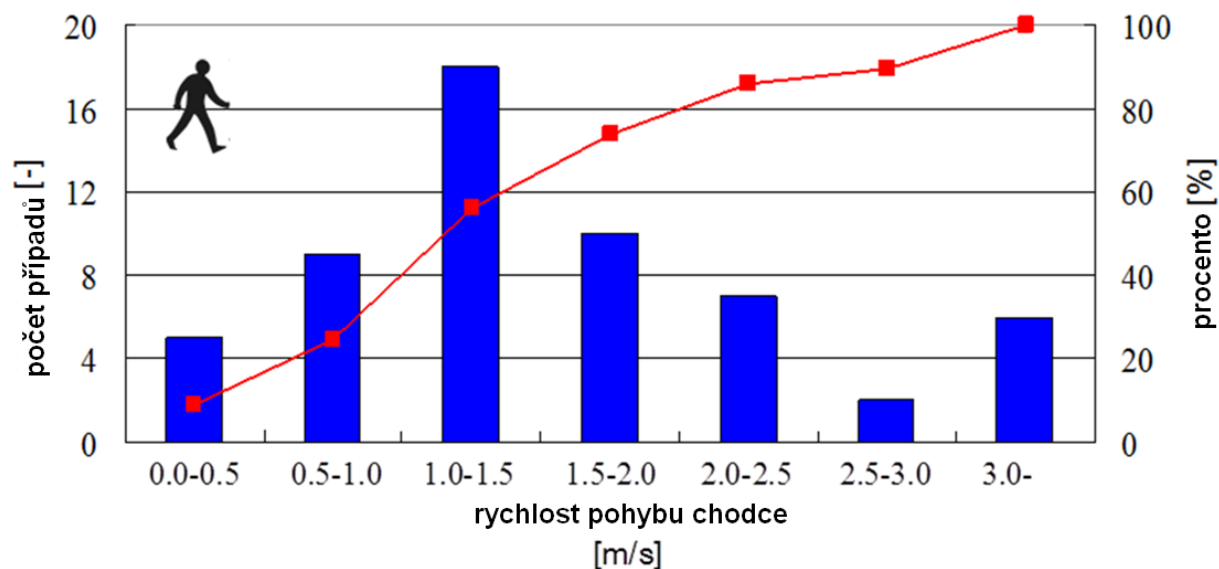
Na následujícím obrázku 6 je ukázán vztah mezi mírou poranění chodce a rychlostí jízdy vozidla. Z grafu je zřejmé, že vozidla pohybující se rychlostí nad 30 km/h jsou hlavní příčinou smrtelných úrazů chodců.



Zdroj: ITARDA, 2014

Obr. 6 - Míra poranění chodců s ohledem na rychlost vozidla

Z pohledu možnosti odvrácení nebezpečné situace je významná počáteční rychlost chodce, se kterou vstupuje do koridoru pohybujícího se vozidla, viz obrázek 7.



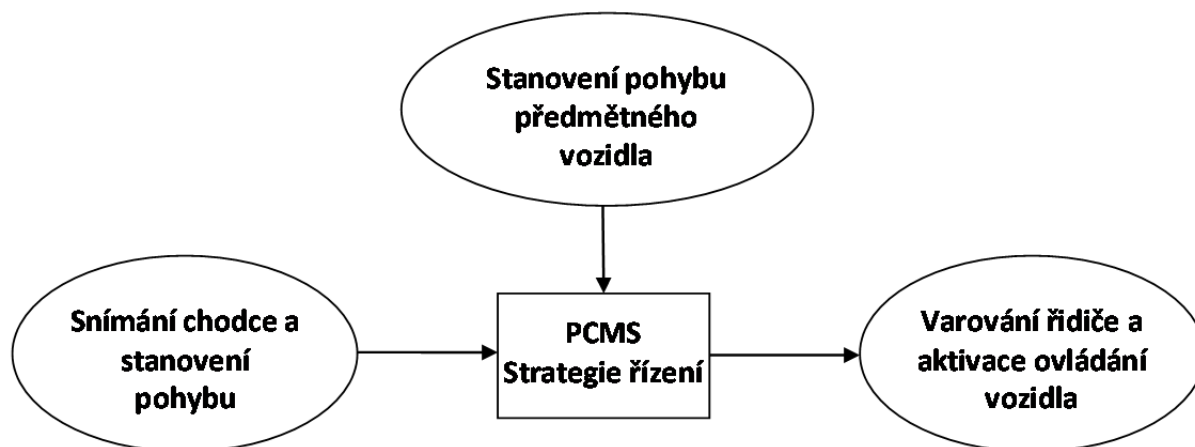
Zdroj: Raksincharoensak, P. Drive Recorder Database Center in Tokyo University of Agriculture and Technology

