

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Systemy nouzového brzdění
bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Veronika Hartová, Ph.D.
Autor práce: Marcel Svět

Praha 2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Marcel Svět

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Systémy nouzového brzdění

Název anglicky

Emergency braking systems

Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku bezpečnosti vozidel.

Hlavním cílem práce bude shrnutí vývoje systémů nouzového brzdění, popis těchto systémů, srovnání různých technologií systémů nouzového brzdění automobilů a jejich praktické otestování.

Metodika

Metodika řešené problematiky bakalářské práce je založena na studiu a analýzách odborných informačních zdrojů. Praktická část práce se bude věnovat testování brzdných systémů. Na základě rozboru teoretických poznatků a výsledků měření budou formulovány závěry bakalářské práce.

Práce bude zpracována dle osnovy:

- 1 Úvod
- 2 Cíl práce
- 3 Metodika práce
- 4 Přehled řešené problematiky
- 5 Praktická část práce
- 6 Zhodnocení výsledků
- 7 Závěr
- 8 Seznam použitých zdrojů
- 9 Přílohy

Doporučený rozsah práce

30 až 45 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

aktivní bezpečnost, nouzové brzdění, zabránění srážce, radar, stereokamery, FCW, AEB

Doporučené zdroje informací

ACKERMANN, Carlo, Rolf ISERMANN, Sukki MIN a Changwon KIM. Collision avoidance with automatic braking [online]. 2014 [cit. 2019-11-22].

Comparative test of advanced emergency braking systems [online]. 2017, 36 [cit. 2019-11-22].

HUH, Kunsoo, Jaehak PARK, Junyeon HWANG a Daegun HONG. A stereo vision-based obstacle detection system in vehicles. Optics and Lasers in Engineering [online]. 2008, (46), 168–178 [cit. 2019-11-22].

KARUSH, Sarah. Subaru crash avoidance system cuts pedestrian crashes. IIHS HLDI Status Report [online]. 2018, 53(3), 5 [cit. 2019-11-22].

VIKTOROVÁ, Lucie, Matúš ŠUCHA, Sukki MIN a Changwon KIM. Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. Transportation Research [online]. 2018 [cit. 2019-11-22].

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Veronika Hartová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

Ing. Martin Kotek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2022

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Systémy nouzového brzdění vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

.....

podpis studenta

Systemy nouzového brzdění

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá systémy automatického nouzového brzdění. Jejich správná funkce je velice důležitou složkou aktivní bezpečnosti silničních vozidel, protože slouží k zabránění srážce s jinými účastníky provozu a nárazu do překážek na vozovce, případně alespoň minimalizovat následky, pokud je srážka nevyhnutelná. V první části práce je popsána návaznost funkce systému AEB (Automated emergency braking = automatické nouzové brzdění) na systém FCW (Forward Collision Warning = systém varování před čelní srážkou) a další asistenční systémy. Dále jsou charakterizovány jednotlivé technologie detekce, které jsou asistenčními systémy využívány (radar, lidar, stereokamery), shrnuty reakce řidičů na systém nouzové brzdění a podrobně popsáno normalizované testování těchto systémů. Praktická část se věnuje zkoušení nouzového brzdění v reálném silničním provozu.

Klíčová slova: aktivní bezpečnost; nouzové brzdění; zabránění srážce; radar; stereokamery; AEB; FCW

Emergency braking systems

Abstract

The bachelor thesis deals with automated emergency braking systems. Their proper functioning is a very important part of the active safety of road vehicles, as it serves to prevent a collision with other road users and obstacles on the road, or at least to minimize the consequences if a collision is unavoidable. The first part of the thesis describes the connection of the AEB system (Automated emergency braking) to the FCW system (Forward Collision Warning) and other assistance systems. Furthermore, the detection technologies used by the assistance systems (radar, lidar, stereo cameras) are characterized, the reactions of drivers to the emergency braking system are summarized and the standardized testing of these systems is described in detail. The practical part is about testing emergency braking in real road traffic.

Key words: active safety; emergency braking; collision avoidance; radar; stereo cameras; AEB; FCW

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Veronice Hartové, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a připomínky při psaní práce. Také bych rád poděkoval své rodině za podporu při celém studiu.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	3
3	Metodika práce	4
4	Přehled řešené problematiky.....	5
4.1	Historie asistenčních systémů řidiče a popis jejich technologií.....	6
4.2	Technologie automatického nouzového brzdění.....	10
4.2.1	Stereokamery – Subaru EyeSight	10
4.2.2	Radar.....	11
4.2.3	Lidar.....	14
4.3	Psychologie řidičů ve spojení s asistenčními systémy	15
4.4	Reakce řidičů na systémy varování před čelní srážkou a automatického nouzového brzdění	15
4.5	Testování systémů automatického nouzového brzdění	17
4.6	Metodika testování automatického nouzového brzdění Euro NCAP	17
4.6.1	Testování automobil – chodec/cyklista.....	18
4.6.2	Testování automobil – automobil	29
4.7	Metodika testování automatického nouzového brzdění IIHS	33
5	Praktická část	35
5.1	Testovací vozidlo BMW řady 5 (generace F90).....	35
5.2	Testovací vozidlo BMW X6 (generace G06).....	38
6	Závěr	41
7	Seznam použitých zdrojů.....	43
8	Seznam obrázků a tabulek	48

1 Úvod

V moderní silniční dopravě se stále hustším provozem a stoupajícím počtem vozidel, cyklistů a chodců se zabránění vzájemným kolizím a nárazům vozidel do dalších překážek stává jedním z hlavních odvětví vývoje inteligentních bezpečnostních systémů a autonomního řízení. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) zemřelo při dopravních nehodách v roce 2018 na světě 1,35 milionu lidí. Dopravní nehody tak byly osmou nejčastější příčinou úmrtí napříč všemi věkovými kategoriemi, u dětí od pěti let a mladých dospělých ve věku do 29 let mají dokonce úmrtí způsobená zraněními při dopravních nehodách celosvětově smutné prvenství. V České republice zavinili v předloňském roce přes 86 tisíc nehod (80,2 % ze všech dopravních nehod) řidiči motorových vozidel, z toho celých 60 procent nehod za volantem osobních vozů. Velká část dopravních nehod je způsobena tak zvaným lidským faktorem, pro tuto práci jsou důležité zejména nevěnování se řízení, nedodržení dostatečné bezpečné vzdálenosti, oslnění řidiče a podobně. Proto se rozhodli výrobci automobilů vybavovat nová vozidla mnoha asistenčními systémy, jako jsou systémy varování před čelní srážkou, systémy zabránění srážce, nouzové autonomní brzdění, sledování odstupu a dalšími. Tyto systémy se snaží kolizi s ostatními vozidly, překážkami, chodci, případně cyklisty buď zcela zabránit, nebo alespoň zmírnit její následky. Fungují v několika fázích, které na sebe velice rychle navazují v návaznosti na tom, jak řidič na hrozící nebezpečí reaguje, či nereaguje. Systém při detekci hrozící nehody nejprve vydá akustické (nejčastěji pípnutí) a vizuální upozornění na přístrojové desce, poté následuje příprava brzdového systému vozidla na plný brzdový výkon a jako poslední autonomní brzdění systému, pokud řidič sám nereaguje. Když řidič po varování sešlápně brzdový pedál, systém nouzového brzdění mu asistuje maximalizací brzdového tlaku pro co nejkratší brzdovou dráhu. Aby se snížil počet nehod, zranění a případně úmrtí podporují výrobce samozřejmě v montáži těchto asistenčních systémů vlády jednotlivých států, mezinárodní organizace, jako je například Organizace spojených národů, i nezávislá konsorcia (Euro NCAP, IIHS-HLDI atd.) zabývající se crash testy, kde se přítomnost a funkčnost AEB (Automated emergency braking = automatické nouzové brzdění) promítá do celkového hodnocení vozu. Tato hodnocení vozidel jsou pro výrobce mimo jiné velice důležitá i z hlediska marketingu a v konkurenčním boji, takže se po dosažení velice dobré pasivní bezpečnosti vozidel v posledních letech snaží inovovat i aktivní složku bezpečnosti, která má za cíl předcházení samotným dopravním nehodám nebo zmírňování jejich

následků. Kromě toho je vývoj radarových, lidarových a kamerových systémů klíčový pro přechod na autonomní řízení automobilů, ke kterému je v tomto odvětví do budoucna snaha postupně přejít a velkou roli systémy ADAS (Advanced Driver Assistance Systems = pokročilé asistenční systémy řidiče) hrají rovněž ve zvyšování komfortu řidiče, kterému usnadňují ovládání vozidla, snižují únavu při řízení na dlouhých trasách a pomáhají při zvládnutí nečekaných situací [1] [2] [3].

2 Cíl práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na bezpečnost vozidel. Hlavním cílem práce je shrnutí vývoje systémů nouzového brzdění, popis těchto systémů, srovnání různých technologií systémů nouzového brzdění automobilů a jejich praktické otestování.

3 Metodika práce

Metodika řešení práce se zakládá na analýze odborných zdrojů a oficiálních směrnic, jejich studiu a vytvoření rešerše.

Praktická část se bude věnovat reálné zkoušce fungování systému automatického nouzového brzdění u běžného automobilu a zejména náchylnosti tohoto systému k chybným detekcím v silničním provozu. Aby bylo možné porovnání, bude se praktická část testovat dvakrát u dvou různých vozidel automobilky BMW na totožné předem stanovené testovací trase s různými charaktery provozu (městský/meziměstský provoz) při různých světelných podmínkách (den/noc). Obě vozidla jsou standardně vybavena systémem automatického nouzového brzdění, ovšem díky různému datu uvedení zkoušených modelů na trh se může chování systému lišit. Okruh pro zkoušení systémů automatického nouzového brzdění a varování před čelní srážkou bude začínat na Mělníku, povede přes město Štětí po silnicích 1., 2, a 3. třídy a odlišnou trasou se vrátí zpět na Mělník. Z testování budou pořízeny kamerové záznamy, snímky z palubní kamery umístěné na čelním skle automobilů budou do části s praktickou částí vloženy a okomentovány. Testovací okruhy budou absolvovány vždy se zapnutými všemi bezpečnostními asistenty, které budou nastavené na nejvyšší citlivost detekce. Před zahájením testovacího okruhu se řidič vždy ujistí, že jsou všechny asistenční systémy řidiče (varování před čelní srážkou, automatické nouzové brzdění, adaptivní tempomat, udržování v jízdním pruhu, detekce dopravního značení) aktivní. To je důležité, protože jsou funkce systémů vzájemně provázané, a proto musí být pro přesné vyhodnocení zapnuté všechny. Řidič bude vždy stejný (autor práce). Zkušenosti z praktického testování budou slovně vyhodnoceny v příslušné kapitole, kde budou také uvedeny přesné informace o testovaných vozidlech.

Závěr práce obsahuje shrnutí teoretických poznatků a jejich porovnání s praktickou částí práce.

4 Přehled řešené problematiky

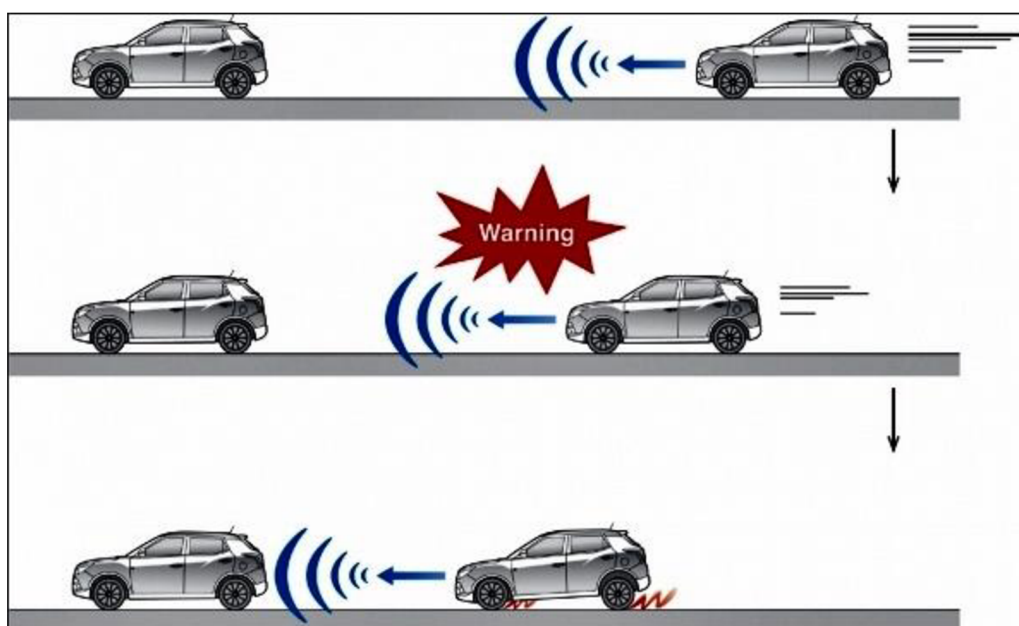
System automatického nouzového brzdění (AEB) je úzce propojen s činností systému varování před čelní srážkou (FCW = Forward Collision Warning) a při vyšších rychlostech vozidla například na dálnici také s prací adaptivního tempomatu (ACC = Adaptive cruise control). Všechny tyto systémy monitorují dění před vozidlem společnými snímači založenými na technologii stereokamery, radaru nebo lidaru, případně z důvodu zvýšení citlivosti, spolehlivosti a zabránění falešným poplachům více těmito způsoby detekce překážek současně.

