



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Tomáš Dlask

NÁVRH KOOPERATIVNÍHO SYSTÉMU PRO
KOMUNIKACI NA ŽELEZNIČNÍCH PŘEJEZDECH

Diplomová práce

2015



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
d ě k a n**

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K623Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Tomáš Dlask

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – BD – Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Název tématu (česky): **Návrh kooperativního systému pro komunikaci na železničních přejezdech**

Název tématu (anglicky): Design of Cooperative System for Communication at the Railway Crossings

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Statistiky dopravních nehod na železničních přejezdech
- Automobilové bezpečnostní systémy, zabezpečovací systémy na železničních přejezdech
- Inteligentní dopravní systémy využívající normu 802.11.p a její rozbor
- Návrh vlastního systému komunikace přejezd - vozidlo
- Výpočet spolehlivosti systému, analýza obsluhy více vozidel a jejich okamžitého stavu
- Návrh bezpečnostní strategie železničního přejezdu

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Norma IEEE 802.11.p
Příbyl, P., Svítek, M.: Inteligentní dopravní systémy. BEN 2001,
Menčík, J.: Reliability, safety and diagnostics. Uni. Pardubice, 2008
Military handbook MIL-217: Reliability Prediction of Electronic Equipment US Defence, 1995

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jan Kovanda, CSc.**
Ing. Jan Obermann, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

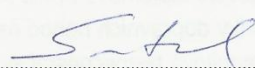
Datum odevzdání diplomové práce: **31. května 2015**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


.....
doc. Ing. Václav Jiršovský, CSc.

vedoucí


Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství




.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


.....
Bc. Tomáš Dlask
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. června 2014

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 29. května 2015

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu prof. Ing. Janu Kovandovi, CSc. a panu Ing. Janu Obermannovi, Ph.D. za poskytnutí odborných rad, věcné připomínky, ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat kolegovi Vojtěchu Rulcovi za pomoc při algoritmizaci dané úlohy.

Velké poděkování náleží přítelkyni Kačce, celé mé rodině a přátelům za podporu, trpělivost a povzbuzování během studia.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh kooperativního systému pro komunikaci na železničních přejezdech

diplomová práce

květen 2015

Bc. Tomáš Dlask

KLÍČOVÁ SLOVA

Nehody na železničních přejezdech, automobilové bezpečnostní systémy, kooperativní systémy, návrh bezpečnostní strategie železničního přejezdu.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce "**Návrh kooperativního systému pro komunikaci na železničních přejezdech**" je analyzovat současný stav zabezpečení na železničních přejezdech a stav bezpečnostních systémů vozidel a na základě této analýzy navrhnout koncept bezpečnostní strategie železničních přejezdů.

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Science

Design of Cooperative System for Communication at the Railway Crossings

diploma thesis

may 2015

Bc. Tomáš Dlask

KEYWORDS

Accidents at rail crossings, automobile safety systems, cooperative systems, draft Security Strategy of the railway crossing.

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis "**Design of Cooperative System for Communication at the Railway Crossings**" is to analyze the actual state of security at railway crossings and state safety of vehicles and on the basis of this analysis to suggest the concept of security strategy railway crossings.

Obsah

1. Úvod	10
2. Statistiky dopravních nehod na železničních přejezdech	10
2.1 Popis nárazového děje.....	11
2.2 Statistiky nehod.....	12
2.2.1 Statistiky nehod na železničních přejezdech se zabezpečovacím zařízením.....	13
2.2.2 Statistiky nehod na železničních přejezdech bez zabezpečovacího zařízení.....	14
3. Zabezpečovací systémy na železnicích	15
3.1 Staniční zabezpečovací zařízení.....	15
3.2 Traťová zabezpečovací zařízení.....	16
3.3 Přejezdová zabezpečovací zařízení	16
3.4 Vlaková zabezpečovací zařízení	16
3.4.1 Vlakové zabezpečovací zařízení LS.....	17
3.5 European Rail Traffic Management System	18
3.5.1 Global System for Mobile Communication for Railway - GSM-R	19
3.5.2 European Train Control System - ETCS.....	19
4. Automobilové bezpečnostní systémy	21
4.1 Asistenční systémy	22
4.1.1 ABS	22
4.1.2 ACC	23
4.1.3 ASR	23
4.1.4 AFC.....	23
4.1.5 BAS	24
4.1.6 CPA	24
4.1.7 DSR	24
4.1.8 EBV	25
4.1.9 EDS.....	25
4.1.10 ESBS	25
4.1.11 ESP	26
4.1.12 LDW	26
4.1.13 LKW	26
4.1.14 MSR	26
4.1.15 NV.....	27
4.1.16 Systém detekce chodců a cyklistů.....	27

4.2 Snímače na vozidle.....	27
4.3 Automobilové radary	29
4.3.1 Video detekce	30
4.3.1.1 Mono-kamerový systém.....	30
4.3.1.2 Stereo-kamerový systém	30
5. Detekce překážek na železničním přejezdu.....	31
5.1 Přístroje pro detekování vozidel na železničním přejezdu	31
5.1.1 Detektory náprav	31
5.1.2 Detektory vozidel	32
5.1.2.1 Elektromagnetická indukce	32
5.1.2.2 Piezoelektrická detekce	34
5.1.2.3 Fotoelektrická detekce - kamera (počítačové vidění).....	35
5.1.2.4 Ultrazvuková detekce.....	36
5.1.2.5 Akustické detektory.....	37
5.1.2.6 Infračervený detektory	37
5.1.2.7 Detektory s vláknovou optikou	38
5.2 Shrnutí detektorů překážek.....	39
5.3 Komunikace	40
5.3.1 Způsob přenosu dat	40
5.3.1.1 Metalické vedení	40
5.3.1.2 Optické vedení.....	40
5.3.1.3 Optická komunikace.....	41
5.3.1.4 Sonická komunikace	41
5.3.1.5 Bezdrátová komunikace	41
6. Rozbor normy IEEE 802.11p	42
6.1 Kooperativní systémy.....	42
6.2 Typy přenášených zpráv.....	44
6.3 Základní elementy ITS systému	44
6.4 ITS: Celkový přehled	45
6.5 IEEE 802.11p	46
6.5.1 Ochranný interval.....	46
6.5.2 IEEE 802.11p - fyzická vrstva	46
7. Analýza systému.....	48
7.1 Spolehlivost systému.....	48

7.1.1 Sériová soustava.....	49
7.1.2 Paralelní soustava.....	50
7.2 SWOT analýza	51
7.3 Analýza obsluhy více vozidel	51
8. Návrh bezpečnostní strategie železničního přejezdu.....	52
8.1 Systém detekce vozidla	52
8.1.1 Výpočet spolehlivosti	53
8.1.2 Analýza obsluhy více vozidel.....	54
8.1.3 SWOT analýza.....	54
8.2 Systém komunikace lokomotiva - vozidlo	55
8.2.1 Výpočet spolehlivosti.....	57
8.2.2 Analýza obsluhy více vozidel.....	58
8.2.3 SWOT analýza	59
8.3 Systém kamerové detekce	60
8.3.1 Výpočet spolehlivosti	61
8.3.2 Analýza obsluhy více vozidel.....	61
8.3.2 SWOT analýza.....	62
8.4 HMI.....	62
8.4.1 HMI vozidlo	62
8.4.2 HMI lokomotiva.....	63
8.5 Vlastní komunikace.....	63
8.5.1 Komunikace přejezd - lokomotiva	63
8.5.2 Komunikace přejezd - vozidlo	64
8.5.3 Komunikace vozidlo - vozidlo	64
8.6 Vývoj systému kamerové detekce.....	65
8.6.1 Algoritmus.....	65
8.6.2 HMI robot.....	66
8.6.3 Spuštění programu.....	66
9. Závěr.....	68
Seznam obrázků.....	70
Seznam tabulek.....	71
Seznam použité literatury	72
Seznam příloh.....	74

1. Úvod

Vzhledem k rostoucí intenzitě dopravy v České republice je zaznamenán vysoký počet těžkých dopravních nehod na železničních přejezdech, které v některých případech končí tragicky pro posádky motorových vozidel. Podle statistik Drážní inspekce umírají lidé při každé šesté nehodě na železničním přejezdu.

V České republice se nachází přes osm tisíc přejezdů, kdy každý přejezd musí odpovídat příslušným zákonům, vyhláškám a normám. Jestliže účastník silničního provozu dodrží všechna pravidla chování na železničním přejezdu, potom je střet s vlakem vyloučen. Přesto na přejezdech vznikne přes sto nehod ročně. Viničky těchto nehod jsou účastníci silničního provozu, kteří nedbají zákonů a výstražného zařízení přejezdu a přesto vjedou na přejezd v době, kdy to zákon zakazuje.

Ve své diplomové práci se budu zabývat návrhem bezpečnostních systémů na přejezdech a v automobilech, které zamezí vznik této kolize, popřípadě zmírní její následky.

2. Statistiky dopravních nehod na železničních přejezdech

Železniční přejezd je místo na pozemní komunikaci, na kterém se často vyskytují dopravní nehody mezi automobilem a železničním vozem. Následky nehod jsou od lehkých poranění až po těžká s následkem smrti. Nejčastější příčinou vzniku těchto kolizí je nerespektování přejezdového zabezpečovacího zařízení se znamením zamezení vjezdu na železniční přejezd z důvodu blížícího se železničního vozu k železničnímu přejezdu. V častých případech vjíždí účastníci silniční dopravy na železniční přejezd ve chvíli, kdy začnou blikat výstražná světla zabezpečovacího zařízení. První vozidlo železniční přejezd ještě přeje, ale jeho následovníci už takové štěstí nemají.

Další příčinou vzniku této nehody jsou špatné rozhledové poměry na železničních přejezdech, kde křížení silniční infrastruktury s železniční tratí je v ostrém úhlu a tedy není možné ve výhledu z vozidla silniční dopravy zaregistrovat blížící se železniční vozidlo.

Mezi další příčiny patří nefunkčnost přejezdového zabezpečovacího zařízení, kde řidič automobilu není upozorněn světelným a zvukovým signálem o zamezení vjezdu na železniční přejezd.

2.1 Popis nárazového děje

Při kolizi na železničním přejezdu je veden náraz čela železničního vozu do boku automobilu. V průběhu nárazu se tak deformuje boční část automobilu, kdy deformační energii pohlcuje rám, sloupky a karosérie automobilu. Na posádce je v průběhu nárazu vyvíjeno obrovské přetížení pohybující se v řádech desítek g. Z hlediska časového děje je automobil deformován desítky sekund, tzn. do úplného zastavení železničního vozidla. Tedy z hlediska nárazové energie a časového úseku, kdy je automobil deformován můžeme konstatovat, že je zde vysoká pravděpodobnost vzniku vážného poranění až smrti posádky automobilu.