Obr. 7 - Rozložení počáteční rychlosti chodců, vzorek 61 případů

2. POPIS SYSTÉMU PCMS

Systémy pro zmírnění následků kolize s chodci, PCMS využívají informace o výskytu a počtu chodců, jejich pohybu, chování vozidla a činnosti řidiče. Tyto systémy rovněž vyhodnocují možnosti řidiče z pohledu odvrácení střetu vozidla s chodcem. Pokud již není možné střetu zabránit a jsou splněna požadovaná aktivační kritéria, systém vyhodnotí srážku

jako nevyhnutelnou. V tomto případě je vydáno varování řidiči a jsou aktivovány brzdné systémy za účelem zmírnění závažnosti střetu. Na následujícím obrázku 8 jsou znázorněny jednotlivé prvky systému PCMS.



Zdroj: ISO / PWI 19237, draft

Obr. 8 - Funkční prvky systému pro zmírnění následků kolize s chodci

Vozidla vybavená systémem PCMS musí být schopná plnit následující funkce:

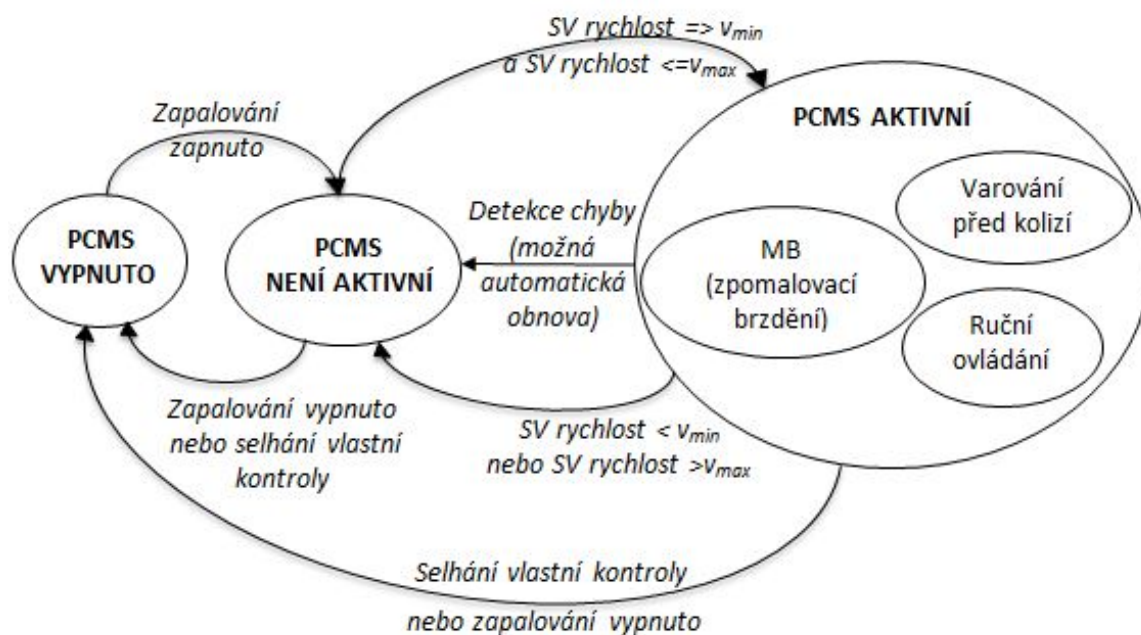
- detekovat přítomnost přibližujícího se chodce,
- stanovit odstup a relativní rychlost mezi předmětným vozidlem (SV) a přibližujícím se chodcem,
- stanovit rychlost předmětného vozidla,
- zahájit odpovídající PCMS protiopatření,
- zajistit varování řidiče,
- aktivovat a přizpůsobit brzdny účinek bez ohledu na to, zda řidič brzdí,
- ovládat brzdová světla,
- zlepšit ovládání vozidla s ohledem na stáčivou stabilitu vozidla při brzdění a schopnost řídit podélný skluz kola, například prostřednictvím systému ESC případně v kombinaci se systémem ABS,
- generovat minimální požadované zpomalení dané systémem PCMS,
- poté co bylo zahájeno zmírňovací brzdění (MB), umožnit řidiči dosáhnout libovolnou vyšší hodnotu zpomalení až po dosažení maximálního možného zpomalení vozidla,
- přejít v libovolném okamžiku na ruční ovládání.