Adaptivní tempomat podobně jako běžný tempomat udržuje nastavenou rychlost vozidla a tím zvyšuje komfort řidiče při řízení na dlouhých trasách. Narozdíl od běžného tempomatu se ovšem přizpůsobuje rychlosti okolních vozidel a samočinně za nimi udržuje bezpečnou vzdálenost díky tomu, že je schopen vozidla detekovat pomocí senzorů. Vzdálenost mezi vozidly bývá nastavitelná v několika krocích podle preferencí řidiče. Adaptivní tempomat funguje ve své nejmodernější generaci do rychlosti 210 km/h a u vozidel s manuální převodovkou je nejnižší rychlost, kterou je možné u tempomatu nastavit, 30 km/h. Vozidla s automatickou převodovkou mají zpravidla aktivovanou funkci Stop&Go, která posouvá činnost adaptivního tempomatu až do úplného zastavení např. v dopravní zácpě a následného samočinného rozjetí při pohybu vpředu jedoucího vozidla [4].

System varování před čelní srážkou řidiče upozorňuje na hrozící kolizi a předchází aktivaci systému automatického nouzového brzdění. Funguje na základě detekce překážek, vyhodnocování rychlosti vozidla, vzdálenosti mezi vozidly a rozdílu jejich rychlostí. Reakce varování před čelní srážkou a následného automatického nouzového brzdění, které reaguje postupně ve třech fázích na detekovaná vozidla a zranitelné účastníky provozu (chodce, cyklisty) před vozidlem, má tři fáze. Nejprve je řidič informován akustickým a optickým signálem (pípnutí a kontrolka či hlášení na přístrojové desce nebo průhledovém displeji v zorném poli řidiče), že hrozí srážka. Následuje příprava brzdového systému na plný brzdový výkon zvýšením tlaku v brzdové soustavě vozidla na maximum za účelem zkrácení brzdné vzdálenosti. Pokud řidič na upozornění zareaguje a sešlápne brzdový pedál, vozidlo mu pomůže v co možná nejsilnějším zpomalení aktivací plného účinku brzd, přestože by řidič nesešlápl brzdový pedál dostatečnou silou. V případě, kdy by řidič nereagoval, zahájí

vozidlo nouzové brzdění automaticky. Na obrázku 1 jsou tyto fáze chování systému schematicky znázorněny. Funkcí tohoto systému tedy je zabránění srážky nebo alespoň zmírnění jejích následků (snížení nárazové rychlosti), pokud je kolize nevyhnutelná. Systém je velice výhodný například při náhlém zastavení vpředu jedoucího vozidla [5] [6].

Obrázek 1: Tři fáze automatického nouzového brzdění [7]



4.1 Historie asistenčních systémů řidiče a popis jejich technologií

Zcela prvním vozem na světě, kde byla použita technologie snímání překážek před vozidlem, byl prototyp Cadillac Cyclone XP-74 vyrobený v roce 1959. Šlo o automobil, jehož design byl inspirovaný letectvím a kosmonautikou, s charakteristickým skleněným překrytem kabiny, který se otvíral automaticky spolu s elektricky ovládanými dveřmi. Vybavený byl osmiválcovým motorem a zejména dvěma radary v kuželovitých pouzdrech na místech předních světlometů, které sloužily k detekci ostatních vozidel a dalších předmětů na dálnicích. Řidič byl elektronicky upozorňován na nebezpečí výstražnými kontrolkami a zvukem. Kvůli příliš vysoké ceně se Cadillac Cyclone XP-74 nikdy nedostal do sériové výroby, předběhl ovšem výrazně dobu a téměř čtyři desetiletí byl jediným automobilem, na kterém technici pokusili o implementaci radarových systémů za účelem zvýšení bezpečnosti [8].

Až v devadesátých letech se vývoj radarů použitých k posílení aktivní bezpečnosti dal znovu do pohybu kooperací společností Delco Electronics a Hughes Research Laboratories, kterým se podařilo zmenšit radarové snímače z podoby velkých kuželů použitých v 50. letech do menších antén navržených speciálně pro použití v automobilovém průmyslu. Celý systém představený roku 1995 v Kalifornii byl mnohem pokročilejší, využíval 77GHz radar vpředu a radar s frekvencí 24 GHz pro snímání podmínek za vozidlem. Obě radarové antény byly integrované do mikroprocesoru, který vyhodnocoval i další údaje o vozidle, jako jsou úhel natočení volantů, rychlost vozidla, stav audiosystému vozidla, stav stěračů, zařazenou rychlost automatické převodovky a tlak v pneumatikách. Vyhodnocovaly se kolize s překážkami před i za vozidlem a program obsahoval různé scénáře pro řešení odlišných situací za různých podmínek. Varování před kolizí řidič dostával vizuálně, akusticky a hapticky, podle toho, jak bezprostředně srážka hrozila. Nicméně systém sám aktivně nezasahoval do řízení, řidiče pouze varoval [9].

Laserové diody k detekci okolních vozidel poprvé využila Toyota ve spolupráci s Denso. Vznikla tak technologie zvaná Lidar, která pomocí vysoce výkonné laserové diody vysílá impulsy laserového záření na vlnové délce 850 až 950 nm po odrazu od překážky přijímané fotodiodou a na základě triangulace nebo měření doby letu záření vypočítává vzdálenost překážek a relativní rychlost vůči vozidlům v okolí. Lidar Toyota nasadila do modelu Celsior, který se ve zbytku světa prodával jako Lexus LS 400, vyráběného od srpna 1997 a také do typu Progres nabízeného pouze na japonském trhu. Diody zde ovšem sloužily pouze pro adaptivní tempomat, který nebyl schopný automatického nouzového brzdění, jak je známo dnes [10].

Subaru EyeSight byl první systém pro asistenci řidiče, který používá pouze stereoskopické kamery za čelním sklem bez spolupráce s radarovými nebo lidarovými senzory. Značka Subaru byla jedna z prvních japonských značek, která již v šedesátých letech začala s nárazovými testy svých vozidel a první generaci své technologie asistenčních systémů uvedla v roce 2008, aby budovala svoji pověst výrobce bezpečných automobilů.

Dříve vyráběné a do automobilů montované systémy detekce však nezasahovaly přímo do řízení, v různých generacích při rozpoznání hrozící kolize připravily posádku vozidla na náraz přitažením bezpečnostních pásů a řidiči pomohly s brzděním pomocí zvýšení tlaku v brzdové soustavě automobilu. Sloužily proto jen jako varování před srážkou

a současně již v předstihu zvyšovaly pasivní bezpečnost. Zcela první systém automatického nouzového brzdění, kterým se věnuje tato práce, a skutečně se starají o samostatné zabrzdění, případně zastavení vozidla, představila švédská automobilka Volvo. Svůj typ XC60 jako první vůz na světě sériově vybavovala systémem nazvaným City Safety, který měl v rychlostech do 30 km/h bránit kolizím nebo alespoň snižovat jejich následky. City Safety první generace spoléhal na infračervené laserové snímače umístěné za čelním oknem u jeho horní hrany, které byly schopné detekovat ostatní vozidla do vzdálenosti 10 metrů před vozem. Vyhodnocování přítomnosti překážky probíhalo až 50krát za sekundu. Systém při rozpoznání překážky nejprve řidiče varoval o hrozící kolizi a předpřipravil brzdový systém zvýšením tlaku v soustavě poté, pokud řidič nereagoval, začal automaticky brzdit. Při rozdílu rychlostí vozidel do 15 km/h takto bylo možné se srážce zcela vyhnout, jakmile se rozdíl zvětšil došlo alespoň ke zmírnění srážky díky snížení nárazové rychlosti. Vzhledem k použité laserové technologii měl systém výhodu, že pracoval stejně ve dne i v noci, naopak potíže mu dělala mlha, silný déšť a sněžení. Velmi důležitá byla také čistota čelního okna vozidla. Volvo City Safety se osvědčil hned v prvních letech, kdy se jím vybavená vozidla (XC60 a S60) prodávala. Ve statistikách americké neziskové organizace IIHS-HLDI (Insurance Institute for Highway Safety / Highway Loss Data Institute = Pojišťovací institut pro bezpečnost na silnicích / Institut pro data o ztrátách na silnicích) byl zaznamenán pokles nahlášených škod na majetku v porovnání s vozidly stejných kategorií o 7 až 16 procent. Na autosalonu Geneva Motor Show 2013 poté automobilka Volvo jako první představila modernizaci automatického nouzového brzdění s detekcí cyklistů, díky které došlo k dalšímu posunu bezpečnosti takzvaných zranitelných účastníků provozu [11] [12] [13].

Na zasedání Organizace Spojených Národů v únoru 2019 se zástupci 40 států dohodli na povinnosti montáže systémů automatického nouzového brzdění do osobních automobilů, dodávek a mikrobusů a na sjednocení požadavků na tyto systémy pro kolize vozidlo-vozidlo a vozidlo-chodec, které budou přísnější než dříve. Systémy AEB budou pro nově uvedené vozy v Evropské Unii povinné od roku 2022, v Japonsku již nutnost jejich zabudování do nových osobních vozů platí od roku 2020 [14].

Automatickým nouzovým brzděním budou vybavovány také motocykly a vývojem radarových snímačů a dalších součástí se zabývá např. společnost Continental, která pro motocykly připravila pátou generaci svých snímačů, které jsou velice podobné sensorům pro osobní automobily. Zcela odlišně ovšem musí být naladěný software, protože narozdíl od

automobilů není u jednostopého vozidla bezpečné při nouzovém brzdění v krizové situaci použít maximální brzdnu sílu. Takové chování systému by mohlo mimo jiné vést k podklouznutí předního kola a brzdny účinek se proto musí dávkovat mnohem pečlivěji [15].

Ještě mnohem důležitější z hlediska vážných dopravních nehod a časového vytížení řidičů je montáž automatického nouzového brzdění do nákladních vozidel, proto se do nově prodávaných nákladních vozidel na území Evropské Unie musí tento systém povinně montovat již od roku 2018. Systémy a technologie se podobají těm používaným v osobních vozidlech, takže výrobci většinou spoléhají na radary kombinované s kamerou. Takové řešení používá MAN, Scania i další velcí producenti nákladních vozidel a reakce AEB na hrozící kolizi probíhá stejně jako u osobních automobilů, kdy je řidič před srážkou nejprve varován optickým a akustickým signálem a pokud nereaguje, systém samostatně zahájí nouzové brzdění [16] [17].

4.2 Technologie automatického nouzového brzdění

Technologie bezpečnostních asistentů prochází neustálým vývojem. Následující kapitoly přibližují systémy na bázi stereokamer, radaru a Lidaru, které se navíc pro optimální funkci vzájemně kombinují, aby se využily výhody a minimalizoval vliv nevýhod jednotlivých řešení.