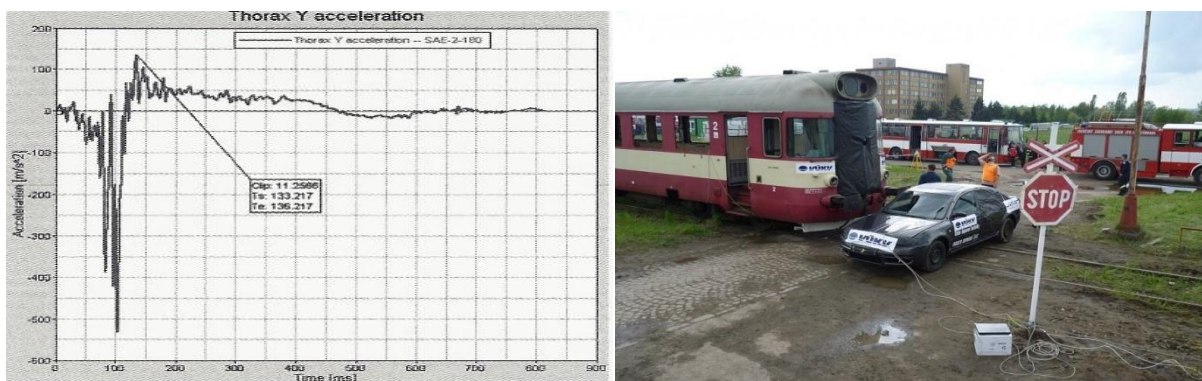
Pro představu je uveden příklad. V květnu 2013 byla provedena v Cerhenicích nárazová zkouška železničního vozu do boku stojícího osobního automobilu. Nárazová rychlost činila 17 km/h. Hmotnost železničního vozu byla 50 tun. Z přiloženého obrázku 1, lze vypočítat, že špičkové hodnoty zrychlení působící na posádku během nárazu se pohybovaly okolo 17g, poté se přetížení zmenšovalo se snižující se kinetickou energií železničního vozu. Z určených velikostí zrychlení bylo vypočteno kritérium HIC (Head Injury Criterion), které určuje poranění hlavy figuríny při kolizi. Z výpočtu bylo stanoveno, že je zde vysoká pravděpodobnost přežití pro posádku.



Obrázek 1: Průběh nárazové zkoušky kolize kolejového segmentu s osobním automobilem. [7]

Vzhledem k malé nárazové rychlosti jsou tyto výsledky přijatelné, ale pokud by nárazová rychlost byla vyšší, tak se snižuje pravděpodobnost přežití pro posádku tohoto automobilu. Druhým příkladem může být uskutečněná zkouška nárazu vlakovou soupravou 850 do boku osobního automobilu na jednokolejném železničním přejezdu na železniční vlečce v areálu ČKD Kutná Hora, a.s. Nárazová rychlost činila 47,5 km/h. Během nárazu byla naměřena hodnota zrychlení na hlavně figuríny přesahující $HIC = 10000$, tedy může být

konstatováno, že při této nárazové rychlosti by pravděpodobnost přežití posádky automobilu byla velice nízká. [4]



Obrázek 2: Průběh nárazové zkoušky kolize železničního vozidla a silničního vozidla. [4][8]

Z obou případů je patrné, že čím je menší rychlost železničního vozidla, tím roste pravděpodobnost přežití posádky automobilu. Průměrná rychlost vlaků na koridorových tratích je 100 km/h, ale vzhledem k mimoúrovňovému křížení s pozemní komunikací je zde nízký výskyt dopravních nehod s vozidly silniční dopravy. Zatímco na vedlejších tratích je průměrná rychlost 50 km/h a vzhledem k úrovněnému křížení s pozemní komunikací je zde vysoký podíl vážných dopravních nehod. Je tedy nutné, aby se snižovala nárazová rychlost na hranici menší než 25 km/h, kdy bylo experimentálně zjištěno, že by existovala určitá pravděpodobnost přežití posádky vozidla.

2.2 Statistiky nehod

V průběhu let 2000 až 2014 se na železničních přejezdech událo v průměru 240 dopravních nehod za rok mezi kolejovým vozem a automobilem. Při těchto nehodách bylo v průměru usmrceno 29 lidí, 31 lidí bylo těžce zraněno a 91 lehce zraněno. Průměrná celková hmotná škoda v tomto období byla vyčíslena na 49 317 671 Kč.

Rok	Počet nehod	Usmrceno	Těžce zraněno	Lehce zraněno	Celková hmotná škoda
2000	241	35	37	75	22 607 000
2001	291	37	35	76	39 998 900
2002	244	35	52	113	57 780 700
2003	280	44	50	105	70 481 800
2004	275	39	43	100	57 226 400
2005	249	30	28	79	43 249 900
2006	262	22	27	111	52 787 100
2007	242	22	30	99	46 612 500

2008	218	23	25	108	49 795 000
2009	190	21	22	69	42 508 100
2010	239	34	33	93	65 968 500
2011	153	15	17	84	45 206 600
2012	171	16	22	94	56 061 800
2013	160	11	17	72	40 163 100
2014	150	23			

Tabulka 1: Statistika dopravních nehod na železničních přejezdech. [14]

2.2.1 Statistiky nehod na železničních přejezdech se zabezpečovacím zařízením

V průběhu let 2000 až 2013 bylo na železničních přejezdech se zabezpečovacím zařízením (mechanické závory, světelná signalizace) v průměru 104 nehod za rok mezi kolejovým vozem a automobilem. Na těchto zabezpečených přejezdech zahynulo mezi lety 2000 až 2013 v průměru 18 lidí a 19 lidí bylo těžce zraněno.

Rok	Počet nehod	Usmrceno	Těžce zraněno	Lehce zraněno	Celková hmotná škoda
2000	113	27	25	34	13 727 400
2001	128	23	18	34	21 838 300
2002	105	22	24	63	41 815 800
2003	133	37	31	41	29 831 200
2004	118	26	23	45	15 829 500
2005	116	18	16	40	20 695 300
2006	118	15	16	65	30 737 500
2007	114	8	19	47	27 990 500
2008	89	14	17	57	28 845 900
2009	83	11	13	33	15 945 600
2010	106	22	20	53	47 610 400
2011	73	10	12	51	31 931 600
2012	88	11	14	64	37 452 600
2013	73	8	11	48	21 091 000

Tabulka 2: Statistika dopravních nehod na železničních přejezdech se ZZ. [14]

2.2.2 Statistiky nehod na železničních přejezdech bez zabezpečovacího zařízení

V průběhu let 2000 až 2013 bylo na železničních přejezdech bez zabezpečovacího zařízení (kříž) v průměru 126 nehod za rok mezi železničním vozem automobilem.

Rok	Počet nehod	Usmrceno	Těžce zraněno	Lehce zraněno	Celková hmotná škoda
2000	128	8	12	41	8 879 600
2001	163	14	17	42	18 160 600
2002	139	13	28	50	15 964 900
2003	147	7	19	64	40 650 600
2004	157	13	20	55	41 396 900
2005	133	12	12	39	22 554 600
2006	144	7	11	46	22 049 600
2007	128	14	11	52	18 622 000
2008	129	9	8	51	20 949 100
2009	107	10	9	36	26 562 500
2010	133	12	13	40	18 358 100
2011	80	5	5	33	13 275 000
2012	83	5	8	30	18 609 200
2013	87	3	6	24	19 072 100

Tabulka 3: Statistika dopravních nehod na železničních přejezdech bez ZZ. [14]

Ze statistik vyplývá, že více jak polovina dopravních nehod bývá na přejezdech bez přejezdového zabezpečovacího zařízení, což je zřejmé vzhledem k úrovni zabezpečení pouze pomocí výstražného kříže. Zajímavé je, že na přejezdech vybavených přejezdovým zabezpečovacím zařízením bývá v průměru 104 dopravních nehod za rok. Jedná se převážně o železniční přejezdy, které jsou vybaveny pomocí světelného přejezdového zabezpečovacího zařízení. Správa železniční dopravní cesty eviduje 3352 těchto přejezdů, což je vysoký počet vzhledem k tomu, že celkový počet přejezdů je větší jak 8000, a více jak polovina z nich jsou vybaveny pouze pomocí výstražného kříže.

3. Zabezpečovací systémy na železnicích

Železniční zabezpečovací zařízení je soubor technických prostředků, které přispívají k bezpečnosti provozu na železničních tratích. Jejich základní dělení je podle místa, situace a použitých technologií. Jejich základní rozdělení je zobrazeno v tabulce 4.

Podle místa a situace	Staniční zabezpečovací zařízení (SZZ)
	Tratřová zabezpečovací zařízení (TZZ)
	Přejezdová zabezpečovací zařízení (PZZ)
	Vlaková zabezpečovací zařízení (VZ)
Podle technologie	Mechanická
	Elektromechanická
	Elektrodynamická
	Elektropneumatická
	Reléová
	Hybridní
	Elektronická

Tabulka 4: Rozdělení železničního zabezpečovacího zařízení.

3.1 Staniční zabezpečovací zařízení

Staniční zabezpečovací zařízení má za úkol ve stanici vytvořit a zajistit podmínky pro bezpečnou jízdu vlaku nebo posunu po zvolené jízdě cestě. Rozděluje se do tří kategorií. K nejjednodušším a nejméně bezpečným zařízením patří zabezpečovací zařízení I. kategorie, které se používá ve stanicích s malým provozem. Návěstidla v těchto stanicích jsou nezávislá na poloze výhybek, tato zařízení tak neumožňují vyloučení všech současně zakázaných vlakových cest a proto za volnost a obsluhu zařízení odpovídají zaměstnanci. Jako pomůcka bývá ve stanici zřízena tabule pro zavěšování klíčů, která slouží zaměstnancům pro rychlou a správnou orientaci o stavu zabezpečovacích prvků a zařízení v kolejišti. Tvoří ji situační schéma s označením prvků v kolejišti, pod kterým jsou umístěny háčky pro umístění klíčů od výměn, výkolejek a návěstidel. [12]

Zabezpečovací zařízení II. kategorie je mechanické zařízení, které se používá v menších stanicích, ve kterých je z časových důvodů vhodná místní obsluha zařízení v kolejišti, nebo ze vzdálenostního hlediska vyhovuje ústřední obsluha pomocí pák a drátovodů. Hlavním úkolem je vytvoření mechanických závislostí mezi zabezpečovacím zařízením v kolejišti a návěstidly. [12]

Reléové zabezpečovací zařízení představuje zabezpečení III. kategorie. Vyznačuje se vyšším stupněm zabezpečení tím, že ústřední přestavování výměn umístěných v kolejišti

probíhá pouze pomocí elektrických obvodů a relé. Stavění vlakových cest se tedy provádí na ovládacím panelu v dopravní kanceláři železniční stanice. [12]

3.2 Traťová zabezpečovací zařízení

Traťová zabezpečovací zařízení zajišťují bezpečnost provozu na širé trati mezi stanicemi. Princip jejich funkce je takový, že zabezpečují jízdy následných vlaků a tím současně vylučují protisměrné jízdy vlaků. Základní dělení je opět do tří kategorií podle úrovně zabezpečení, v tabulce 5 jsou pro jednotlivé kategorie uvedeny použité technologie.

I. Kategorie	Oddílová návěstidla hlásek
	Krycí návěstidla manipulačních míst, kolejových splítek a kolejových křižovatek na trati s telefonickým dorozumíváním
II. Kategorie	Hradlový poloautomatický blok
III. Kategorie	Reléový poloautomatický blok
	Autoblok

Tabulka 5: Traťová zabezpečovací zařízení.

3.3 Přejezdová zabezpečovací zařízení

Přejezdová zabezpečovací zařízení zajišťují bezpečnost provozu na úroňových křižích železnice s pozemní komunikací. Všechny přejezdy v České republice tak musí být zabezpečeny. Úroveň zabezpečení přejezdu se dělí podle druhu základní výstrahy na mechanická přejezdová zabezpečovací zařízení a světelná zabezpečovací přejezdová zařízení.

Mechanická zabezpečovací zařízení používají pohony k ovládání břemen závor různé drátovody, které svým pohybem ovládají stojany břemen. Můžou být doplněna o výstrahu zvukovou, nebo světelnou.

Světelná zabezpečovací zařízení na úroňových křižích s pozemní komunikací jsou zařízení, která pomocí výstražného signálu tvořeného dvěma střídavě přerušovanými červenými světly, která jsou nasměrována k účastníkům provozu na pozemních komunikacích, dávají upozornění pro uživatele pozemní komunikace, že se v obvodu přejezdu nachází železniční vozidlo, které by je mohlo ohrozit.