Systémy PCMS musí být schopny pracovat minimálně v rozmezí rychlostí v_{\min} 8,4 m/s (30 km/h) - v_{\max} 16,66 m/s (60 km/h). Tyto systémy vstupují do neaktivního stavu, pokud rychlost vozidla klesne pod v_{\min} a zmírňovací brzdění není v činnosti. Hodnota v_{\min} musí být uvedena v návodu k obsluze vozidla. Pokud systém PCMS využívá funkce automatického brzdění, brzdová světla musí být rozsvícena do 350 ms poté, co systém PCMS zahájil automatické brzdění. Aby se zabránilo obtěžujícímu „blikání“ brzdového světla, může brzdové světlo zůstat svítit přiměřenou dobu i poté, co systém PCMS ukončil brzdění. V případě osobních vozidel musí být systém PCMS schopen dosáhnout minimálního brzděného zpomalení $5,0 \text{ m/s}^2$ (0,51 g) přičemž musí být schopen dosáhnout minimálního snížení rychlosti o 5.6 m/s (20 km/h).

V případě, že je systém PCMS aktivní, musí systém monitorovat spouštěcí podmínky vedoucí k výběru vhodných protiopatření a rozhodnout o aktivaci, nebo případném potlačení možných protiopatření.

Poté co je detekována porucha systému nebo systém nemůže provést příslušná protiopatření, musí systém PCMS přejít do neaktivního stavu a to v případě, kdy je možné automatické obnovení systému z poruchy. Pokud selže vlastní kontrola systému, automatické obnovení bez zásahu řidiče není možné, systém PCMS se přepne do stavu PCMS VYPNUTO. Způsob oznámení tohoto selhání řidiči je ponechán na výrobci.

Systém PCMS musí fungovat v souladu s diagramem přechodových stavů viz. obr. 9. Specifická implementace přechodových stavů, mimo tento diagram, je ponechána na výrobci.



Zdroj: ISO / PWI 19237, draft

Obr. 9 - Funkční prvky systému pro zmírnění následků kolize s chodci

Z pohledu vlivu systému na chování řidiče je nutné brát v potaz efekt tzv. přesunu odpovědnosti a pocitu subjektivní bezpečnosti řidiče. Tyto efekty – první z nich, delegace určité části zodpovědnosti řidiče na asistenční systém (v tomto případě PCMS), ve druhém případě pocit vyšší subjektivní bezpečnosti, tj. pocitu, že řidič zvládne předejít srážce pomocí systému lépe, může vést k snižování tzv. bezpečnostních mezí (tj. určité „rezervy“ kterou si řidič ponechává v „záloze“), co se většinou projevuje volbou vyšší rychlosti jízdy. Tyto efekty jsou velmi podrobně a průkazně popsány na systémech představených v minulosti – zejména systému ABS (Farmer, 2001). Efekt zvyšující bezpečnost (v případě ABS – zkrácení brzdné dráhy) je eliminováno volbou vyšší rychlosti řidiči a volbou menšího rozestupu od předchozího vozidla, tudíž dopad na bezpečnost je sporný.