4.2.1 Stereokamery – Subaru EyeSight

Subaru používalo od počátku pro snímání překážek a vpředu jedoucích vozidel pro adaptivní tempomat, varování před čelní srážkou a automatické nouzové brzdění při jízdě vpřed pouze CMOS stereoskopické kamery. Další součásti systému EyeSight, jako je hlídání mrtvého úhlu, detekce překážek při couvání, hlídání únavy řidiče a podobné již spoléhají na konvenční řešení podobná jako u ostatních výrobců. První generace byla uvedena na trh v roce 2008 a využití stereoskopické kamery namontované u horní hrany čelního okna vozidla bylo přelomovou technologií. Poměrně brzy následovala vylepšená 2. generace, kterou společnost Subaru představila o dva roky později. Velkou modernizací systém EyeSight prošel pro modelový rok 2014, kdy se třetí generací přišly barevné stereokamery, díky kterým bylo možné nově vyhodnocování situace před vozidlem rozšířit ještě o detekci rozsvícení brzdových světel vpředu jedoucího automobilu. Ta umožnila lepší optimalizaci nouzového brzdění, protože systém není závislý jen na snímání přibližování se k překážce, ale může se na brzdění připravit s předstihem. Osm let po vyrobení prvních vozů Subaru se systémem EyeSight slavila společnost jubileum jednoho milionu vyrobených automobilů, nad jejichž bezpečností EyeSight bdí. Montoval se do všech vyráběných Subaru kromě sportovního modelu BRZ vyvinutého ve spolupráci se společností Toyota. V současnosti ovšem Subaru již narazilo na limity technologie využívající pouze stereokamery a rozhodlo se pro rok 2021 systém v jeho čtvrté generaci (EyeSight X) rozšířit o Lidarové snímače vyvinuté ve spolupráci s firmou ON Semiconductor. K tomuto rozhodnutí společnost došla, přestože již její předchozí generace asistenčních systémů dosáhly nejvyšších hodnocení při testování organizací IIHS, protože si stanovila za cíl, že v roce 2030 v jejích vozech nedojde k žádnému úmrtí. Zpracování a vyhodnocování velkého množství signálu ze stereokamery je velice náročné na výkon výpočetního hardwaru, a proto se nejnovější generace spoléhá na mikroprocesory Xilinx Zynq UltraScale+ se 16nm technologií, které neustále propočítávají 3D mračna bodů nasnímaná pomocí kamer a lidarových snímačů při velmi vysoké

spolehlivosti a s velice malým zpožděním. Stereokamera tedy svými dvěma objektivy snímá obraz (pixely), lidarový snímač odražený paprsek laserové diody (popsáno podrobněji v kapitole věnující se lidarovým snímačům) a procesor z těchto dat neustále vyhodnocuje vzdálenost objektů, rychlost přibližování vozidla k nim, tvar objektů apod. Na obrázku 2 je stereokamera a procesor poslední verze Subaru EyeSight s prototypem typu vozidla Subaru Levorg, které bylo jako první vybaveno nejnovější generací nazvanou EyeSight X [18] [19] [20] [21].

Obrázek 2: Stereokamera a procesor Subaru EyeSight X [19]



4.2.2 Radar

Radar používá k detekci překážek velmi krátké elektromagnetické vlny a překážky vyhodnocuje na základě Dopplerova jevu, kdy porovnává vyzařované a zpět odražené záření. Na výrobu radarových snímačů se soustředí společnosti jako Robert Bosch GmbH (Německo), HELLA KGaA (Německo), Continental AG (Německo), Denso Corporation (Japonsko), Delphi Automotive PLC (Velká Británie), Autoliv Inc. (Švédsko) a Valeo SA (Francie) a Infineon Technologies AG (Německo) nebo NXP Semiconductors NV (Nizozemsko) dodávají procesory. Používají se dvě různá frekvenční pásma snímačů – 2X GHz a 7X GHz.

Radary s frekvenčním pásmem 2X GHz se používají hlavně pro aplikace s krátkým dosahem, jsou k dispozici za nižší cenu bez kompromisů ve funkcích. Využívají je asistenční

systemy, jako je detekce vozidla v mrtvém úhlu, asistent pro jízdu v pruzích, parkovací asistent, výstraha před křižujícími objekty za vozidlem a rozpoznávání dopravního značení.

Druhý typ snímačů, který zahrnuje frekvence 76 GHz, 77 GHz a 79 GHz, se využívá pro funkce bezpečnostních asistentů se středním a dlouhým dosahem. Mikrovlnné záření o těchto frekvencích má vlnovou délku čtyři milimetry. Tento druh je díky delšímu dosahu vhodný pro systémy, na které se zaměřuje tato práce. Jsou jimi asistenty varování před čelní srážkou, automatické nouzové brzdění, dále adaptivní tempomat aj. Pro všechny tyto systémy je možné současně využívat jeden kus radarového snímače namontovaného v přední části vozidla (mřížka chladiče, maska v předním nárazníku) [22].

Příkladem takového snímače je přední radarový snímač se středním dosahem německého výrobce Robert Bosch GmbH, jehož fotografie je na obrázku 3. Jedná se o univerzálně používaný typ pracující na frekvenci 76 až 77 GHz s dosahem detekce až 210 metrů. Zorný úhel činí 60 stupňů v horizontálním a 15 stupňů ve vertikálním směru, přesnost detekce je 0,1 metru. Celý snímač je ukrytý v odolném pouzdře o rozměrech 63 x 74 x 19 mm a kromě kompaktních rozměrů se vyznačuje i nízkým příkonem do 4 W [23].

Obrázek 3: Přední radarový snímač Bosch [23]



Na obrázku 4 je zachyceno umístění radarového snímače, jak bylo provedeno automobilkou Alfa Romeo. Z fotografie je viditelná montáž poměrně nízko do předního

nárazníku, takže hrozí vyšší riziko poškození nebo znečištění snímače např. nečistotami či sněhem.

Obrázek 4: Montáž radarového snímače Bosch do mřížky předního nárazníku (Alfa Romeo Stelvio) [24]



Pro aplikace, kde je nutný delší dosah radaru, nabízí Bosch snímač LRR4, který pracuje na stejné frekvenci jako výše zmíněný model se středním dosahem, ale oproti němu je v tomto případě dosah až 250 metrů a senzor je vybaven celkem šesti anténami. Čtyři slouží pro detekci vzdálenějších překážek, další dvě umístěné na stranách snímače rozpoznávají předměty až do vzdálenosti pouhých 36 centimetrů před vozidlem a díky většímu zornému úhlu se používají také ke snímání vozidel a chodců blížících se k vozidlu z boku např. v křižovatce [25].

Obrázek 5: Radarový snímač s dlouhým dosahem Bosch LRR4 [25]



4.2.3 Lidar

Technologie lidarových snímačů spoléhá při rozpoznávání překážek před vozidlem na impulsy laserového záření. Základ měření vzdálenosti překážek je podobný jako u snímačů využívajících mikrovlnné záření, nicméně vysílač záření je odlišný. Vysílačem zde je laserová dioda, která přes optické čočky vysílá laserové záření z infračerveného spektra s vlnovou délkou 850–950 nm. Odražené záření poté přijímá optický přijímač. Kvůli zvýšení přesnosti je lidar zpravidla kombinován s kamerou umístěnou za čelním oknem vozidla. Jednotka lidarového snímače, která je celá umístěná v masce chladiče v předním nárazníku vozidla značky Audi, je vyobrazena na obrázku 6 [26] [27].

Obrázek 6: Lidarový snímač v předním nárazníku vozidla [28]



4.3 Psychologie řidičů ve spojení s asistenčními systémy

Výuce, vzdělávání řidičů a také rozboru jejich psychologie se věnuje publikace z Univerzity Palackého v Olomouci, jejíž metodika byla certifikována Ministerstvem dopravy v roce 2017. Dělí řidiče podle osobnosti na bezpečné a nebezpečné. Bezpeční řidiči se nedopouštějí dopravních nehod, odborníci stanovili jejich rysy následovně: jsou všestranně způsobilí, mají potřebné znalosti i dovednosti, jsou tělesně, smyslově i duševně vyspělí. V chování a prožívání jsou zodpovědní, vyrovnaní, přizpůsobiví, optimističtí, svědomití, sebevědomí, empatičtí, spolehliví, nezávislí, emočně stabilní, snášenliví, dostatečně flexibilní, pohotoví, rozvážní, obezřetní, trpěliví a rozhodní. Mají také dostatečnou sebekontrolu, realistické názory a udržují uspokojivé mezilidské vztahy. V případě potřeby se umí rychle a správně rozhodnout se silně vyvinutou potřebou bezpečnosti. Nebezpeční, nebo též rizikovní řidiči vykazují opačné vlastnosti, navíc jsou často negativně ovlivněni aktuálním tělesným a duševním stavem. Na jejich stav má vliv nadměrná únava, léky, alkohol či jiné návykové látky. Styl řízení rizikových řidičů je také odrazem nedostatečných zkušeností za volantem. Osobnostní charakteristiky těchto řidičů jsou nepřizpůsobivost, impulzivnost, pesimismus, náladovost, nespolehlivost, nedůtklivost, nezodpovědnost, emoční labilita, neopatrnost, agresivita, exhibicionismus a odmítání norem a pravidel. Nebezpeční řidiči často vyhledávají přílišné vzrušení.

U skupiny bezpečných řidičů se předpokládá, že budou na asistenční systémy lépe reagovat a snáze se naučí je přijímat, protože jim pomohou snáze řešit nebezpečné situace a usnadní jim cestování. Naproti tomu nebezpeční řidiči se zřejmě budou obávat používání ADAS z důvodu omezování jejich způsobu řízení [5].

4.4 Reakce řidičů na systémy varování před čelní srážkou a automatického nouzového brzdění

Podle výzkumu Univerzity Palackého v Olomouci z roku 2016 řidiči systém používají kvůli bezpečnosti, ale při řízení se stejně spoléhají především na sebe. Existují řidiči, kteří systém záměrně nepoužívají v situacích, kdy odhadují, že budou muset sami rychle reagovat. Systém vnímají jako užitečný převážně v situacích, kdy vpředu jedoucí vozidlo náhle zabrzdí. Systém podle nich dokáže v takových případech zareagovat dříve než

řidič. Řidičům někdy vadí prudké brzdění systému. Připadá jim, že funguje až na poslední chvíli. Určitá skupina řidičů si stěžuje, že systém začne rovnou prudce brzdít. Ocenili by, kdyby je systém vždycky nejdříve varoval rozsvícením kontrolky, poté zvukovou signalizací a kdyby brzdění nastalo až potom. Brzdění systému je velmi intenzivní, řidičům se zdálo dvakrát účinnější než běžné brzdění. Někteří řidiči při průzkumu uváděli, že se při příliš intenzivního tónu pípnutí systému lekli nebo je tento zvuk zcela rozhodil či rozptýlil. Prudké a nečekané brzdění podle nich může řidiče natolik vylekat, že automaticky strhnou volant. Někteří řidiči jsou nejistí, zda by se při takto prudkém brzdění nemohl automobil snadno dostat do smyku, třeba na mokré či namrzlé vozovce. Řidičům rovněž vadily plané poplachy, při nichž se systém aktivuje, ačkoliv má řidič situaci zcela pod kontrolou. Typicky se to děje v situacích, kdy automobil začne zpomalovat za vozidlem, které odbočuje, anebo při předjíždění, kdy řidič akceleruje ještě ve svém jízdním pruhu a hodlá teprve přejet do sousedního pruhu – a automobil začne náhle brzdít. Takové situace jsou velice složité i pro vzadu jedoucí řidiče. Řidiči vozidel vybavených systémem automatického nouzového brzdění se obávají, že by je při takové nečekané reakci mohl někdo nabourat zezadu. Někteří řidiči se obávají, že se časem začnou na systém příliš spoléhat a zleniví. Podle nich totiž systém řidiče odvádí od nutnosti předvídat a mohou proto toto umění postupně zapomenout. Řidiči se také obávají, že pokud by si na tento systém ve svém vozidle zvykli, nestihli by pohotově zareagovat v jiném voze, který tento systém nemá. Respondenti se domnívají, že by někteří řidiči polevili v pozornosti, pokud by věděli, že za ně část úkonů převezme systém. Mohli by se potom na systém přespříliš spoléhat. Obávají se, že ne každý řidič si plně uvědomuje, že systém je pouze tzv. poslední ochranou a zodpovědnost je ve všech ohledech na řidiči samotném. Někteří řidiči, kteří systém Front Assistant se schopností díky sensorům rozpoznat překážku na vozovce, snažící se zabránit kolizi anebo snížit její následky a funkční od rychlosti 5 km/h ve svých vozech používají, si stěžují na brzdění automobilu v koloně nebo při odbočování vpředu jedoucího vozu. Případná chyba systému podle nich představuje příliš vysoké riziko, za které by byli zodpovědní. Řidičům vadí, že systém nedokáže vyhodnotit signalizaci ukazateli směru u vpředu jedoucího vozu. Systém také může zareagovat na kruhových objezdech, kde je malá vzdálenost mezi projíždějícími vozy. Při intenzivním automatickém brzdění navíc může dojít ke zranění nepřipoutaných pasažérů ve vozidle [29] [30].

4.5 Testování systémů automatického nouzového brzdění

Systémy automatického nouzového brzdění jsou podrobovány normovaným zkouškám v nezávislých konsorciích provádějících nárazové testy Euro NCAP v Evropě a IIHS-HLDI v USA. Metodika zkoušek se na jednotlivých kontinentech liší, ale v základní podstatě je podobná. Testuje se vždy reakce systému na automobily a tzv. zranitelné účastníky provozu při různých situacích, které mohou v reálném silničním provozu nastat. Jak jsou zkoušky prováděny, tj. testované vozidlo a speciální testovací model, je zřejmé z obrázku 7, na kterém je zakresleno spuštění systému AEB a jeho samočinné brzdění za modelem vozidla.