3.4 Vlaková zabezpečovací zařízení

Vlakové zabezpečovací zařízení tvoří nezbytnou část zabezpečovacích zařízení. Jejich základní funkcí je zvýšení bezpečnosti kontrolou strojvedoucího, zda dodržuje jednotlivé parametry jízdy vlaku. V případě jejich nedodržení automaticky spustí rychločinné brzdění vlaku. Podle způsobu přenosu informace z tratě na vlak se rozlišují vlaková zabezpečovací zařízení na bodová, liniová a hybridní. [6]

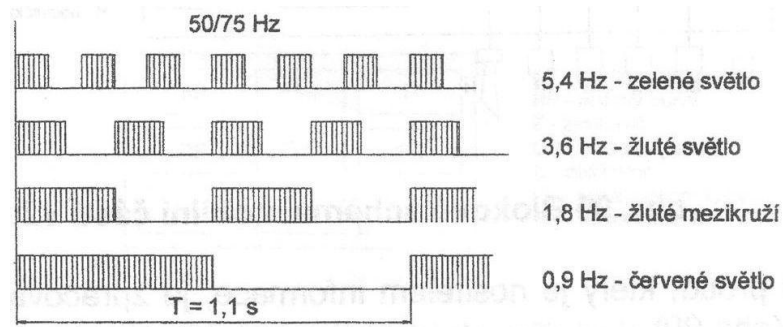
Bodové zabezpečovací zařízení zajišťuje přenos informace znaků z tratě na lokomotivu pouze v konkrétních bodech tratě. Není tak bezpečné jako liniové zabezpečovací zařízení, protože informace zůstává nezměněna, dokud lokomotiva nepřejede další bod tratě, zatímco u liniového zabezpečovacího zařízení je strojvedoucí stále informován. Tento typ zabezpečovacího zařízení se na české železnici nevyskytuje. [6]

Liniové zabezpečovací zařízení předává informace strojvedoucímu neustále bez ohledu na aktuální poloze vlaku na trati. Na české železnici se používá liniový zabezpečovací systém LS. Hybridní zabezpečovací systém je kombinace bodového a liniového systému. [6]

3.4.1 Vlakové zabezpečovací zařízení LS

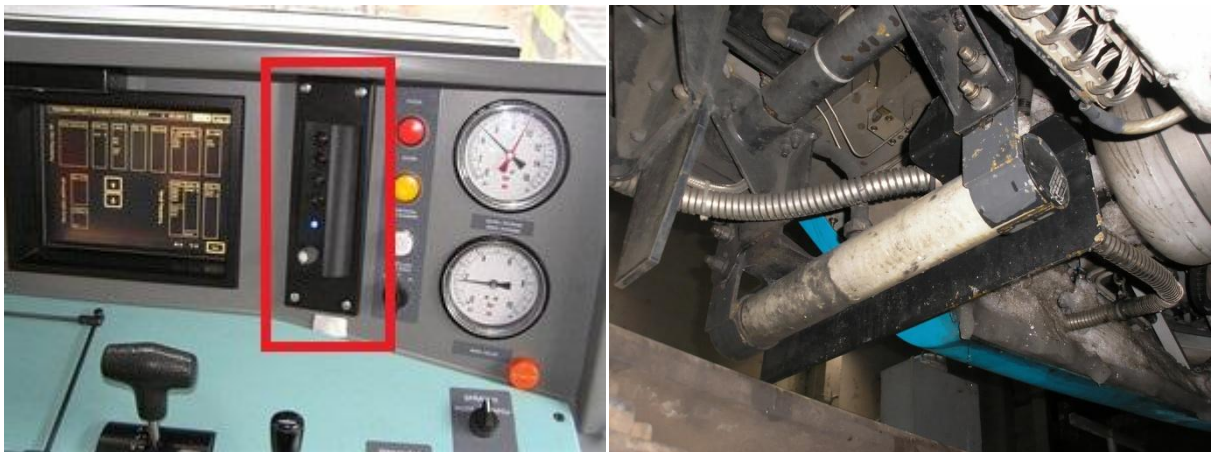
Vlakové zabezpečovací zařízení LS bylo vyvinuto v Československu v 60. letech 20. století a prošlo velkým vývojem. Posledním typem, který se u nás používá je vlakové zabezpečovací zařízení LS 90. Jeho hlavní úlohou je přenos návěstí na lokomotivu pomocí kolejnic. Systém je také propojen s tlačítkem bdělosti na místě strojvedoucího, nedojde-li k potvrzení bdělosti, systém automaticky zastaví vlak. K dalšímu vývoji tohoto systému nedochází, protože v současnosti se vyvíjí a instaluje nový celoevropský zabezpečovací systém ETCS na tratích v České republice. [6]

Vlakové zabezpečovací zařízení se skládá z traťové a vlakové části, kdy traťovou část tvoří nezávislé kolejové obvody s kombinačním logickým obvodem, který vysílá kód příslušného návěstního znaku pod určitou frekvencí. Následně je kód o určité frekvenci přenášen pomocí kolejnic až k dvojkolí kolejového vozidla, kde se nachází vlaková část zabezpečovače. Signál z kolejnic o dané frekvenci je poté modulován pomocí dekodéru, který modeluje daný signál pomocí čtyř frekvencí. Frekvence, ze kterých je daná informace modulována jsou zobrazeny na obrázku 3. Vysílání frekvence probíhá na tratích s napájecím systémem 50 Hz, tak na tratích s napájením 75 Hz. [6]



Obrázek 3: Kódy LVZ. [13]

Kódy liniového vlakového zabezpečovače (LVZ) o určitých frekvencích jsou snímány pomocí cívek, které jsou umístěny v přední části kolejového vozidla. Po přijmutí kódu dojde ke zpracování a odeslání informace o stavu dopravní cesty na návěštní opakováč, který je umístěn v kabině strojvedoucího.



Obrázek 4: Návěštní opakováč + anténa pro komunikaci s balízi. [10][9]

3.5 European Rail Traffic Management System

ERTMS je nový evropský zabezpečovací systém pro řízení železniční dopravy. Rozdílnost národních sítí a způsobů řízení železniční dopravy v Evropě vedlo k tomu, že byl vytvořen Evropský systém ERTMS, který nahradil stávající zabezpečovací systémy různých států. Tím byla docílena lepší interoperabilita jednotlivých národních sítí, to znamená, že vozidla cizích dopravců se snadněji pohybují po národních tratích. ERTMS má dvě základní součásti. Jedním z nich je ETCS (European Train Control System - Evropský vlakový zabezpečovací systém), který nahrazuje stávající zabezpečovací systémy. Druhou součástí ERTMS je radiový systém pro poskytování hlasových a datových přenosů mezi vlakem a infrastrukturou GSM-R. GSM-R je založen na standardu GSM, ale využívá frekvence rezervované pro železniční aplikace. [11]

3.5.1 Global System for Mobile Communication for Railway - GSM-R

GSM je nejrozšířenější standard pro bezdrátovou komunikaci na světě, který v současnosti využívá víc jak 5 miliard lidí na světě ve více než 200 zemích světa. Oproti tomu GSM-R je standard, který je určený pro bezdrátovou komunikaci na železničních tratích, kde jsou kladeny vysoké nároky na bezpečnost a spolehlivost. GSM-R je používán ke komunikaci mezi kolejovým vozidlem a dispečerskými centry. Pro GSM-R byly vyhrazeny speciální frekvenční pásma: [11]

- 876 MHz - 880 MHz (vysílání dat)
- 921 MHz - 925 MHz (příjem dat)

3.5.2 European Train Control System - ETCS

Hlavním úkolem systému ETCS je zajištění bezpečnosti a spolehlivosti železniční dopravy. V budoucnu by se tak měl vyskytovat na vysokorychlostních tratích a koridorech. Jeho hlavním úkolem je předcházení nehodám aktivním zásahem do řízení vozidla v případě selhání techniky nebo selhání strojvedoucího. Systém ETCS se skládá ze dvou základních částí. První částí je traťová část, která je složená ze zařízení na trati, které slouží k lokalizaci kolejového vozidla a přenosům informací. Druhá část ETCS systému je vozidlová část, ve které se vyskytují zařízení na kolejovém vozidle, která slouží k vyhodnocení a vysílání zpracovaných informací. [11]

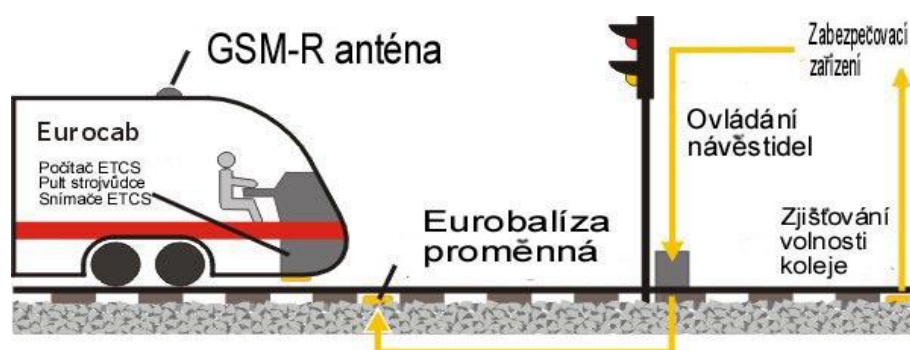
Traťová část ETCS:

- Eurobalíza - přenos informace z tratě na vozidlo.
- Traťová elektronická jednotka LEU - přenos informace ze zabezpečovacího zařízení na eurobalízu.
- Eurosmýčka - přenos informace o postavení návěstidla, resp. změna návěstí (volnosti) tam, kde je to účelné.
- Radiobloková centrála RBC - elektronický systém, který na základě informace ze zabezpečovacího zařízení a z informací z vozidel vypracovává prostřednictvím sítě GSM-R povolení o jízdě vlaku.
- Doplnkový rádiový obvod - přenos informací o postavení následujícího návěstidla.

Vozidlová část:

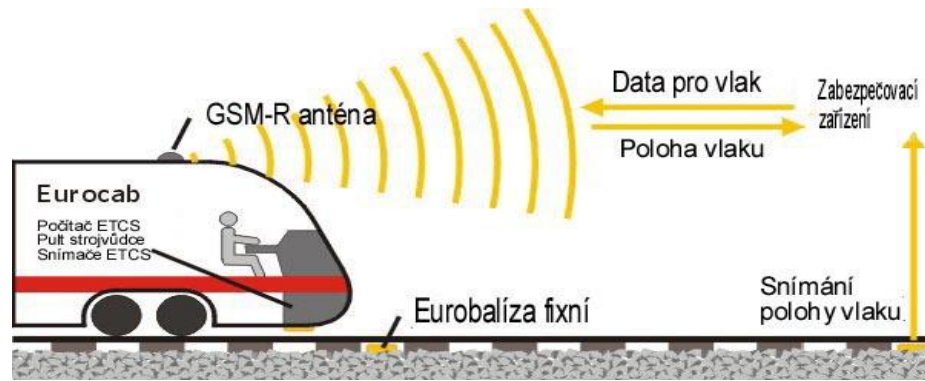
- Centrální počítač - vyhodnocuje přijaté údaje, vypočítává brzdnu křivku a hlídá jízdu vlaku. V případě nedodržení rychlosti, celistvosti vlaku a volnosti koleje automaticky aktivuje brzdňý systém.
- Záznamová jednotka - zachovává všechny informace z provozu.
- Zobrazovací jednotka - dotyková obrazovka, kde jsou zobrazeny všechny potřebné informace - rychlost, celistvost vlaku a volnost koleje.
- Přenosový modul balízy - vysílá signál pro napájení eurobalíz (27 MHz), přijímá signál z eurobalíz v pásmech (3,9 a 4,5 MHz).