Před doporučením daného systému a potvrzení pozitivního přínosu pro bezpečnost je nutné empiricky potvrdit reálný dopad systému na dopravní bezpečnost, a to zejména z pohledu vedlejších dopadů. V případně chování řidiče se jedná zejména o problematiku delegace zodpovědnosti, falešný pocit bezpečí (subjektivně vnímaná bezpečnost) a princip homeostatické teorie rizika (Wilde, 1982).

ZÁVĚR

Chodci jako nejzranitelnější účastníci silničního provozu vyžadují speciální ochranu, která musí být nadřazena dalším zájmům v dopravním provozu. Vhodně navržené a správně využívané inteligentní vozidlové systémy mohou zajistit zvýšenou ochranu chodců, a to zejména z pohledu asistence nebo vynucené reakce řidiče. Tyto systémy můžeme v zásadě rozdělit do dvou skupin. Systémy, které snižují následky střetu vozidla s chodcem (tj. zabrání usmrcení chodce nebo sníží závažnost jeho zranění) – v tomto případě se jedná převážně o technická řešení, která nevyžadují interakci s řidičem, a systémy, které mají potenciál předcházet vzniku střetu – zde se jedná zejména o asistenční systémy určené pro řidiče, úkolem kterých je poskytnout řidiči dodatečné informace (např. o přítomnosti chodce na vozovce) a případně vynutit si akci zabraňující střetu. Vzhledem k faktu, že systém je určen pro komunikaci s člověkem (řidičem) a v některých případech vyžaduje vhodnou a rychlou reakci, je při návrhu těchto systémů nutné dodržovat jednotnost (tj. homogenitu poskytovaných informací) – to znamená, že jeden typ signálu má pouze jeden význam a tento význam je stejný napříč různými druhy systémů (např. ve vozech různých továrních značek), princip omezené mentální kapacity řidiče, tj., že řidič se v určitém momentu může věnovat (vnímat a zpracovávat) pouze omezené množství informací, a principu „prioritizace“, tj. že signály pro řidiče by měli být voleny tak, aby nejdůležitější akce si vynucovali nejvyšší pozornost. Představený systém v tomto článku – Systém pro zmírnění následků kolize s chodci (PCMS) je vhodnou kombinací systému snižování následků kolize a zároveň i asistenčním systémem pro řidiče, který má potenciál kolizi předcházet. Pakliže je systém navržen v souladu s bezpečnostními principy popisovanými výše, může být účinným faktorem zvyšování dopravní bezpečnosti, a to zejména bezpečnosti chodců.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) AARTS, L. T., VAN SCHAGEN, I. Driving speed and the risk of road crashes; a review. *Accident Analysis & Prevention*. 2006. Str. 38, 215–224.
- (2) FARMER, C., M. New evidence concerning fatal crashes of passenger vehicles before and after adding antilock braking systems. *Accident Analysis and Prevention*. (2001). Str. 361-369.
- (3) Informace o nehodovosti na pozemních komunikacích ČR za rok 2013. In: *Policie ČR*. [Online]. [vid. 12. 2. 2014]. Dostupné z www.policie.cz/soubor/2013-12-informace-pdf.aspx
- (4) ISO / PWI 19237, Návrh normy. Intelligent Transport Systems – Pedestrian Collision Mitigation Systems – Operation, Performance, and Verification Requirements.
- (5) ITARDA, Japan Traffic Accident Databases (J-TAD). [Online]. [vid. 12. 2. 2014]. Dostupné z http://www.itarda.or.jp/english/e_outline1.php
- (6) NHTSA, Traffic safety facts 2010. [Online]. [vid. 12. 2. 2014]. Dostupné z <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811659.pdf>
- (7) Raksincharoensak, P. Drive Recorder Database Center in Tokyo University of Agriculture and Technology. [Online]. [vid. 12. 2. 2014]. Dostupné z http://www.fot-net.eu/download/international_workshops/tokyo/rt3_20131014_fotnet_pr_tuat_raksincharoensak.pdf
- (8) Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch Deutschland and internationales 2012. [Online]. [vid. 12. 2. 2014]. Dostupné z https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/StatistischesJahrbuch2012.pdf?__blob=publicationFile
- (9) Wilde, G. J. (1982). The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. *Risk analysis*, 2(4), 209-225.