Obrázek 7: Zjednodušený obrázek testování AEB [31]



4.6 Metodika testování automatického nouzového brzdění Euro NCAP

Euro NCAP je nezávislé konsorcium, které od roku 1996 provádí nárazové zkoušky automobilů a tradičně je hodnotí známým systémem hvězdiček. V roce 2011 bylo k nárazovým zkouškám přidáno ještě hodnocení ESC (Electronic stability control = Elektronický stabilizační systém) a o tři roky později hodnocení funkce automatického nouzového brzdění. Testovala se reakce systému na potenciální střet s jiným vozidlem jedoucím stejným směrem. Zkoušky byly poté v roce 2015 dále rozšířeny o střet s chodcem a v roce 2018 testování možné srážky s cyklistou. Před dvěma lety, tj. v roce 2020, byly zkoušky rozšířeny o automatické nouzové brzdění při couvání a odbočování. V současnosti

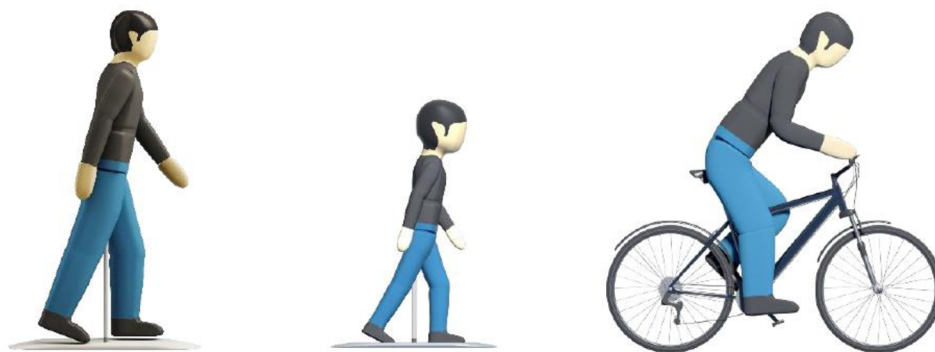
hodnocené zkoušky AEB jsou spolu s názornými obrázky popsány v následujících kapitolách [31].

4.6.1 Testování automobil – chodec/cyklista

Srážky automobilů s chodci jsou jedny z nejčastějších nehod způsobených nepozorností řidiče nebo jeho vyrušením. Většinou k nim dochází v městských rychlostech zhruba do 50 km/h, když chodec překříží dráhu jedoucího vozidla, mají za následek vážná zranění chodců a řidič má při nich velmi málo času reagovat. Automatické nouzové brzdění je proto konsorciem Euro NCAP testováno i s ohledem na zranitelné účastníky silničního provozu jako podsystém AEB VRU (Automatic Emergency Braking – Vulnerable Road User).

Jako cíle k testování systémů se používají normalizované figuríny dospělého, průměrně vysokého muže (EPTa), chodce – 6letého dítěte (EPTc) a cyklisty (EBT). Všechny figuríny mají oblečenou černou košili a modré kalhoty (viz obrázek 8) a jsou vyvinuté, aby je dokázaly snímat kamerové, radarové (frekvence 24 a 77 GHz) i Lidarové snímače používané v automobilech. Při srážce zároveň nesmí dojít k poškození testovaného vozidla [32].

Obrázek 8: Testovací figuríny Euro NCAP [32]



AEB a FCW systémy ve vozidle jsou vždy nastaveny na střední stupeň citlivosti, v případě sudého počtu stupňů na úroveň bližší k pozdější reakci systému. Používá se zcela nově vyrobený vůz dodaný z výrobního závodu, se kterým zkušební laboratoř najede 100 kilometrů v běžném provozu, aby se zkalibrovaly asistenční systémy. Pokud tento nájezd není možné uskutečnit, u vozidla se alespoň „zajede“ brzdový systém opakovaným brzděním z 56 a 72 km/h. Podobně se zajíždí i pneumatiky a před započítáním samotného zkoušení se musí otestovat, zda jsou systémy nouzového brzdění a varování před čelní

srážkou funkční. Provádí se šest různých kategorií testů s chodci a čtyři druhy testy s cyklistou, za část s chodcem může vozidlo získat až devět bodů, za cyklistu stejně tak, celkem tedy 18 bodů za všechny testy AEB VRU. Aby se vyloučil vliv lidského faktoru, obsluhují testovaná vozidla během zkoušek speciálně vyvinutí roboti [33].

Testovací dráha je pro jeden typ testů přímá, ale od roku 2020 se rovněž testuje chování při odbočování, pro které je nutná dráha ve tvaru křižovatky. Povrch dráhy musí být asfaltový a nesmí na něm být žádné nepravidelnosti, jako jsou záplaty, výmoly, víka kanálů atp. Je dovoleno, ale nikoliv vyžadováno vodorovné dopravní značení. Z důvodu vykonávání některých zkoušek v noci je kvůli přesnější simulaci městského prostředí dráha vybavena také lampami veřejného osvětlení. Testuje se pouze za sucha při teplotách od 5 do 40 °C [33].

4.6.1.1. Test CPFA (Car to *Pedestrian* Farside Adult)

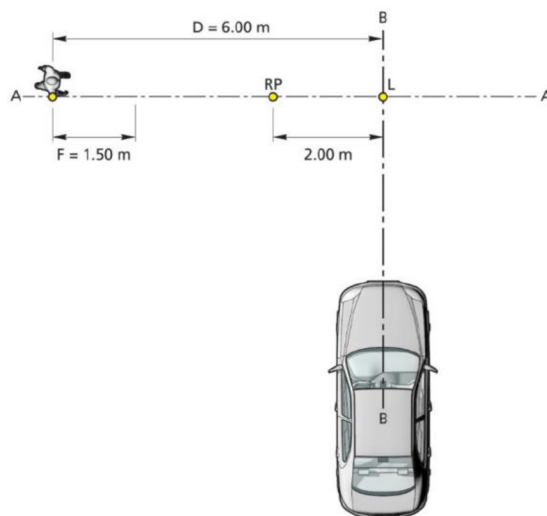
Rychlost testovaného vozidla začíná na 10 km/h, vozidlo jede dopředu a dráha figuríny je k dráze vozidla kolmá, jak shrnují parametry v tabulce 1.

Tabulka 1: Parametry testu CPFA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	10–60	vpřed	8	den

Ve vzdálenosti šest metrů od podélné osy vozidla „vyběhne“ zleva bez zakrytí překážkou chodec. Rychlost vozidla se postupně zvedá po 10 kilometrech za hodinu. Test probíhá v souladu s plánkem uvedeným níže na obrázku 9.

Obrázek 9: Schématický plán testu CPFA [32]



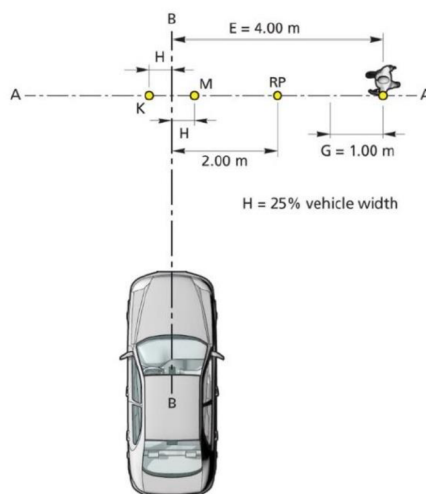
4.6.1.2. Test CPNA (Car to Pedestrian Nearside Adult)

Tabulka 2: Parametry testu CPNA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	10–60	vpřed	5	den i noc

Ve vzdálenosti čtyři metry od podélné osy vozidla „vyjde“ zprava bez zakrytí překážkou chodec. Rychlost vozidla se postupně zvedá po 10 kilometrech za hodinu. Zkouška se provádí ve dne i v noci, vždy podle schématu na obrázku 10 a při podmínkách vypsanych v tabulce 2. V noci má vozidlo rozsvícená potkávací světla a prostor je navíc osvětlený pouličním osvětlením.

Obrázek 10: Schématický plán testu CPNA [32]



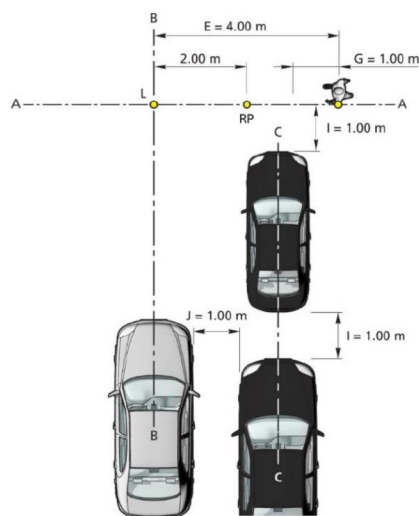
4.6.1.3. Test CPNC (Car to Pedestrian Nearside Child)

Tabulka 3: Parametry testu CPNC [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	10–60	vpřed	5	den

Ve vzdálenosti čtyři metry od podélné osy vozidla „vyjde“ zprava dítě, které je zakryté dvěma zaparkovanými automobily. Automobily mají předepsané rozměry a normalizované rozmístění uvedené na oficiálním plánu zkoušky (viz obrázek 11). Blíže k vycházejícímu chodci stojí menší vozidlo s délkou 4,1 do 4,4 metru, šířkou 1,7 až 1,9 metru bez vnějších zpětných zrcátek a výškou 1,3 až 1,5 metru. Za ním parkuje větší vůz třídy SUV dlouhý 4,3 až 4,7 metru, široký bez zrcátek od 1,75 do 1,9 metru a vysoký 1,5 až 1,8 metru. Rychlost zkoušeného vozidla se postupně zvedá po 10 kilometrech za hodinu.

Obrázek 11: Schématický plán testu CPNC [32]



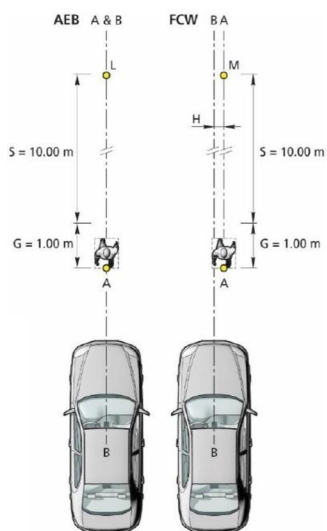
4.6.1.4. Test CPLA (Car to Pedestrian Longitudinal Adult)

Tabulka 4: Parametry testu CPLA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	20–60	vpřed	5	den i noc
FCW	50–80	vpřed	5	den i noc

V tomto testu se vozidlo přibližuje zezadu k ve stejném směru krácejícímu chodci. Směry vozidla a chodce jsou zřetelné z obrázku 12, rychlost a světelné podmínky také z tabulky výše. Při nižších rychlostech se testuje funkce automatického nouzového brzdění, při vyšších poté varování před čelní srážkou. Kromě toho se obě zkoušky provádějí ve dne i v noci, kdy má testované vozidlo rozsvícená potkávací a dálková světla. Na rozdíl od zkoušky CPNA se tento test provádí bez pouličního osvětlení, aby byla věrně simulována situace chodce krácejícího po neosvětlené silnici mimo obec.

Obrázek 12: Schématický pláněk testu CPLA [32]



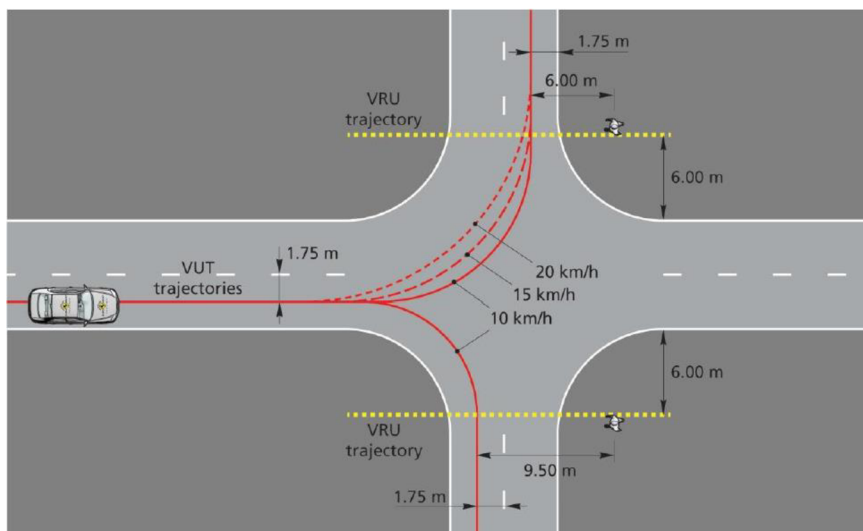
4.6.1.5. Test CPTA (Car to Pedestrian Turning Adult)

Tabulka 5: Parametry testu CPTA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	10, 15, 20	odbočení doleva	5	den
AEB	10	odbočení doprava	5	den

V souladu s plánkem na obrázku 13 se zkouší chování systému nouzového brzdění při odbočování v křižovatce. Odbočování doleva probíhá po přesně určených drahách při rychlostech 10, 15 a 20 km/h, doprava poté pouze při rychlosti 10 km/h, jak uvádí tabulka 5, protože vozidlo musí projet oblouk o menším rádiusu. Tato zkouška slouží k otestování nouzového brzdění ve městě, kde se často nachází přechody pro chodce a místa pro přecházení v blízkosti křižovatek ulic.