Systém ETCS má tři úrovně postupného zavádění. První úroveň je systém nasazený na stávající existující návěštní systém, kdy zařízení pracuje na trati vybavené přepínatelnými eurobalízami. Primární data z trati se tak přenášejí prostřednictvím eurobalíz na návěštdlo, ETCS následně vypočítá rychlost vlaku a body brzdění. [11]



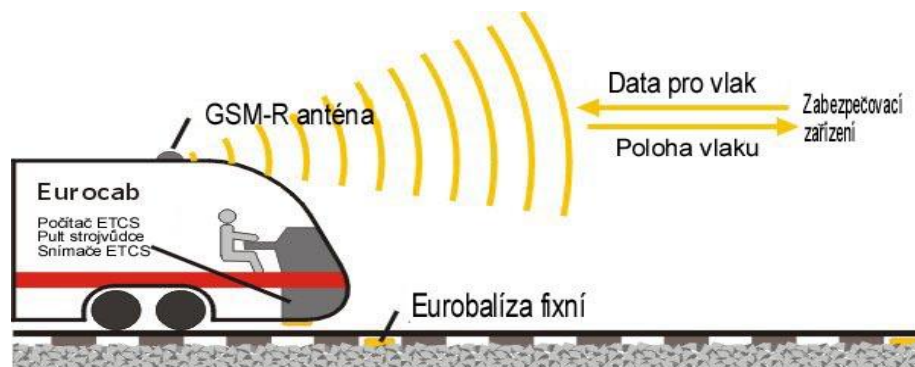
Obrázek 5: ETCS - úroveň 1. [11]

Druhá úroveň ETCS počítá s tím, že návěštdla pro řízení provozu jsou nahrazena balízami, které určují lokalizaci vlaku. Pro zjišřování volnosti koleje se využívají kolejové obvody. Funkce druhé úrovně spočívá v určení polohy vlaku pomocí eurobalíz na trati a v kombinaci s rádiem GSM-R se přenášejí data o vlaku do radiové centrály. [11]



Obrázek 6: ETCS - úroveň 2. [11]

Třetí úroveň ETCS umožňuje samostatnou lokalizaci kolejového vozidla, kdy se jeho poloha kontroluje pomocí rádiových prostředků. Tato úroveň umožňuje odstranění traťových oddílů, tedy již nejsou potřeba kolejové obvody pro zajištění volnosti koleje. Kolejové vozidlo tak vysílá svoji polohu a podle toho se v dispečerském centru vypočítá jeho doporučená traťová rychlost, tato data jsou mu následně pomocí rádiových prostředků poskytnuta a kolejové vozidlo tak upraví svoji traťovou rychlost. [11]



Obrázek 7: ETCS - úroveň 3. [11]

4. Automobilové bezpečnostní systémy

Moderní automobily dnes mají mnoho prvků zvyšujících bezpečnost na pozemních komunikacích. Vedle robustní karosérie, která je vytvořena z mnoha materiálů, jako jsou vysokopevnostní oceli a kompozitu hliníku, se o bezpečnost posádky při dopravní nehodě stará sestava airbagů, které chrání posádku ze všech stran, dále sloupek řízení, který se při nehodě deformuje tak, aby nezasahoval do prostoru pro posádku. Mezi další bezpečnostní prvky patří varovné, asistenční a plně automatické systémy. Jedná se o systémy inteligentní ochrany cestujících, které koordinují činnost mnoha bezpečnostních technologií a reagují ve zlomku sekundy. [15]

Varovné systémy v případě kritické situace dávají řidiči srozumitelnou informaci (varování) o nezvyklém stavu vozidla, ale nezasahují do řízení.

Asistenční systémy jsou nezadbatelné pro bezpečnost silničního provozu. Vesměs se jedná o systémy, které v případě kritické situace převezmou kontrolu nad vozidlem, nebo na určitou dobu významným způsobem pomáhají řidiči zvládnout kritickou situaci.

Plně automatické systémy se aktivují uvedením vozidla do provozu a působí tak po celou dobu řízení. Jejich funkcí je snížení možnosti vzniku kolize, případně eliminace následků při dopravní nehodě.

Výše popsané systémy, které se vyskytují v dnešních moderních automobilech, jsou vypsány v tabulce 6.

Zkratka	Systém	Systém
ABS	Anti-lock Brake System	Antiblokovací systém
ACC	Adaptive Cruise Control	Adaptivní tempomat
ASR	Anti-Slip Regulation	Systém regulace prokluzu kol
AFC	Adaptive Forward Lighting	Adaptivní světlomety
BAS	Brake Assist	Brzdový asistent
CPA	Crew Protection Assistant	Systém pro aktivní ochranu cestujících
DSR	Driver Steering Recommendation	Systém aktivního řízení
EBV	Electronic Brake Force Distribution	Elektronické rozdělování brzdné síly
EDS	Electronic differential lock	Elektronická uzávěrka diferenciálu
ESBS	Electronic Stability Brake System	Elektronický stabilizační brzdný systém
ESP	Electronic Stability Program	Elektronický stabilizační program
LDW	Lane Departure Warning	Systém sledování jízdního pruhu
LKW	Lane Keeping System	Systém sledování jízdního pruhu
MSR	Traction Control	Regulace prokluzu
NV	Night Vision	Systém nočního vidění
CV	Computer Vision	Systém detekce chodců a cyklistů

Tabulka 6: Asistenční systémy.

4.1 Asistenční systémy

4.1.1 ABS

Systém ABS je antiblokovací systém, který zabraňuje zablokování kol během brzdění.

Systém ABS se skládá ze tří hlavních prvků, kterými jsou:

- hydraulická jednotka
- řídicí jednotka

- snímače otáček kol

Funkce ABS systému spočívá ve snímání otáček kol. Zjistí-li snímače nebezpečí zablokování kola, tak řídicí jednotka vyšle signál do hydraulické jednotky, která následně zvýší, sníží nebo udrží tlak v brzdovém potrubí automobilu.

4.1.2 ACC

Adaptivní tempomat je systém, který reguluje rychlost a odstup vozidla od vozidla před sebou. Systém ACC se skládá z:

- řídicí jednotky
- snímačů
- elektronického řízení brzd

Funkce systému spočívá v nastavení rychlosti vozidla a vzdálenosti, kterou má vozidlo udržovat od jiného vozidla. V přední části vozidla se nacházejí senzory, obvykle lidary pro snímání nastavené vzdálenosti. Jestli je sledovaná vzdálenost menší/větší, tak řídicí jednotka zvýší otáčky motoru pro zvýšení rychlosti, nebo zasáhne do elektronického řízení brzd a automobil začne brzdit.

4.1.3 ASR

Systém regulace prokluzu kol zajišťuje při prokluzu poháněných kol snížení výkonu motoru, čímž je zajištěn účinný přenos síly a je zvýšena stabilita automobilu. Skládá se z:

- snímačů
- ABS
- hydraulické jednotky
- elektronické řídicí jednotky
- škrtící klapky motoru

V okamžiku, kdy se začnou poháněná kola protáčet, začne ASR pracovat tak, že sníží točivý moment motoru, aby poháněná kola mohla opět zabírat.

4.1.4 AFC

Adaptivní světlomety je elektromechanický systém, kdy se světlomety na vozidle samočinně natáčejí podle stavu jízdy, tedy podle jízdní rychlosti a úhlu natočení volantu ve vozidle. Systém AFC se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- elektrického pohonu k ovládní světlometů

4.1.5 BAS

Brzdový asistent je systém na vozidle, který zvýší brzdou sílu vozidla tím, že při nedostatečném sešlápnutí brzdového pedálu zvýší tlak v hydraulickém systému brzd. Skládá se z:

- snímače
- řídicí jednotky

Pod brzdovým pedálem se nachází snímač, který snímá rychlost a sílu stlačení brzdového pedálu. Impulzem pro aktivaci brzdového asistenta je mezní hodnota výkonu vyjádřená jako součin síly a rychlosti. Dojde-li k překročení této hodnoty, tak se aktivuje brzdový asistent, který zvýší tlak v hydraulickém systému a tím dojde k rychlejšímu náběhu brzd. [17]

4.1.6 CPA

Systém aktivní ochrany cestujících je založen na prevenci posádky vozidla při dopravní nehodě. Například začne-li vozidlo prudce brzdit, tak ztuhnou bezpečnostní pásy. Systém se aktivuje při aktivaci stabilizačního systému, kdy CPA přivře dveřní okénka a zavře střešní okno, čímž je docíleno toho, že nevniknou nežádané věci při nehodě do interiéru vozidla. Systém CPA se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- elektrického pohonu pro dveřní okénka
- elektrického pohonu pro střešní okno

4.1.7 DSR

Systém aktivního řízení je stabilizační systém. Jednotlivé snímače systému DSR posílají informace do řídicí jednotky. Z těchto údajů si řídicí jednotka vozidla vypočítá, zdali se vozidlo při průjezdu zatáčkou stává přetáčivé, nebo nedotáčivé. Na základě těchto informací aktivně zasáhne do řízení vozidla, popřípadě aktivuje systém ESP. Systém DSR se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- elektrického motoru na hřebeni řízení
- stabilizačního systému ESP

4.1.8 EBV

Elektronické rozdělení brzdného účinku je dodatečný program k systému ABS. EBV koriguje brzdou sílu mezi přední a zadní nápravou. Moderní vozidla mají poměrně silné brzdy na zadní nápravě, tedy je zde vysoká pravděpodobnost, že se kola na zadní nápravě zablokují. Systém EBV porovnává otáčky kol na přední a zadní nápravě. Pokud budou mít kola na zadní nápravě menší počet otáček než kola na přední nápravě, tak budou mít sklon k zablokování, a proto bude systém EBV regulovat brzdový tlak na zadní nápravě. Systém EBV se skládá z:

- snímačů
- regulačního ventilu brzdného tlaku
- řídicí jednotky
- zátěžového regulátoru brzdného tlaku

4.1.9 EDS

Elektronická uzávěrka diferenciálu je systém na vozidle, který umožňuje rozjezd na vozovce, která má rozdílné koeficienty tření mezi pravým a levým kolem. Jestliže se jedno kolo prokluzuje, tak ho aktivním zásahem přibrzdí a hnací sílu přenáší kolo druhé. Systém EDS můžeme chápat jako opak systému ABS, který zajišťuje, aby se nám kola nezablokovala tím, že reguluje tlak v brzdném potrubí. Systém EDS také reguluje tlak v brzdovém potrubí, ale pouze přibrzdí dané kolo, které má tendenci se protáčet. Poté je dosažena lepší adheze mezi pneumatikou a vozovkou a vozidlo má tendenci se lépe rozjíždět. Systém EDS se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- zátěžového regulátoru brzdného tlaku

4.1.10 ESBS

ESBS je stabilizační program, který při průjezdu vozidla zatáčkou počítá otáčky všech kol vozidla a jestliže rozpozná, že se vozidlo má tendenci stát přetáčivé či nedotáčivé, tak reguluje brzdový tlak na přední či zadní nápravě. Jestliže vozidlo bude mít tendenci k přetáčivosti, tak systém ESBS sníží brzdový tlak na kola u vnitřní strany zatáčky a tím je docíleno lepšího vedení kol. Jestli systém rozpozná, že vozidlo se stává nedotáčivé, tak upraví brzdový tlak na přední nápravě a vozidlo má tak lepší vedení kol. Systém ESBS se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- zátěžového regulátoru brzdného tlaku

4.1.11 ESP

Elektronický stabilizační program slouží ke stabilizaci vozidla. Stabilizace vozidla je docílena samočinným aktivním zásahem do brzd jednotlivých kol vozidla a úpravou otáček motoru. Systém snímá počet otáček všech kol a následně vyhodnotí, jestli je vozilo přetáčivé či nedotáčivé. Nato přibrzdí některá kola či zasáhne do hnacího momentu motoru. Systém ESP integruje systémy ABS, EBV, EDS a ASR. Systém ESP se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- škrtící klapky motoru
- hydraulické jednotky ABS

4.1.12 LDW

Systém pro sledování jízdního pruhu slouží k varování řidiče, pokud vozidlo opouští svůj jízdní pruh. Varování řidiče probíhá vizuálně (palubní deska), zvukově (výstražný signál) a hmatově (vibrace volantů). Systém LDW se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky

4.1.13 LKW

LKW systém je nadstavba systému LDW. Varuje řidiče o tom, že opouští svůj jízdní pruh. V případě, že řidič neodpovídá na tuto výzvu návratem do svého jízdního pruhu, tak systém aktivním zásahem do řízení vrátí vozidlo do svého jízdního pruhu. Systém LKW se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- elektrického pohonu na řízení

4.1.14 MSR

Regulace prokluzu slouží ke stabilizaci vozidla při náhlém uvolnění pedálu akcelerace. Jede-li vozidlo například na kluzkém povrchu a řidič rychle uvolní pedál akcelerace, tak se kola mohou zablokovat vlivem brzdění motoru. Tomuto stavu předchází systém MSR, který nepatrnou akcelerací zvýší výkon motoru a tím je docíleno, že se kola nezablokují a vozidlo zůstane stabilní. Systém MSR se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- škrtící klapky motoru

4.1.15 NV

System nočního vidění slouží pro rozpoznávání překážek při jízdě v noci. NV je založen na principu infračerveného záření, kdy je scéna před vozidlem zobrazena na digitální obrazovce u řidiče. System nočního vidění se skládá z:

- snímače
- řídicí jednotky
- digitální obrazovky

4.1.16 System detekce chodců a cyklistů

System detekce chodců a cyklistů slouží v případě, kdy řidič nezaznamenal pohyb chodce nebo cyklisty v jízdní dráze vozidla a hrozí tak srážka. K detekci objektů je využit radar a kamera. Jestliže hrozí srážka s chodcem, nebo cyklistou, system nejprve akusticky informuje řidiče o stávající situaci a pokud řidič nereaguje, tak system automaticky spustí brzdy. System detekce chodců a cyklistu se skládá z:

- snímačů
- řídicí jednotky
- regulátoru brzdového tlaku

4.2 Snímače na vozidle

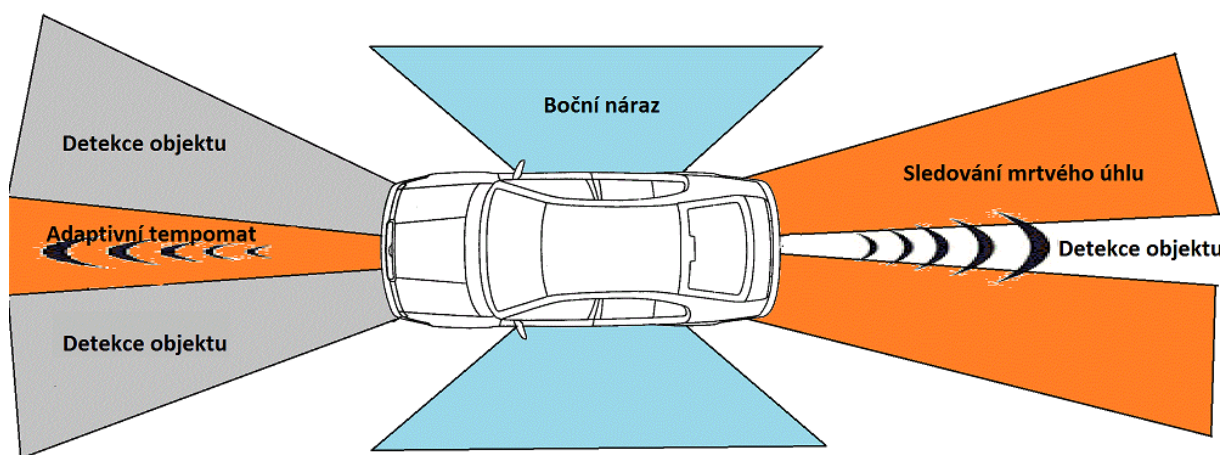
Z výše popsaných systémů je možné vidět, že na vozidle se nachází mnoho snímačů pro detekci polohy, rychlosti, tlaku atd. Jedná se o různé typy senzorů, které pracují na různých fyzikálních principech. Jaký typ snímače je využit pro danou funkci asistenčního systému, znázorňuje tabulka 7.

Funkce	Typ snímače
ABS	Snímač otáček všech kol Snímač tlaku brzdové kapaliny Snímač bočního zrychlení
ACC	Infračervené senzory Distanční radar
ASR	Snímač otáček všech kol Snímač tlaku brzdové kapaliny
AFL	Snímač natočení volantu Snímač rychlosti vozu Tlakový senzor na zadní nápravě
BAS	Snímač tlaku brzdové kapaliny Snímač polohy brzdového pedálu
CPA	Snímač zrychlení podélného, bočního a příčného zrychlení
DSR	Snímač otáček všech kol Snímač natočení volantu
EBV	Snímač tlaku brzdové kapaliny Snímač polohy brzdového pedálu
EDS	Snímač otáček všech kol
ESBS	Snímač otáček všech kol Snímač tlaku brzdové kapaliny
ESP	Snímač natočení volantu Snímač otáček všech kol Snímač podélného a příčného zrychlení Snímač rotační rychlosti Snímač tlaku brzdové kapaliny Snímač polohy plynového pedálu
LDW	Video-detekce Laserové senzory Infračervené senzory
LKS	Video-detekce Laserové senzory Infračervené senzory
MSR	Snímač otáček všech kol Snímač polohy plynového pedálu
Night Vision	Video-detekce (infračervená)
Rozpoznávání	Radar Video-detekce

Tabulka 7: Snímače na vozidle.

4.3 Automobilové radary

Automobilová radarová zařízení se vyskytují v osobních automobilech po celém světě. Tato zařízení se používají v adaptivních tempomatech, které mohou řídit zrychlení, brzdění a udržování vzdálenosti mezi vozidly. Dále se automobilové radary používají v protikolizních systémech, kdy vozidlo rozpozná překážku a reaguje na ni upozorněním, nebo aktivním zásahem do řízení vozidla, aby se vyhnulo detekované překážce. Mezi další systémy na vozidle, kde se uplatní automobilové radary, patří systémy pro sledování mrtvého úhlu, parkovací systémy, systémy sledování jízdního pruhu a systémy autonomního nouzového brzdění.



Obrázek 8: Radarový systém na vozidle.

Protikolizní systémy jsou založeny na malých radarových detektorech umístěných v přední, boční a zadní části vozidla. Funkce těchto systému spočívá v neustálém vysílání vysokofrekvenčních rádiových vln od detektorů, tyto vlny se od nejbližších objektů odrazí a vrací se zpět do senzoru, kde jednotka připojená k senzoru vypočítá, jak dlouho trvá, než se vyslaná vlna odrazila zpět. V tuto chvíli může jednotka radaru určit polohu objektu před detektorem, vzdálenost a jeho rychlost. Jestliže z těchto informací jednotka radaru zjistí, že hrozí potenciální kolize, může systém informovat řidiče o stavu na vozovce, nebo aktivním zásahem do řízení předejde potenciální kolizi.

Radary pro sledování objektů v okolí vozidla pracují v několika frekvenčních pásmech v rozmezí od 24 GHz do 81 GHz. Jaké aplikace se využívají pro konkrétní typ radaru, popisuje tabulka 8.

Aplikace	Detekční rozsah	Technologie
Adaptivní tempomat	200 m	77 GHz Radar
Protikolizní systém	30 - 150 m	77 GHz Radar / 24 GHz Radar / 81 GHz Radar
Detekce mrtvého úhlu	20 m	24 GHz Radar / Video detekce
Sledování jízdního pruhu	60 m	Video detekce
Parkovací systém	30 m	77 GHz Radar

Tabulka 8: Typy použitých radarů pro danou aplikaci.

4.3.1 Video detekce

System kamerové detekce je založen na skenování silnice před sebou pomocí kamer obsažených ve vozidle. Pokročilé algoritmy umožňují kamerám sledovat chodce, vozidla a typ dopravního značení. Rozlišují se dva základní typy kamer pro video detekci, jedná se o mono-kamerový a stereo-kamerový systém.

4.3.1.1 Mono-kamerový systém

U mono-kamerového systému se kamera umísťuje za přední sklo těsně nad zpětným zrcátkem. Obraz z kamery je zobrazen pomocí speciálních algoritmů pro zpracování obrazu, kdy se automaticky identifikují objekty, jako jsou automobily, svislé dopravní značení, chodci atd. Podle typu systému řídicí jednotka poté může vyvolat poplach, který se graficky zobrazí u řidiče, nebo automatickým zásahem ovlivnit řízení vozidla.

4.3.1.2 Stereo-kamerový systém

Stereo-kamerový systém je založen na dvojici vysoce synchronizovaných kamer, které jsou společně se speciálními algoritmy schopny přesně rozpoznávat chodce a další objekty z pohledu řidiče. Podobně jako u mono-kamerového systému jsou kamery umísťovány na předním skle za vnitřním zpětným zrcátkem. Stereo-kamerový systém je funkční do vzdálenosti 100 metrů.

5. Detekce překážek na železničním přejezdu

K určení překážky na železničním přejezdu bude potřeba znát projíždějící profil vozidla. Pohyb vozidla může být snímán pomocí počítačů náprav, nebo pomocí senzorického detekování vozidel.

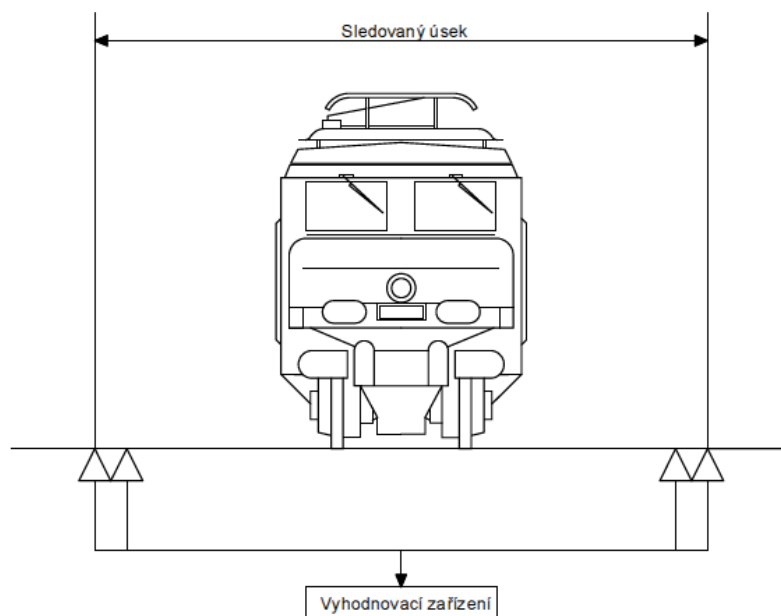
5.1 Přístroje pro detekování vozidel na železničním přejezdu

5.1.1 Detektory náprav

Princip detektorů náprav je jednoduchý. V silničním tělese by byl zabudován jednoduchý počítač náprav. Detektory by byly umístěny na krajích sledovaného úseku v párech, aby bylo možné vyhodnotit směr pohybu. Dokázaly by tedy vyhodnotit, kolik kol vjelo do obvodu komunikace, nebo jej opustilo. Po najetí vozidla do obvodu označí vyhodnocovací zařízení tento obvod jako obsazený a tuto informaci poskytne strojvedoucímu lokomotivy. V případě, že obvod opustí stejný počet náprav, jako do něj vjelo, je tento vyhodnocen jako volný.

Typy detektorů náprav:

- mechanické
- elektromechanické
- elektropneumatické



Obrázek 9: Princip detektoru náprav.