Obrázek 13: Schématický plán testu CPTA [32]



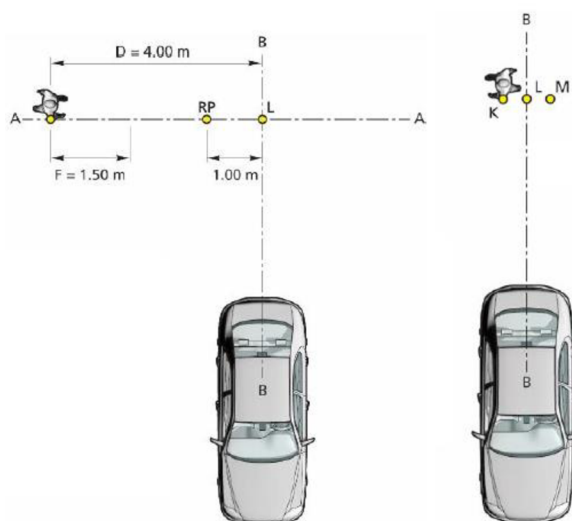
4.6.1.6. Test CPRA (Car-to-Pedestrian Reverse Adult)

Tabulka 6: Parametry testu CPRA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	4, 8	vzad	5	den
AEB	4, 8	vzad	0	den

Během testu vstoupí do dráhy couvajícího vozidla ze vzdálenosti čtyř metrů od podélné osy vozidla dospělý chodec, resp. v dráze již od začátku zkoušky stojí (obrázek 14 vlevo, resp. vpravo). Testované vozidlo couvá vždy rychlostmi 4, resp. 8 kilometrů za hodinu. K podobným kolizím chodců s automobily dochází velice často na parkovištích, proto je Euro NCAP zařadil do testovacího programu systémů nouzového brzdění. Ovšem ne všechny systémy AEB funkcí brzdění při couvání disponují, u takových jsou pochopitelně tyto zkoušky vynechány. Tato zkouška se provádí pouze při plném denním osvětlení, což je uvedeno v tabulce 6, která obsahuje parametry testu CPRA.

Obrázek 14: Schématický plán testu CPRA [32]



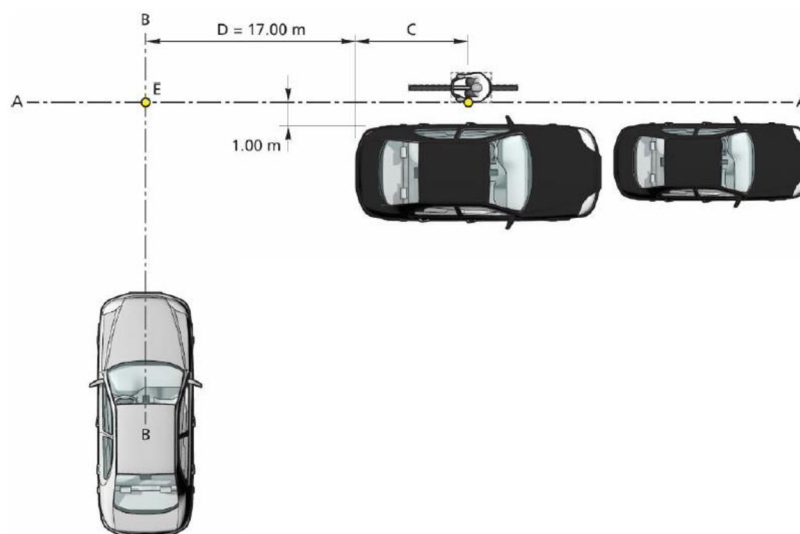
4.6.1.7. Test CBNA (Car to Bicyclist Nearside Adult)

Tabulka 7: Parametry testu CBNA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	10–60	vpřed	15	den

Cyklista „vyjíždí“ nejprve zpoza zaparkovaného vozidla, jehož zadní část se nachází 17 metrů od dráhy testovaného vozidla a poté se dostává do přímého výhledu snímačů vozidla. Cyklista se pohybuje zprava doleva rychlostí 15 km/h. Stejně jako u zkoušek reakcí systému na chodce se i zde rychlost vozidla zvyšuje po deseti kilometrech za hodinu v rozmezí hodnot zapsaných v tabulce 7 a samozřejmě i u těchto zkoušek se používají normalizovaná zaparkovaná vozidla. Schéma zkoušky je níže na obrázku 15.

Obrázek 15: Schématický plán testu CBNA [32]



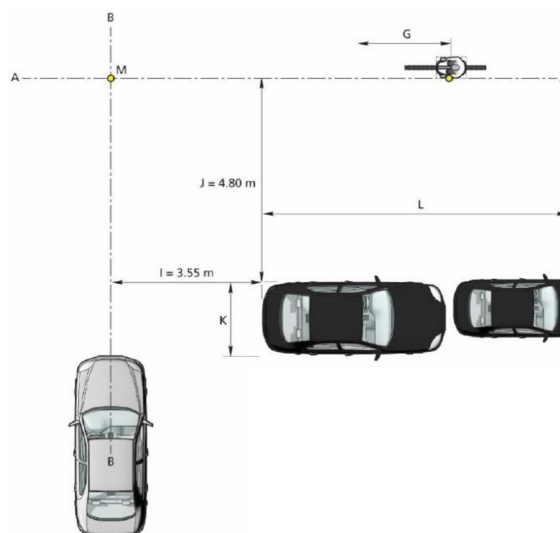
4.6.1.8. Test CBNAO (Car to Bicyclist Nearside Adult Obstructed)

Tabulka 8: Parametry testu CBNAO [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	10–60	vpřed	10	den

Tato zkouška je velmi podobná CBNA, pouze se cyklista pohybuje nižší rychlostí (viz tabulka 8), je více vzdálený od zaparkovaných automobilů a dráha testovaného vozidla je podstatně blíže zadní části posledního zaparkovaného vozu. To znamená, že je cyklista pro systém viditelný později kvůli překážce ve výhledu. Uspořádání zkoušky, jak ji předepisuje Euro NCAP ve svých směrnících, je na obrázku 16.

Obrázek 16: Schématický plán testu CBNAO [32]



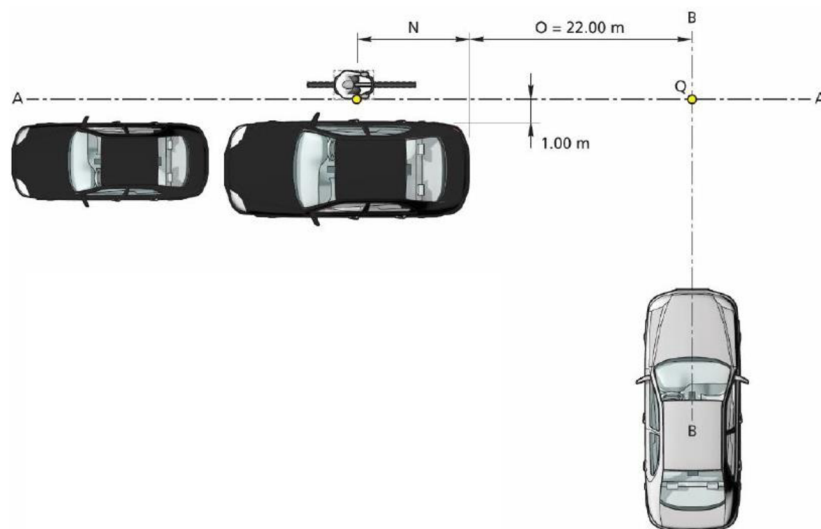
4.6.1.9. Test CBFA (Car to Bicyclist Farside Adult)

Tabulka 9: Parametry testu CBFA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	10–60	vpřed	20	den

Při testu CBFA cyklista „vyjíždí“ zleva zpoza zaparkovaných vozidel, přičemž druhé z nich stojí 22 metrů od dráhy testovaného vozidla a až poté se dostává rychlostí 20 km/h do přímého výhledu snímačů vozidla. Rychlost cyklisty při daných podmínkách tohoto testu z tabulky 9 je vyšší než u předcházejících zkoušek. Na obrázcích 15, 16 a 17 je také viditelné, že zaparkované vozidlo stojící blíže k dráze testovaného vozidla má větší rozměry než vozidlo vzdálenější, aby byla práce systému automatického nouzového brzdění důkladně prověřena.

Obrázek 17: Schématický plánec testu CBFA [32]



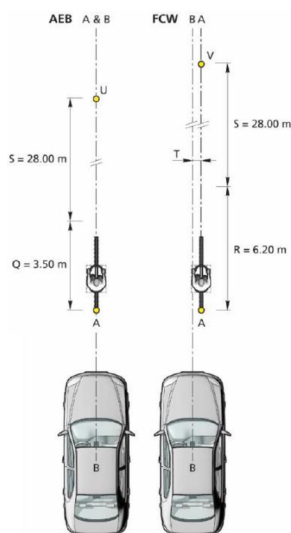
4.6.1.10. Test CBLA (Car to Bicyclist Longitudinal Adult)

Tabulka 10: Parametry testu CBLA [32]

Testovaný systém	Rychlost vozidla [km/h]	Směr vozidla	Rychlost cíle [km/h]	Světelné podmínky
AEB	25–60	vpřed	15	den
FCW	50–80	vpřed	20	den

V tomto testu se vozidlo přibližuje zezadu k ve stejném směru jedoucímu cyklistovi dle obrázku 18. Při nižších rychlostech se testuje funkce automatického nouzového brzdění (na obrázku vlevo), při vyšších poté varování před čelní srážkou (schéma vpravo). Obdobná zkouška s chodcem (CPLA) se prováděla i za snížené viditelnosti, s cyklistou se testuje pouze ve dne. Světelné podmínky spolu se zbývajícími parametry obsahuje tabulka 10.

Obrázek 18: Schématický plán testu CBLA [32]



4.6.2 Testování automobil – automobil

V městském provozu je velice častý náraz automobilu do vozidla, které již před ním zastavilo. Uvádí se, že tento typ nehod tvoří v Evropě až čtvrtinu všech dopravních nehod na pozemních komunikacích. K nárazům dochází ve městech v poměrně nízkých rychlostech, přesto jsou pro posádku vozidla stojícího nebo pomalu jedoucího vpředu, často velmi závažné z hlediska poranění krční páteře kvůli pohybu hlavy směrem vzad během nehody. Mimo obce dopravní nehody s tímto scénářem vznikají pochopitelně ve vyšších rychlostech, kdy řidič z důvodu rozptýlení nezaznamená před ním stojící vozidlo nebo pomalý provoz. Euro NCAP provádí zkoušky automatického nouzového brzdění pro tyto situace jako část AEB Car-to-Car, za kterou může vozidlu v konečném hodnocení udělit až 6 bodů [33].

Model skutečného osobního automobilu GVT (Global Vehicle Target) se využívá jako cíl při testování reakce nouzového brzdění na jiné vpředu pomaleji jedoucí nebo stojící vozidlo a také na vozidlo jedoucí v protisměru. GVT odpovídá rozměry osobnímu automobilu kategorie M1, to znamená automobilu, který má kromě místa řidiče sedadla ještě pro dalších nejvíce osm cestujících. Konkrétně se jedná o bílý hatchback. Tento model musí automobil připomínat i svým tvarem, musí být dostatečně lehký a současně pružný, aby nedošlo k poškození testovaného automobilu při případné kolizi s cílem. Také musí být zaručena rozpoznatelnost pro všechny využívané snímací systémy a musí na něm bezpečně

místo pro montáž GPS antény, na které anténa nebude rušena materiálem používaným k detekci cíle radarem. Od roku 2018 je model GVT normalizován a má předepsané rozměry s délkou 4023 mm, celkovou výškou 1423 mm, šířkou 1712 mm. Hmotnost modelu nesmí být vyšší než 110 kg. Požadavky na testovací dráhu, povětrnostní podmínky a podmínky měření, stejně tak i nastavená citlivost systémů AEB a FCW jsou shodné se zkouškami AEB VRU [34].