Výhoda:

- při poruše obvodu hlásí obvod jako obsazený

Nevýhoda

- nespolehlivost systému -> problém při vyšším počtu náprav (např. návěs)

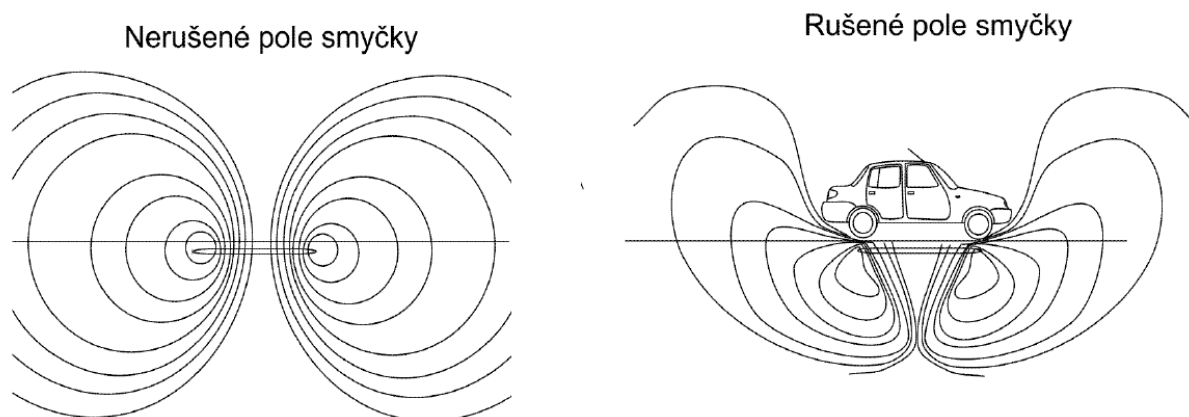
5.1.2 Detektory vozidel

Pro detekování vozidel existuje obrovské spektrum technologií založených na různých fyzikálních vlastnostech. Patří do nich:

- elektromagnetická indukce
- piezoelektrická detekce
- fotoelektrická detekce - kamera (počítačové vidění)
- ultrazvuková detekce
- akustické detektory
- infračervené detektory
- detektory s vláknovou optikou

5.1.2.1 Elektromagnetická indukce

Detektor pracuje následovně: ve vozovce se nachází v hloubce cca 30 - 120 mm kabelový vodič, vytvářející indukční smyčku. Smyčka tvoří základní článek obvodu nízkofrekvenčního generátoru, jehož frekvence se mění v závislosti na přítomnosti či nepřítomnosti vozidla nad indukční smyčkou. Tím vznikne okolo závitů homogenní magnetické pole, které je narušeno přítomností karosérie vozidla. [16]



Obrázek 10: Princip detektoru magnetické indukce. [5]

Výhody:

- přesnost
- spolehlivost
- poměrně jednoduchá instalace
- nízká cena
- osvědčená a funkční technologie
- možnost rozšíření na různé funkce
- poskytují základní dopravní parametry (intenzitu, obsazenost, přítomnost)

Nevýhody:

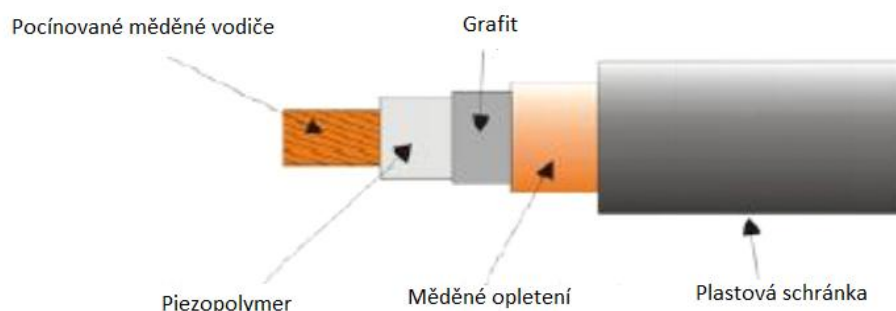
- omezené možnosti použití v místě kolejí
- možnosti jejich porušení v případě velkých deformací vozovky, nutnost kvalitního provedení smyčky i vozovky
- narušení dopravy při instalaci a údržbě, obě vyžadují uzavření jízdního pruhu (instalace až 2 dny)
- pro bodové měření je obvykle zapotřebí více detektorů
- časté poruchy spojené se špatnou kvalitou povrchů vozovek
- opravy vozovky vyžadují často i reinstalaci detektoru
- náchylnost k poruchám způsobeným pohybem smyčky
- snižují životnost vozovky
- údržba



Obrázek 11: Detektor Marksman 660. [18]

5.1.2.2 Piezoelektrická detekce

Senzor byl vyvinut pro potřeby trvalé instalace do vozovky silniční komunikace za účelem sběru informací o dopravním proudu vozidel. Klasické provedení senzoru je provedeno z měděného pláště kruhového průřezu o průměru $\text{Ø}3\text{mm}$ nebo $\text{Ø}6\text{mm}$ vyplněného piezokeramickým médiem, v jehož středu je situován měděný vodič o průměru $\text{Ø}1\text{mm}$. Senzor je spuštěn stlačením sondy nápravou vozidla. Napětí generované senzorem je úměrné síle, nebo váze nápravy, která působí na senzor. Napětí je vytvořeno nábojem opačné polarity, který se objeví při stlačení na protilehlých stranách piezoelektrického zařízení. [16]



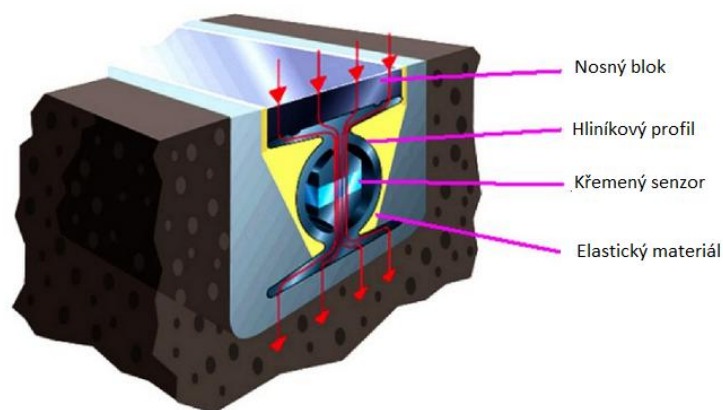
Obrázek 12: Složení piezokabelu. [5]

Výhody:

- cena
- úzký profil senzoru - malý zásah do vozovky

Nevýhody:

- změna citlivosti senzoru po jeho instalaci do vozovky
- teplotní závislost
- deformace senzoru
- nižší přesnost
- min. rychlost 15 km/h
- trvanlivost



Obrázek 13: Řez senzorem LINEAS. [16]

5.1.2.3 Fotoelektrická detekce - kamera (počítačové vidění)

Princip činnosti je založen na digitalizaci obrazu. Kamera snímá danou oblast na komunikaci, nejlépe z pohledu v ose jízdních pruhů, umísťuje se například na sloup světelné signalizace nebo na sloup veřejného osvětlení, popř. portály. Na obrazu se softwarově definují virtuální smyčky, jejich polohy, rychlosti a obsazenosti. Projíždějící automobil změni hodnoty barev a jasu ve sledované oblasti, díky čemuž je identifikován. [16]

Výhody

- instalace
- snadná možnost provádět změny v úpravách virtuálních smyček
- rozpoznávání vozidel
- široká plocha detekce
- přesnost
- aktuální dopravní situace

Nevýhody

- povětrnostní podmínky (mlha, hustý déšť, sněžení)
- servis kamery
- náchylnost na pohyb kamery z důsledku povětrnostních podmínek
- nutná filtrace pro zpřesnění informací
- malá vozidla mohou být zakryta velkými vozidly
- stíny a odrazy od mokré vozovky mohou mít vliv na chyby v detekci vozidel
- noční detekce
- přechody mezi dnem a nocí



Obrázek 14: Barevná kamera JK-218 CCD 1/4" SHARP. [19]

5.1.2.4 Ultrazvuková detekce

Principem ultrazvukové detekce vozidel je vysílání ultrazvukových vln pod úhlem 20 až 90 stupňů směrem k vozovce. Jestliže dojde k průjezdu vozidla, pak nastane změna intenzity odraženého paprsku, která se následně vyhodnotí. Princip je založený na úbytku energie zvukových vln, která se snižuje. [16]

Výhody:

- neintrusivní detektor
- instalace
- přesnost
- záznam stojícího vozidla
- cena

Nevýhody:

- prudké změny povětrnostních podmínek mohou ovlivnit vlastnosti
- přesnost
- nevhodné pro vyšší rychlosti



Obrázek 15: Ultrazvukový detektor TC - 30. [20]

5.1.2.5 Akustické detektory

Princip těchto detektorů spočívá v detekci akustické energie "hluku" způsobeného průjezdem vozidla. V dnešní době se využívají dvourozměrná pole mikrofonů. Zvuk mimo detekční zónu je mechanicky, nebo elektronicky potlačen. Rychlost, nebo obsazení úseku je poté odhadováno pomocí SW algoritmu. [16]

Výhody:

- možnost detekce více jízdních pruhů
- délka instalace a kalibrace

Nevýhody:

- cena zařízení
- vliv povětrnostních podmínek
- minimální detekovaná rychlost -> 20 km/h



Obrázek 16: Detektor Smartsonic TSS-1. [16]

5.1.2.6 Infračervený detektory

Pasivní infračervené detektory nevysílají žádnou vlastní energii. Jejich detekce spočívá v detekci energie ze zdrojů, a to energie emitované vozidly, povrchem silnice a energie emitované atmosférou a odraženou vozidly. Tato energie je zachycena pasivními snímači, kde je pomocí optického systému soustředěna na materiál, který je citlivý na infračervené záření. Tento materiál převede odraženou energii na elektrický signál. Následné zpracování signálu se využívá ke zjištění přítomnosti vozidla. [16]

Výhody:

- instalace
- cena
- noční detekce
- možné měření rychlosti

Nevýhody:

- teplotní závislost
- povětrnostní podmínky
- těžká kalibrace
- nepřesnost
- na každý jízdní pruh jeden detektor



Obrázek 17: Infračervený detektor ASIM IR 254. [21]

5.1.2.7 Detektory s vláknovou optikou

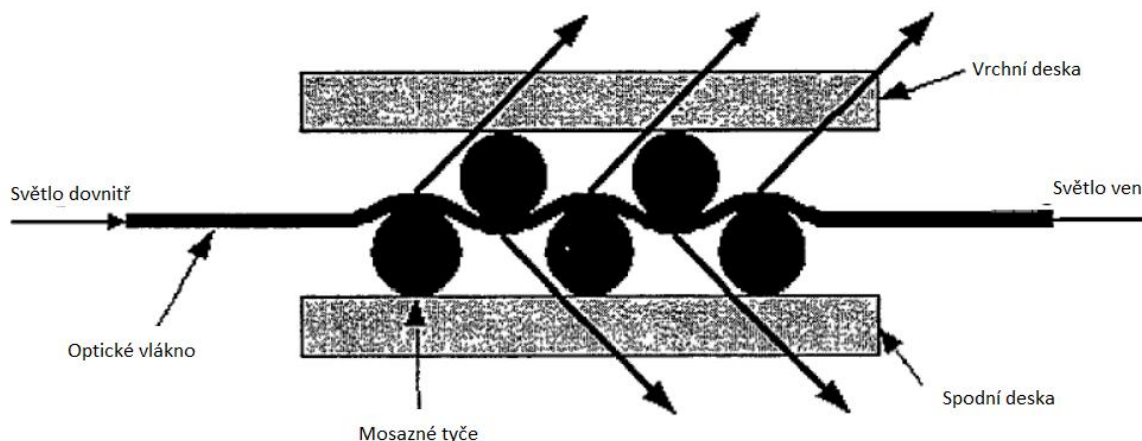
Detektory s vláknovou optikou jsou relativně nová technologie. Jejich význam spočívá ve využití optického kabelu položeného na kulatinách, které se při stlačení posunou směrem k sobě, tím ohnou vlákno uvnitř a tak dojde k emisi světla. Intenzita světla je potom měřena na konci smyčky. [5]

Výhody:

- malá hmotnost a rozměry
- biokompatibilita
- odolnost proti elektrostatickému a elektromagnetickému záření
- elektrická pasivita

Nevýhody

- cena
- citlivost na ohyby



Obrázek 18: Konstrukce detektoru s vláknovou optikou. [5]

5.2 Shrnutí detektorů překážek

Pro detekci překážek na železničním přejezdu je možné využít mnoho technologií pracujících na různých fyzikálních principech. Vlastnosti některých technologií neumožňují pracovat při různých denních osvětlení, v různých povětrnostních a teplotních podmínkách. V tabulce 9 jsou shrnuty veškeré technologie určené pro detekci překážek na železničním přejezdu a požadované vlastnosti detektorů. Znaménko (+) je výhoda pro danou vlastnost daného detektoru a znaménko (-) je nevýhoda detektoru pro danou vlastnost.

	Instalace	Přesnost	Cena	Teplotní závislost	Povětrnostní podmínky	Rychlost detekce	Noční detekce
Detektory náprav	-	-	-	+	+	-	+
Magnetická detekce	+	+	+	-	+	+	+
Piezoelektrická detekce	+	-	+	-	+	-	+
Fotoelektrická detekce	+	+	+	+	-	+	-
Ultrazvuková detekce	+	-	+	-	-	+	+
Akustická detekce	+	-	-	-	-	-	+
Infračervená detekce	+	-	+	-	-	+	+
Optická detekce	+	+	-	-	+	+	+

Tabulka 9: Shrnutí detektorů.

5.3 Komunikace

5.3.1 Způsob přenosu dat

Přenos dat nebo digitální komunikace je přenos digitálních zpráv nebo digitalizovaného analogového signálu pomocí fyzického dvoubodového nebo vícebodového přenosového média, kterým může být kabel nebo bezdrátový přenos.

Kabel:

- metalický
- optický

Bezdrátový přenos:

- optická komunikace (světlo)
- sonická komunikace (zvuk)
- bezdrátová komunikace

5.3.1.1 Metalické vedení

Metalické vedení jsou telefonní dráty, obecné vodiče a ethernetové kabely, které jsou složeny z měděných drátů. Využívají se pro přenos digitálních a analogových signálů v rámci počítačových sítí. Vzhledem k vysoké přenosové rychlosti (až 1 Gbit/s) a nízké pořizovací ceně se jedná o nejuniverzálnější zařízení pro přenos signálů. Základní dělení metalických kabelů je na kabely symetrické a nesymetrické. U nesymetrických kabelů je jeden vodič uzemněn, provedení kabelu je koaxiální, tedy jeden válcový vnější vodič a jeden vnitřní vodič. V dnešní době se skoro již nesymetrické kabely nevyužívají vzhledem k jejich pořizovací ceně. Nejrozšířenějšími kabely, které se využívají pro přenos signálu, jsou symetrické kabely. Jedná se o dva izolované vodiče, které jsou vzájemně zkrouceny.

5.3.1.2 Optické vedení

U optických kabelů je přenosovým médiem optické vlákno, které pracuje na principu přenosu světelného paprsku od zdroje k cíli s co nejnižší ztrátou. Konstrukce kabelů se liší použitým obalem, počtem vláken a způsobem jejich uložení v obalu. Jednotlivá optická vlákna mají tloušťku 0,125 mm a bývají obalené izolací. Přenosová rychlost je závislá na typu optického vlákna. Pro komunikaci na krátkou vzdálenost se využívají mnohavidová optická vlákna, jejichž přenosová rychlost se pohybuje okolo 10 Mbit/s až 10 Gbit/s na vzdálenost 600 m. Pro komunikaci na větší vzdálenost se používají jednovidová a speciální optická vlákna. Nevýhodou optického vedení je vysoká cena a citlivost na ohyby při stlačení vlákna.

[26]

5.3.1.3 Optická komunikace

Optická komunikace je viditelné světlo, což je elektromagnetické záření o vlnové délce přibližně 390 - 790 nm. Mezi vlnovými délkami ultrafialového a infračerveného záření leží vlnové délky světla. Světlo je také někdy chápáno jako elektromagnetické záření libovolné vlnové délky. Zdroj světla je zdroj elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek, které můžeme pozorovat lidským okem jako viditelné světlo. Zpravidla se světelné zdroje rozlišují jako světelné zdroje přírodní (slunce, chemické reakce, biologické zdroje, elektrické výboje apod.) a zdroje umělé (žárovky, zářivky, výbojky, svítivé diody apod.). [22]

5.3.1.4 Sonická komunikace

Zvuk je mechanické vlnění, které je charakterizováno parametry pohybu částic pružného prostředí nebo u vlnového pohybu parametry zvukového pole. Frekvence vlnění, které je člověk schopen slyšet leží v intervalu 16 až 20000 Hz. Zvuky, které jsou pod slyšitelnou hranicí (0,7 - 16 Hz) označujeme jako infrazvuk, vyznačují se malou frekvencí a lidské tělo je vnímá hmatem - vibrací v těle. Zvuky nad slyšitelnou hranicí (do 50 kHz) označujeme jako ultrazvuk. Zdrojem zvuku může být každé kmitající těleso, ale také tělesa kmitající vynucenými kmity, mezi něž patří ozvučnice hudebních nástrojů, sluchátka, reprobedny a mnoho dalších zařízení generujících zvuk. [23]

5.3.1.5 Bezdrátová komunikace

Bezdrátová komunikace spočívá ve spojení dvou subjektů komunikace jinou formou než kabelem. Vzdálenost mezi subjekty komunikace může být v jednotkách metrů až do desetitisíců kilometrů. Bezdrátová komunikace se vnímá jako jeden obor v telekomunikacích. Základem bezdrátové komunikace je použití vlnění o určité frekvenci, tzn. radiových vln. Tyto rádiové vlny jsou součástí spektra elektromagnetického záření s vlnovými délkami od 1 mm až po tisíce kilometrů.

V bezdrátových komunikacích existuje několik standardů pro poskytnutí různých úrovní síťové komunikace, složitosti, dosahu a zabezpečení přenosu dat proti nechtěnému rušení nebo neoprávněnému přečtení. V tabulce 10 je shrnuta stručná charakteristika několika standardů.

Standard	Frekvenční pásmo	Přenosová rychlost	Aplikace
Bluetooth	2,402 - 2,480 GHz	1 Mb/s	Komunikace mezi elektronickými zařízeními
IEEE 802.11 (Wi-Fi)	60 GHz	< 54 Mb/s	Určené pro bezdrátové připojení několika zařízení a dále jejich propojení na lokální význam
IEEE 802.15 (WPAN)	3,1 - 10,6 GHz	11 - 55 Mb/s	Určené pro připojení zařízení v prostoru jedné osoby
IEEE 802.16 (WMAN)	2 - 66 GHz	< 100 Mb/s	Určené pro bezdrátový přenos v metropolitní oblasti
IEEE 802.20 (MBWA)	< 3,5 GHz	< 134 Mb/s	Určena pro rychlý přenos dat mobilním uživatelům
DSRC	5,850 - 5,925 GHz	< 54 Mb/s	Pro komunikaci mezi jedoucimi vozidly a zařízeními vozovky
GSM	900 a 1800 MHz	< 100 kb/s	Globální systém pro mobilní komunikaci

Tabulka 10: Stručná charakteristika bezdrátových sítí.

V oblasti bezdrátových komunikací existuje velké množství standardů, ale většina z nich má jenom lokální význam, což znamená, že je jednoúčelově určená pro dané aplikace.

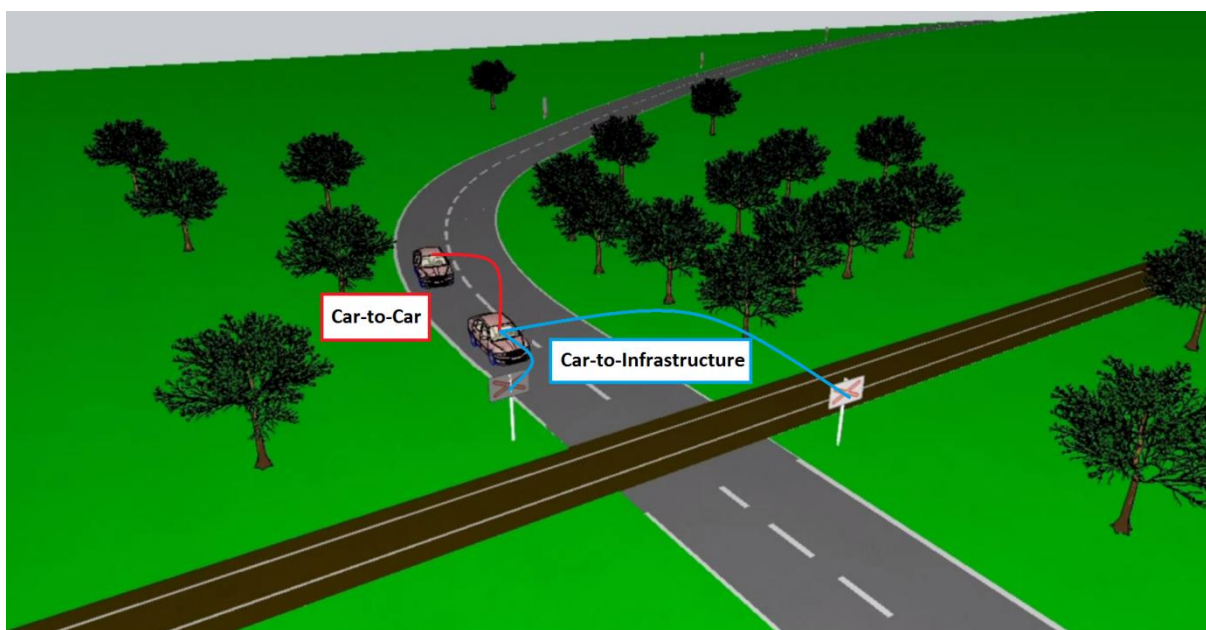
6. Rozbor normy IEEE 802.11p

6.1 Kooperativní systémy

Kooperativní systémy (C-ITS) jsou založeny na vzájemné komunikaci mezi vozidly a infrastrukturou. Informace se přenášejí pomocí bezdrátových sítí přímo k řidičům ve vozidlech a to vzájemnou komunikací mezi vozidly, nebo komunikací mezi vozidlem a fixně umístěnou infrastrukturou.

Jednotlivé typy kooperativních systémů můžeme rozdělit podle druhu komunikace. Jestliže vozidlo komunikuje s okolní infrastrukturou, tak je tento systém nazýván jako C2I, nebo V2I (Vehicle-to-Infrastructure, Car-to-Infrastructure). Technologie C2I vychází z několika oborů, včetně dopravního inženýrství, elektrotechniky a informatiky. Její hlavní rolí je podání informací o provozu na silničních komunikacích, o stavu vozovky a značení chování některých skupin vozidel. Jedním z příkladů je dynamické řízení křižovatky v závislosti na velikosti dopravní intenzity. V sofistikovanějších scénářích bude velikost rychlosti a zrychlení jednotlivých vozidel dáno přilehlou infrastrukturou, což bude vést ke snížení emisí vydávaných vozidly, snížení spotřeby paliva a dopravní rychlosti. Podání informací do vozidel je pomocí obrazovek u komunikace, nebo přímo řidiči pomocí bezdrátové sítě.