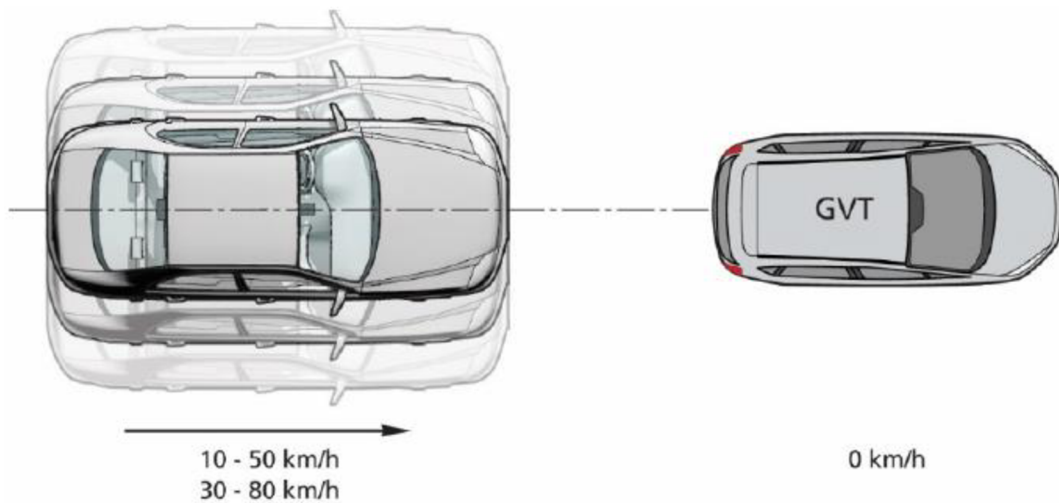
4.6.2.1. Test CCRs (Car to Car Rear stationary)

Tabulka 11: Parametry testu CCRs [33]

Testovaný systém		Rychlost vozidla [km/h]	Rychlost cíle [km/h]
kombinace AEB + FCW	AEB	10–50	0
	FCW	30–80	0
pouze AEB		10–80	0
pouze FCW		30–80	0

V tomto testu se testované vozidlo přibližuje zezadu ke stojícímu modelu. Testují se automatické nouzové brzdění a systém varování před čelní srážkou použité v kombinaci i samostatně (viz tabulka 11). Systémy se zkouší při různých velikostech přesahu testovaného vozidla přes GVT model, konkrétně pro přesah 0 %, 25 % a 50 % šířky testovaného vozidla na obě strany od jeho podélné osy a rychlost se při měření postupně zvedá po 5 km/h. Přesah i rychlost vozidla jsou zakresleny na obrázku 19.

Obrázek 19: Schématický plán testu CCRs [33]



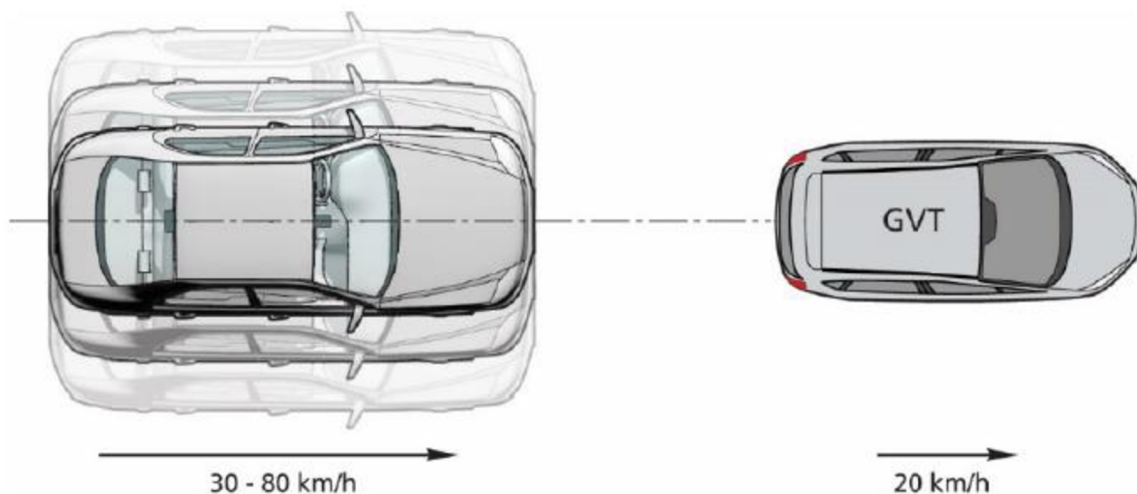
4.6.2.2. Test CCRm (Car to Car Rear moving)

Tabulka 12: Parametry testu CCRm [33]

Testovaný systém		Rychlost vozidla [km/h]	Rychlost cíle [km/h]
kombinace AEB + FCW	AEB	30–80	20
	FCW	50–80	20
pouze AEB		30–80	20
pouze FCW		50–80	20

Při zkoušce CCRm jede testovaný automobil za modelem, který se pohybuje rychlostí 20 km/h. Testují se automatické nouzové brzdění a systém varování před čelní srážkou použité v kombinaci i samostatně. Stejně jako u zkoušky CCRs se systémy testují na přesah 0 %, 25 % a 50 %, který, jak je viditelné z obrázku 20, je testován pro vyosení na obě strany od podélných os modelu a vozidla. Rychlost testovaného vozidla se při měření postupně zvedá po 5 km/h dle tabulky 12.

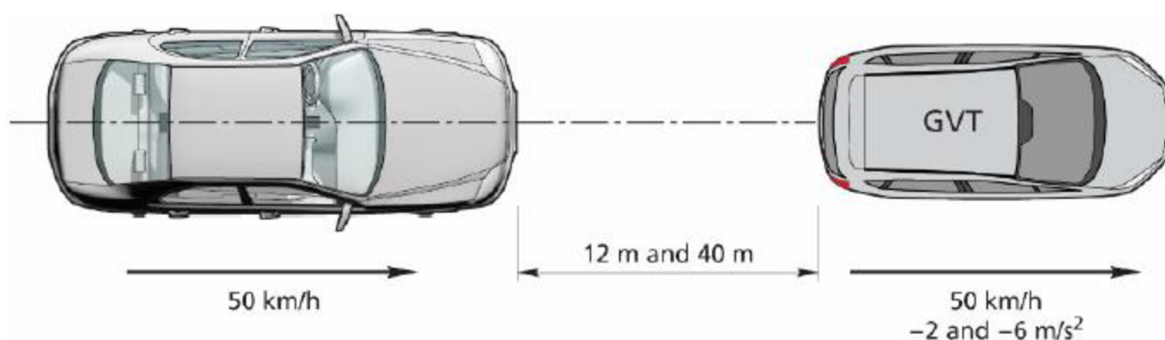
Obrázek 20: Schématický plán testu CCRm [33]



4.6.2.3. Test CCRb (Car to Car Rear braking)

Testované vozidlo jede rychlostí 50 km/h za modelem, který se pohybuje totožnou rychlostí a náhle zpomalí. Vzdálenosti mezi vozidly se používají dvě vždy pro všechna měření. V jednom případě jede testované vozidlo v okamžiku započítání brzdění modelu ve vzdálenosti 12 metrů a ve druhém 40 metrů. Rovněž se testuje při dvou různě velkých hodnotách zpomalení GVT – 2 a 6 m/s². Zkouší se bez přesazení. Testovací scénář se všemi parametry lze odečíst také z obrázku 21.

Obrázek 21: Schématický plán testu CCRb [33]

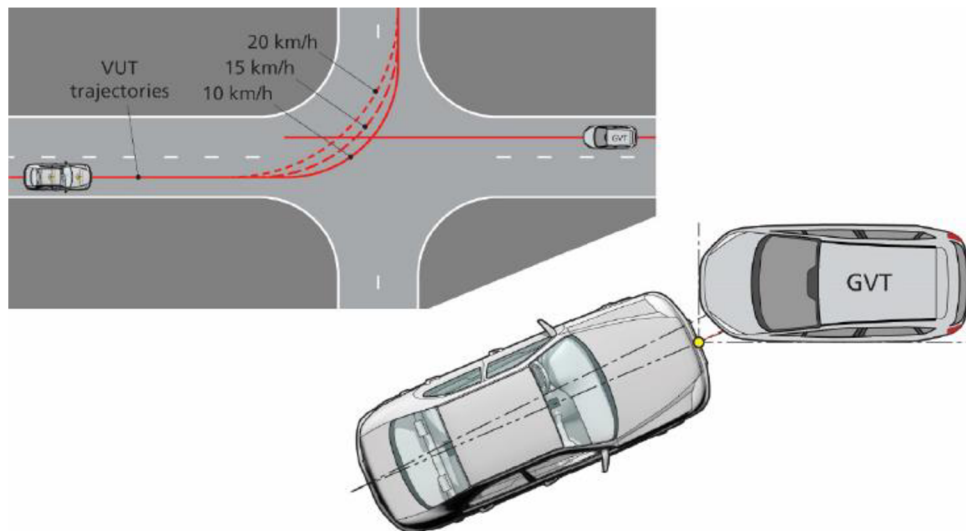


4.6.2.4. Test CCFTap (Car to Car Front turn-across-path)

Test CCFTap se provádí na dráze ve tvaru křižovatky, kdy testované vozidlo odbočuje doleva a proti němu se rovně pohybuje GVT model. Dráhy a časy vypuštění obou vozidel jsou vypočítané tak, aby se rohy vozidel při případné srážce setkaly s 50% přesahem. Testují se tři rychlosti testovaného automobilu – 10, 15 a 20 km/h a pro ně odpovídající rychlosti

modelu 30, 45 a 55 km/h. Na obrázku 22 jsou dráhy obou vozidel i detail se zvětšením případné srážky modelu a testovaného vozidla.

Obrázek 22: Schématický plán testu CCFtap [33]



4.7 Metodika testování automatického nouzového brzdění IIHS

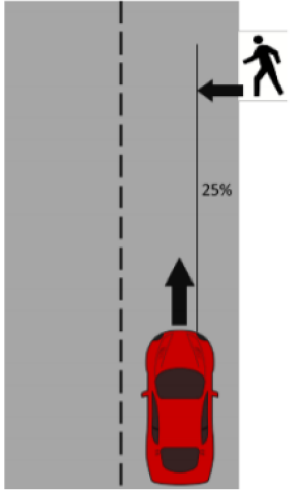
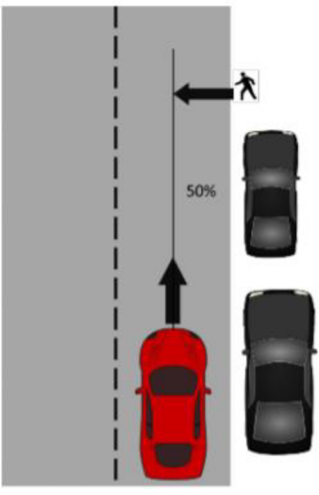
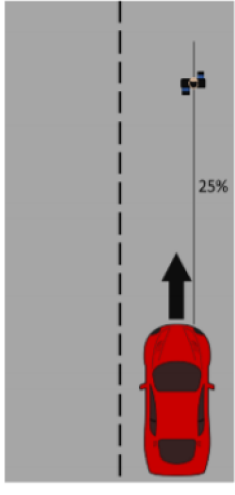
Americká nezisková organizace IIHS (Insurance Institute for Highway Safety) financovaná pojišťovacími společnostmi provádí kromě nárazových testů testování asistenčních systémů stejně jako v Evropě Euro NCAP. Pro testování automatického nouzového brzdění se používá nafukovací testovací model navrhovaný hlavní organizací německých motoristů ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club) a vyráběný společností Messring Systembau GmbH, který je na zadním čele opatřen registrační značkou používanou v USA. Příprava testovaného vozidla na zkoušení je podobná jako v evropských testech, pouze se předepisuje vyšší počet kilometrů k zjetí vozidla (200 až 5000 mil) [35].

Testování zastavení za stojícím vozidlem se provádí při 20 a 40 km/h. Nezkouší se chování systémů při čelní srážce vozidel během odbočování ani při náhlém zabrzdění vpředu jedoucího vozidla.

Zkoušky s chodci se vykonávají opět se dvěma velikostmi testovacích figurín – jedné ve velikosti dospělého, druhé s rozměry dítěte. Samotné testování je ale výrazně méně rozmanité než v Evropě, protože se zkouší pouze tři scénáře. V prvním (CPNA) přechází dráhu vozidla dospělý chodec zprava doleva bez zakrytí překážkou, ve druhém (CPNC)

vkročí opět zprava před vozidlo dítě, které je zakryté zaparkovanými vozy a poslední scénář (CPLA) spočívá v testování zabrzdění za chodcem stojícím na pravé krajnici před testovaným vozidlem. Podmínky zkoušek týkajících se chodců, jak je vykonává IIHS, jsem shrnul do následující tabulky [36].

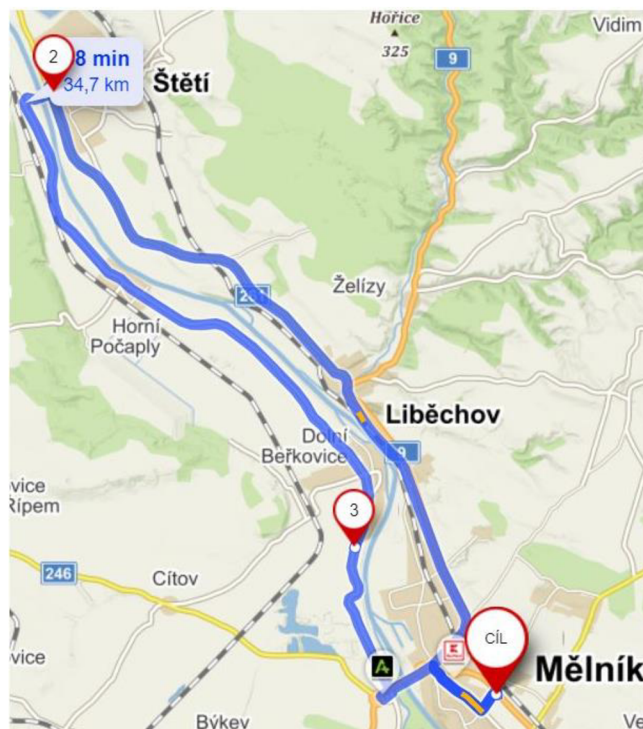
Tabulka 13: Parametry testů s chodci organizace IIHS [36]

Parametr	Test		
	CPNA	CPNC	CPLA
Rychlost testovaného vozidla [km/h]	20, 40	20, 40	40, 60
Rychlost cíle [km/h]	5	5	0
Směr cíle	křížuje dráhu vozidla zprava doleva		stojí tváří směrem od vozidla
Velikost figuríny	dospělý	dítě	dospělý
Přesazení [%]	25	50	25
Překážka	ne	ano	ne
Schéma zkoušky			

5 Praktická část

Praktická část byla prováděna se dvěma různými vozy BMW. S oběma vozidly byly absolvovány dva stejné testovací okruhy, které obsahovaly městský i meziměstský provoz za denního světla a při snížené viditelnosti. Testovací okruh o délce 34,7 km začínal i končil na Mělníku u čerpací stanice Benzina v ulici Nádražní, vedl po silnici 1. třídy I/9 do Liběchova, kde trasa pokračovala po silnici 2. třídy II/261 do Štětí a odtud po silnici 3. třídy III/24050 zpět na Mělník. Okruh je znázorněn v mapě na obrázku 23. Situace před vozidly byla snímána palubní kamerou Yi Smart Dash Cam od výrobce Xiaomi upevněnou zevnitř na čelním skle. Všechny testovací jízdy byly projety se zapnutými veškerými bezpečnostními asistenty nastavenými na nejvyšší citlivost a voličem jízdních režimů nastaveným do režimu „Comfort“.

Obrázek 23: Mapa testovacího okruhu [zdroj: vlastní]



5.1 Testovací vozidlo BMW řady 5 (generace F90)

Testování začalo s vozidlem BMW M5 Competition generace F90, které je standardně vybaveno balíčkem Driving Assistant, obsahujícím kamerové a radarové systémy upozornění na nebezpečí kolize s brzdou funkcí, asistent rychlosti jízdy s ukazatelem rychlostních limitů, zákazů předjíždění a ukazatelem přichozích rychlostních omezení,

stejně jako systém varování při opuštění jízdního pruhu. Systém radarů je navíc připraven pro varování před vozy příjíždějícími vzadu ze strany, funkci hlídání mrtvých úhlů zpětných zrcátek a pro upozornění před nárazem zezadu. Stereokamera je umístěna za čelním sklem v podélné ose vozidla nad vnitřním zpětným zrcátkem, radar se nachází v mřížce chladiče uprostřed předního nárazníku vozidla. Radarový snímač kombinuje pro optimální funkci střední a dlouhý dosah. Stejný typ radaru i kamery používá automobilka BMW i v dalších vozech a vyrábí je pro ni v Maďarsku společnost Delphi Deutschland GmbH. Další podrobnější informace jsou pro přehlednost shrnuty do tabulky 14 [37].

Tabulka 14: Technické údaje BMW F90 [38], [39]

Rok výroby	2020
Hodnocení asistenčních systémů Euro NCAP	59 % (v roce 2017) – automatické nouzové brzdění avšak prokázalo správnou funkci, zareagovalo na všechny testovací scénáře, kdy ve všech kromě jízdy blízko za prudce brzdícím vozidlem, u které došlo ke snížení nárazové rychlosti, dokázalo kolizi zabránit
Délka/šířka/výška [mm]	4983/1903/1473
Motor	zážehový 4,4 l V8, 467 kW, 750 Nm
Pohotovostní hmotnost [kg]	1970

Při testování vozidla se neobjevil žádný „falešný poplach“, tedy reakce asistenčního systému na domnělé nebezpečí. Při testování nedošlo k situaci, při které by byl zásah systému nouzového brzdění nutný. Zkoušena byla také funkce systému držení v jízdním pruhu, u kterého se vozidlo drželo uprostřed mezi čarami vyznačujícími jízdní pruh a provádělo všechny manévry plynule srovnatelně, jako by je prováděl volantem řidič. Stejně tak rozpoznávání svíslého dopravního značení se ukázalo jako spolehlivé, protože při denním světle i v noci detekovalo označení začátku i konce obcí na trase, rychlostní limity a zákazy předjíždění. Na obrázku 24 je snímek z testování za denního světla, ze kterého je patrné, že bylo velice jasné světlo a Slunce tedy mohlo oslnit asistenční systémy, které využívají i kameru. Při testování se oslnění kamery Sluncem, pouličním osvětlením ani protijedoucími vozidly neukázalo jako problém. Velmi dobrou práci v noci odváděly rovněž

adaptivní LED světlometry, které kvalitně vykrývaly vozidla jedoucí v protisměru i stejným směrem.

Obrázek 24: Snímek z testování BMW F90, denní světlo [zdroj: vlastní]



Fotografie stereokamery za čelním sklem a radarového snímače v přední masce jsou na obrázcích 25 a 26.

Obrázek 25: Stereokamera, BMW F90 [zdroj: vlastní]



Stereokamera se nachází ve stírané ploše čelního skla, tj. v místě, kam zasahují stěrače vozidla a udržují okno před kamerami čisté. Stereokamera díky tomu má podmínky snímání srovnatelné s výhledem řidiče. Radarový snímač je umístěný ve spodní části předního nárazníku před sestavou chladičů a nedisponuje žádným vlastním systémem čištění, takže je na znečištění náchylnější než stereokamera.

Obrázek 26: Radarový snímač, BMW F90 [zdroj: vlastní]



5.2 Testovací vozidlo BMW X6 (generace G06)

Testování pokračovalo vozidlem BMW X6 xDrive 30d generace G06, které je standardně vybaveno systémem nouzového brzdění. Příplatkové pakety asistenčních systémů řidiče Driving Assistant, ani Driving Assistant Plus nebyly v tomto vozidle namontované. Šlo tedy o méně vybavený automobil, než byl jako první testované BMW F90. Uspořádání senzorů se ovšem neliší od řady 5, tedy stereokamera je umístěná nad vnitřním zpětným zrcátkem, radar se i zde nachází v mřížce chladiče. Informace o BMW X6 viz tabulka 15.

Tabulka 15: Technické údaje BMW G06 [40], [41]

Rok výroby	2019
Hodnocení asistenčních systémů Euro NCAP	75 % (použita data pro příbuzný model X5 z roku 2018) – automatické nouzové brzdění prokázalo správnou funkci, zareagovalo na všechny testovací scénáře, ve všech snížení nárazové rychlosti, dokázalo kolizi zabránit
Délka/šířka/výška [mm]	4935/2004/1696
Motor	vznětový 3,0 l R6, 190 kW, 620 Nm
Pohotovostní hmotnost [kg]	2185

Toto vozidlo bylo testováno bezprostředně po projetí trasy druhým zkoušeným vozem. Při testování tohoto vozidla se neobjevilo žádné chybné varování před hrozící kolizí a nedošlo ani k zásahu systému nouzového brzdění. Chování těchto asistenčních systémů bylo hodnoceno jako velice podobné sedanu BMW F90. Z obrázku 27, na kterém je snímek z testování v noci, je zřejmé, že se na testovací trase nacházela i místa, která mohl systém vyhodnotit jako nebezpečná. Zřejmě proto, jak rozpoznal ze způsobu řízení (práce s volantem, pedály, vyhnutí se překážce s dostatečným předstihem apod.), že se řidič věnuje řízení a překážku sám registruje, nezobrazilo se při průjezdu stavbou a zúžením do jednoho pruhu pomocí betonových zábran v obci Liběchov na silnici I/9 varovné hlášení o detekci překážky, řidič nebyl ani akusticky upozorněn na možné riziko.

Obrázek 27: Zúžení do jednoho pruhu v Liběchově, BMW G06 [zdroj: vlastní]



V městském provozu, kde je velice častý pohyb chodců a cyklistů, kteří mohou být navíc skryti za zaparkovanými vozidly a mohou zpoza nich náhle vykročit, případně vyjet, je funkce systému automatického nouzového brzdění zcela zásadní. Přejechal pro chodce, na kterém se může na poslední chvíli objevit dítě do poslední chvíle schované za automobilem parkujícím na krajnici, se nachází např. v Bezručově ulici na Mělníku a byl součástí každého testovacího okruhu. Vyobrazen je na obrázku 28 z pořízeného videozáznamu, nicméně při žádném z testovacích okruhů zde nebyl zásah AEB nutný.

Obrázek 28: Potenciálně nebezpečný přechod pro chodce, BMW G06 [zdroj: vlastní]



System nouzového brzdění nezačal brzdit a systém varování před čelní srážkou neupozorňoval na nebezpečí kolize ani při dojíždění do kolony, která se tvořila před světelným signalizačním zařízením u zúžení z obrázku 27. Stejně tak se systémy neaktivovaly při předjíždění pomaleji jedoucího vozidla s bezpečným odstupem a při jízdě na kruhovém objezdu, což jsou situace, ze kterých mají někteří řidiči v souvislosti s těmito systémy obavy [29], [30].

6 Závěr

Cílem bylo shrnutí vývoje systémů nouzového brzdění, popis systémů, srovnání různých technologií a praktické otestování systémů nouzového brzdění. Systém automatického nouzového brzdění je propojený s dalšími asistenčními systémy řidiče, na něž navazuje a účinně zvyšuje bezpečnost silničního provozu. Kooperující systémy jsou zejména varování před čelní srážkou a adaptivní tempomat, jejichž vývoj byl do teoretické části také stručně zahrnut. Vyvinuly se různé technologie detekce pro asistenční systémy, které výrobci silničních vozidel využívají. Jsou to kamery, často používané ve dvojici jako stereokamera, dále radarové snímače a snímání založené na principu laserové diody – lidar. Nejvyšší citlivost a spolehlivost detekce vykazují systémy využívající kooperaci různých těchto technologií, jako je například stereokamera/radar. Teoretická část byla také věnována standardizovanému testování systému AEB nezávislými konsorcií, protože nestranné otestování a vyhodnocení asistenčních systémů řidiče je velice důležité nejen z hlediska bezpečnosti, ale značnou roli hraje pro výrobce i kvůli marketingu a zacílení na zákazníky.

Praktická část se soustředila na otestování systému AEB v reálném provozu na silničních komunikacích. Byly k tomu využity dva různé automobily od výrobce BMW: F90 a G06. Obě tato vozidla jsou vybavena kombinací dvou technologií detekce překážek – radarovým snímačem a stereokamerou, které spolupracují, aby podaly co nejlepší výkon. S vozidly byly absolvovány dva stejné okruhy ve dne a v noci, na kterých bylo zkoušeno zejména chování AEB, ale i dalších asistenčních systémů na silnicích 1. až 3. třídy. Hlavní důraz byl kladen na náchylnost systému nouzového brzdění k „falešným poplachům“, které se v provozu občas objevují. Praktické zkoušení ovšem tento předpoklad nepotvrdilo, když během testování nedošlo k žádné nečekané reakci systému nouzového brzdění na chybně rozpoznané nebezpečí. Systém nezazmatkoval při projíždění zúžením do jednoho pruhu z důvodu stavby, při předjíždění, problém neměl ani se zaparkovanými vozidly v ulicích měst. Ostatní asistenční systémy se během testování také osvědčily. Ať už jde o adaptivní světlomety, držení v jízdním pruhu nebo adaptivní tempomat, řízení usnadňují a umožňují řídit s větším klidem a na delší trase s později nastupující únavou. Jako prvky aktivní bezpečnosti se zkoušené systémy ukázaly ve velice

dobrém světle. Automobilka BMW je má u poslední generace automobilů odladěnou na vysoké úrovni.

Přestože by asistenční systémy řidiče mohly směřovat k menší soustředěnosti řidiče na okolní provoz, není na místě spoléhat se pouze na ně. Za vozidlo je stále zodpovědný jeho řidič, který se musí řízení plně věnovat a ADAS využívat skutečně pouze jako podporu při každodenním dojíždění i zvládání krizových situací, které mohou na silnicích nastat.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Global status report on road safety 2018: Summary. Švýcarsko: World Health Organization, 2019.
- [2] STRAKA, Jan a Jana PELEŠOVÁ. ROČENKA NEHODOVOSTI NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH ZA ROK 2019 [online]. Praha: Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia České republiky, 2020.
- [3] GRAY, Michael E. a Linda E. GRAY. Auto Upkeep: Maintenance, Light Repair, Auto Ownership, and How Cars Work. 4th edition. Ozark: Rolling Hills Publishing, 2018. ISBN 978-1-62702-019-0.
- [4] DUSIL, Tomáš. Adaptivní tempomat: Jak funguje? A jaké známe druhy? Auto.cz [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/adaptivni-tempomat-jak-funguje-a-jake-zname-druhy-104364>
- [5] HAMERNÍKOVÁ, Veronika, Matuš ŠUCHA, Lucie VIKTOROVÁ, Jiří PLÍHAL, Romana MAZALOVÁ, Ralf RISSER a Zdeněk VTÍPIL. Metodika pro výcvik a vzdělávání řidičů v oblasti užívání asistenčních systémů ve vozidlech [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017 [cit. 2021-04-14]. ISBN 978-80-244-5265-4. Dostupné z: [doi:10.5507/ff.17.24452654](https://doi.org/10.5507/ff.17.24452654)
- [6] SYSTÉM VAROVÁNÍ PŘED ČELNÍ SRÁŽKOU (FCW). ADAS Asistenční systémy pro řidiče [online]. 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.adas.upol.cz/system-fcw.html>
- [7] CHIPS, Yap. ASEAN NCAP Testing To Include Automatic Emergency Braking (AEB) Systems. Piston.my [online]. 2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.piston.my/2020/07/16/asean-ncap-testing-to-include-automatic-emergency-braking-aeb-systems/>
- [8] DEL-COLLE, Andrew. This Cadillac Concept Had Radar Crash-Avoidance in 1959 [online]. In: . 23. 10. 2015 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.roadandtrack.com/car-culture/news/a27132/the-first-radar-based-crash-avoidance-system-was-in-a-1959-concept-car/>

- [9] OLNEY, R. D., R. WRAGG, R. W. SCHUMACHER a F. H. LANDAU. COLLISION WARNING SYSTEM TECHNOLOGY. 1995, 1138.
- [10] DENSO CRUISE CONTROL KEYED TO JAPANESE CONDITIONS. Automotive News [online]. [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.autonews.com/article/19981109/ANA/811090762/denso-cruise-control-keyed-to-japanese-conditions>
- [11] Volvo City Safety loss experience by vehicle age. HLDI Bulletin. 2015, 32(13).
- [12] Volvo: City Safety si nehodláme nechat pro sebe. Auto.cz [online]. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/volvo-city-safety-si-nehodlame-nechat-pro-sebe-8162>
- [13] Volvo combines cyclist detection with full auto brake. EE News Europe [online]. [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://www.eenewseurope.com/news/volvo-combines-cyclist-detection-full-auto-brake>
- [14] UN Regulation on Advanced Emergency Braking Systems for cars to significantly reduce crashes. UNECE [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://unece.org/press/un-regulation-advanced-emergency-braking-systems-cars-significantly-reduce-crashes>
- [15] ASISTENT NOUZOVÉHO BRZDĚNÍ MOTOCYKLŮ. VVAutomotive [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.vvautomotive.cz/budoucnost-motocyklu-asistent-nouzoveho-brzdeni/>
- [16] MAN: MONITOROVÁNÍ DOPRAVNÍHO PROSTORU A ZÁSAH V PŘÍPADĚ NEBEZPEČNÝCH SITUACÍ. MAN Truck & Bus [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.man.eu/cz/cz/nakladni-automobil/asistencni-systemy/asistencni-system-nouzoveho-brzdeni/asistencni-system-nouzoveho-brzdeni.html>
- [17] Safety Features. Scania.com [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.scania.com/uk/en/home/products-and-services/articles/safety-systems.html>
- [18] The History of the Subaru Eyesight Safety System. UNECE [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.motorbiscuit.com/the-history-of-the-subaru-eyesight-safety-system/>

- [19] TU, Willard. Subaru new generation EyeSight powered by Xilinx. Automotive Lead, Xilinx [online]. 2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.xilinx.com/publications/presentations/subaru-xilinx-media-presentation.pdf>
- [20] HAYES, Caroline. Subaru launches Levorg model with stereoscopic camera ADAS. Electronics Weekly [online]. 2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.electronicsworld.com/news/products/fpga-news/subaru-launches-levorg-model-stereoscopic-camera-adas-2020-08/>
- [21] FLIERL, Denis. Your Next New Subaru With EyeSight Will Have High-Tech LiDAR. Torque News [online]. 2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.torquenews.com/1084/future-vehicles-ouster-tests-latest-high-tech-lidar-new-subaru-outback>
- [22] Automotive RADAR Market by Range Type (Long Range RADAR and Short & Medium Range RADAR), Application (ACC, AEB, FCWS, BSD, and Intelligent Parking Assistance), Frequency (2X-GHz and 7X-GHz), Vehicle Type, and Region - Global Forecast to 2021 [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-radar-market-75536718.html>
- [23] Front Radar Sensor. Robert Bosch GmbH [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/automatic-emergency-braking/front-radar-sensor/>
- [24] SAUNDERS, Matt. Alfa Romeo Stelvio review. Autocar [online]. 2020 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.autocar.co.uk/car-review/alfa-romeo/stelvio>
- [25] Long-range radar sensor. Robert Bosch GmbH [online]. 2021 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/automatic-emergency-braking/long-range-radar-sensor/>

- [26] NAGAPPAN, Sevugan. Adaptive Cruise Control: Laser Diodes as an Alternative to Millimeter-Wave Radars. ADAS Asistenční systémy pro řidiče [online]. 2005 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21797633/adaptive-cruise-control-laser-diodes-as-an-alternative-to-millimeterwave-radars>
- [27] COFFEY, Valerie. Integrated Lidar: Transforming Transportation. ADAS Asistenční systémy pro řidiče [online]. 2019 [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_30/september_2019/features/integrated_lidar_transforming_transportation/
- [28] Audi A8 Laser sensor [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.eetasia.com/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/figure9-laser-scanner.jpg>
- [29] FRICKE, Nicola, Stefan GRIESCHE, Anna SCHIEBEN, Tobias HESSE a Martin BAUMANN. Driver behavior following an automatic steering intervention. Accident Analysis and Prevention [online]. 2015, (83), 190–196 [cit. 2021-04-14].
- [30] VIKTOROVÁ, Lucie a Matúš ŠUCHA. Learning about advanced driver assistance systems – The case of ACC and FCW in a sample of Czech drivers. Transportation Research [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2018, (65), 576–583 [cit. 2021-04-14].
- [31] AEB Car-to-Car. Euro NCAP [online]. [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/safety-assist/aeb-car-to-car/>
- [32] TEST PROTOCOL – AEB VRU systems: Version 3.0.3. Euro NCAP Secretariat, 2020.
- [33] TEST PROTOCOL – AEB Car-to-Car systems: Version 3.0.2. Euro NCAP Secretariat, 2019.
- [34] Global Vehicle Target Specification: Version 1.0. Euro NCAP Secretariat, 2018.
- [35] Autonomous Emergency Braking Test Protocol (Version I). Ruckersville, USA: Insurance Institute for Highway Safety, 2013.

- [36] Pedestrian Autonomous Emergency Braking Test Protocol (Version 1). Ruckersville, USA: Insurance Institute for Highway Safety, 2018.
- [37] Delphi ESR Whitelabel. Delphi.com [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://hexagondownloads.blob.core.windows.net/public/AutonomouStuff/wp-content/uploads/2019/05/delphi-esr-whitelabel.pdf>
- [38] BMW M5 Competition Specification Guide-F90. BMW.com [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: https://www.bmw.com/content/dam/bmw/marketAU/bmw_com/all-models/specification_guide_2021/August/BMW_M5_Compensation_Specification_Guide-F90.pdf.asset.1629454600709.pdf
- [39] Euroncap 2017 BMW 5-series datasheet. EuroNCAP.com [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://cdn.euroncap.com/media/50140/euroncap-2017-bmw-5-series-datasheet.pdf>
- [40] The X6. BMW.com [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.bmw-bavariamotors.in/sites/default/files/2020-06/BMW20X620Brochure2028G0629.pdf>
- [41] Euroncap 2018 BMW X5 datasheet. EuroNCAP.com [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://cdn.euroncap.com/media/62976/euroncap-2018-bmw-x5-datasheet.pdf>

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Tři fáze automatického nouzového brzdění [7]	6
Obrázek 2: Stereokamera a procesor Subaru EyeSight X [19].....	11
Obrázek 3: Přední radarový snímač Bosch [23]	12
Obrázek 4: Montáž radarového snímače Bosch do mřížky předního nárazníku (Alfa Romeo Stelvio) [24]	13
Obrázek 5: Radarový snímač s dlouhým dosahem Bosch LRR4 [25]	14
Obrázek 6: Lidarový snímač v předním nárazníku vozidla [28]	14
Obrázek 7: Zjednodušený obrázek testování AEB [31]	17
Obrázek 8: Testovací figuríny Euro NCAP [32]	18
Obrázek 9: Schématický plánec testu CPFA [32]	20
Obrázek 10: Schématický plánec testu CPNA [32].....	21
Obrázek 11: Schématický plánec testu CPNC [32].....	22
Obrázek 12: Schématický plánec testu CPLA [32]	23
Obrázek 13: Schématický plánec testu CPTA [32]	24
Obrázek 14: Schématický plánec testu CPRA [32].....	25
Obrázek 15: Schématický plánec testu CBNA [32]	26
Obrázek 16: Schématický plánec testu CBNAO [32]	27
Obrázek 17: Schématický plánec testu CBFA [32].....	28
Obrázek 18: Schématický plánec testu CBLA [32].....	29
Obrázek 19: Schématický plánec testu CCRs [33].....	31
Obrázek 20: Schématický plánec testu CCRm [33]	32
Obrázek 21: Schématický plánec testu CCRb [33]	32
Obrázek 22: Schématický plánec testu CCFtap [33].....	33
Obrázek 23: Mapa testovacího okruhu [zdroj: vlastní]	35
Obrázek 24: Snímek z testování BMW F90, denní světlo [zdroj: vlastní]	37
Obrázek 25: Stereokamera, BMW F90 [zdroj: vlastní].....	37
Obrázek 26: Radarový snímač, BMW F90 [zdroj: vlastní]	38
Obrázek 27: Zúžení do jednoho pruhu Liběchov, BMW G06 [zdroj: vlastní].....	39
Obrázek 28: Potenciálně nebezpečný přechod pro chodce, BMW G06 [zdroj: vlastní]	40

9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry testu CPFA [32].....	19
Tabulka 2: Parametry testu CPNA [32].....	20
Tabulka 3: Parametry testu CPNC [32]	21
Tabulka 4: Parametry testu CPLA [32]	22
Tabulka 5: Parametry testu CPTA [32]	23
Tabulka 6: Parametry testu CPRA [32]	24
Tabulka 7: Parametry testu CBNA [32]	25
Tabulka 8: Parametry testu CBNAO [32].....	26
Tabulka 9: Parametry testu CBFA [32]	27
Tabulka 10: Parametry testu CBLA [32]	28
Tabulka 11: Parametry testu CCRs [33]	30
Tabulka 12: Parametry testu CCRm [33]	31
Tabulka 13: Parametry testů s chodci organizace IIHS [36]	34
Tabulka 14: Technické údaje BMW F90 [38], [39]	36
Tabulka 155: Technické údaje BMW G06 [40], [41].....	38