Komunikace mezi vozidly se nazývá C2C (Car-to-Car). C2C je mnohem těžší na realizaci, protože se jedná o decentralizovanou strukturu, která se zaměřuje na interakci mezi vozidly a případně na jejich vzájemnou spolupráci. Vozidla si vyměňují informace v blízkých skupinách na místní úrovni. Zavedení takové výměny informací vyžaduje dohodu mezi výrobcí automobilů, dodavateli komunikačních technologií a protokolů. Komunikační technologie je založena na bezdrátové síti IEEE 802.11. Frekvenční spektrum pro komunikaci leží v rozsahu 5 GHz, které bylo v Evropě přiděleno harmonizovaným způsobem v souladu s podobnými přiděly v USA (systémy nejsou kompatibilní).



Obrázek 19: Kooperativní systémy.

Koncept C2C je založen na tom, že jsou-li 2 nebo více vozidel na silniční komunikaci v radiokomunikačním dosahu, tak se automaticky připojí a vytvoří síť ad-hoc, která umožňuje sdílení polohy, rychlosti a směru dat. Z každého vozidla se stává router, který umožňuje odesílání zpráv přes multihop do vzdálenějších vozidel. Směrovací algoritmus je založen na poloze vozidla a je schopen zvládnout rychlé změny technologie sítí. Technologie řízení přichází do hry na místní a vyšší vrstvy architektury. Nejistoty, zpoždění a další aspekty musí být zváženy, aby byl systém schopen dělat automatické nebo poloautomatické rozhodnutí, které poskytuje varování / informaci, a které může potenciálně ovlivnit činnost při řízení.

Komunikace vozidla může probíhat i s ostatními účastníky silniční dopravy jako jsou chodci. Navázání spojení je pomocí mobilního telefonu chodce. Tato komunikace se běžně nazývá jako vozidlo-jiný typ zařízení (C2X).

6.2 Typy přenášených zpráv

Typů přenášených zpráv je několik. Jedním z typů jsou opakující se zprávy, které obsahují místní informace o nebezpečných situacích. Tyto zprávy nelze přeposlat. Jejich výhodou je ve vysoké pravděpodobnosti zachycení zprávy.

Druhým typem jsou zprávy vyvolané určitou situací, jako jsou výstražné a nouzové zprávy. Význam této zprávy je v zaznamenání určitého nebezpečí a tím rozšiřování této informace. Nevýhodou je, že vzniká zpoždění.

6.3 Základní elementy ITS systému

Pro komunikaci je využíváno několik zařízení. Jedním z těchto zařízení jsou vozidlové jednotky C-ITS, které jsou integrované ve vozidlech a jednotky umístěné u pozemní komunikace, což jsou například jednotky u detekčních zařízení, portálů podélného dopravního značení a zařízeních pro provozní informace. Další elementy pro komunikaci jsou osobní zařízení, kterými jsou C-ITS zařízení a aplikace běžící na osobních mobilních zařízeních typu smartphone, tablet atd. Pro monitoring a správu C-ITS jednotek na dopravní infrastrukturu, či přijímání z vozidlových, nebo osobních zařízení se využívá centrální systém. Jedná se o centralizované systémy provozované např. v dopravně řídicím, nebo informačním centru. Pro přenos informací se využívá několik zařízení, jejich výhody (+) a nevýhody (-) v jednotlivých typech systémů popisuje tabulka 11.

Zařízení /typ systému	C2C	C2I	C2P
WiFi 802.11p	+	+	+
DSRC	-	+	-
GSM	-	-	-
IEEE 802.16 (WMAN)	-	-	-
Bluetooth	-	-	+
IEEE 802.20 (MBWA)	+	+	-

Tabulka 11: Možné technologie pro kooperativní systémy.

Jako nejvýhodnější zařízení pro přenos informací v kooperativních systémech se jeví standard 802.11p, který je detailně popsán v následujících kapitolách. Jako druhé nejlépe vhodné zařízení pro přenos informací je standard MBWA, který je určen pro rychlý přenos dat mobilním uživatelům, ale vzhledem ke svému pracovnímu rozsahu frekvence 3,5 GHz, je nevhodný pro bezpečnost aplikace ITS systémů pracujících ve frekvenčním rozsahu 5,8 - 5,9 GHz. Mezi další zařízení, která jsou vhodná pro ITS aplikace, patří standard DSRC a GSM. Standard DSRC byl vytvořen pro komunikaci mezi pevným zařízením u komunikace a jedoucím vozidlem, tudíž je zcela vhodný pro C2I aplikace. Pro aplikace C2C, C2P a C2H je

standard DSRC nevhodný, protože se jedná o spojení krátkého dosahu. Standardy GSM a WiMax 802.16 jsou nevhodné pro aplikace C2C, C2I a C2P. Jedná se o standardy pro spojení velkého dosahu, pro komunikaci na krátkou vzdálenost jsou zcela nevhodné. Poslední standard pro komunikaci je Bluetooth, který je vzhledem ke svému dosahu vhodný pouze pro komunikaci C2P.

6.4 ITS: Celkový přehled

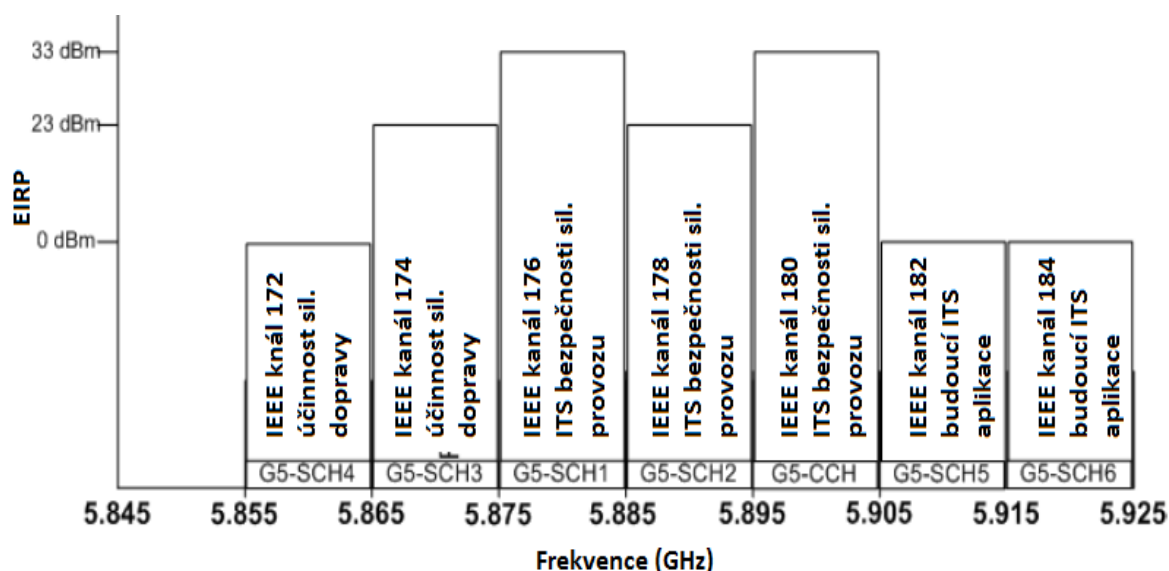
Inteligentní dopravní systémy se plánují po celém světě. Pro projektování ITS systémů se využívají normy. Jedná se o předpisy, které stanoví vlastnosti různých součástí, materiálů a postupů. Na světě v současné době existují tři normy pro projektování ITS systémů, jedná se o Evropské, Americké a Japonské normy, které se liší v rozsahu frekvence, rychlosti přenosu dat, výkonu a počtu kanálů. V tabulce 12 jsou jednotlivé normy detailně popsány.

	Evropa	USA	Japonsko
Norma	CEN/ETSI EN302 663	IEEE802.11p/1609.x	ITS-Forum
Rozsah frekvence	5855 - 5925 MHz	5850 - 5925 MHz	755 - 765 MHz
Počet kanálů	7x10MHz kanálů	7x10MHz kanálů	1x10MHz kanál
Rychlost přenosu dat	3-27 Mbit/s	3-27 Mbit/s	3-18 Mbit/s
Výstupní výkon	23-33 dBm	23-33 dBm	20 dBm
Protokol	ETSI EN 302 665	WAVE (IEEE 1609) / TCP IP	ARIB STD-T109

Tabulka 12: Globální přehled úrovní ITS. [3]

Z tabulky 12 můžeme vidět, že je stejný počet kanálů pro Evropu a USA. Jedná se o 7x10 MHz kanálů. Evropské kanály jsou podobné Americkým, ale nejsou úplně stejné. V obou případech je vyhrazeno všech 7 kanálů pro ITS, ale použití a povolení EIRPu (ekvivalentního izotropně vyzářeného výkonu) na kanál může být mezi Evropou a USA různé. V Evropě je běžné, že kanály jsou známy pro jejich typ použití. Na obrázku 20 je zobrazeno číslování jednotlivých kanálů na IEEE. Pásmo ITS 5GA (IEEE kanál 176, 178 a 180) obsahuje G5-CCH (kontrolní kanál), G5-SCH1 a G5-SCH2. Tyto kanály jsou vyhrazeny pro bezpečnostní aplikace v ITS. Pásmo ITS G5B (IEEE kanál 172 a 174) obsahuje kanály G5-SCH3 a G5-SCH4, tyto kanály nejsou vyhrazeny pro ITS jako bezpečnostní aplikace ale jako aplikace pro efektivnost provozu a oznamovací služby. Za povšimnutí stojí, že ITS G5B není přiděleno Evropské pásmo. [3]

V Japonsku je kanál ITS pro bezpečnostní aplikace mnohem jednodušší, protože je využit pouze 1 kanál v 700 MHz pásmu.



Obrázek 20: Evropský plán ITS kanálů. [3]

6.5 IEEE 802.11p

IEEE 802.11p je standard vytvořený pro bezdrátové sítě v kooperativních systémech. Pro organizace plánující ITS aplikace v dopravních systémech je důležité několik hledisek. Jedním z nejdůležitějších hledisek jsou náklady, 802.11a byla již založená technologie, která je nenákladná. Z technického hlediska klade ITS na 802.11a několik parametrů, proto je 802.11a vhodná pro mobilní aplikace. 802.11a definuje několik pásem (5, 10 a 20 MHz). ITS organizace si vybírají 10 MHz pásma pro jejich mobilní komunikaci vzhledem k delšímu ochrannému intervalu (ve srovnání s 20 MHz pásmem). Nicméně nutnost dosažení silnějšího připojení vedlo k vytvoření 802.11p. [3]

6.5.1 Ochranný interval

Ochranné intervaly se využívají v oblasti telekomunikací. Jedná se o ochranné intervaly, které zajišťují, aby se rozdílné přenosy nemohly vzájemně rušit. Účelem ochranného intervalu je představit imunitu zpoždění šíření, ozvěn a odrazů, ke kterým jsou digitální data obvykle citlivá. Standardní jednotkou pro ochranné intervaly použité v 802.11p je 8 ms. [3]

Ochranný interval byl zaveden z důvodu, že přijímače po sečtení signálu nesložily správný signál. Princip ochranného intervalu je založen na tom, že přijímač pro příchodu signálu přestane zachycovat zpožděné informace, které by znehodnotily již přijatý signál.

6.5.2 IEEE 802.11p - fyzická vrstva

Norma 802.11p je definována normou 802.11a, pásma 5 a 10 MHz mohou být dosažena použitím vzorkovací frekvence. Vzorkovací frekvence udává počet vzorků

převedených z digitálního signálu do analogového signálu za jednotku času. 802.11a využívá plnou vzorkovací frekvenci s 20 MHz pásmem, zatímco 802.11p využívá poloviční vzorkovací frekvenci na 10 MHz pásmu. Následující tabulka pojednává o klíčových parametrech standardu 802.11p. [3]

Pásmo/ Parametry	20 MHz	10 MHz	5 MHz
Přenosová rychlost (Mbit/s)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	1.5, 2.25, 3, 4.5, 6, 9, 12, 13.
Ochranný interval	4 ms	8 ms	16 ms
Vzorkovací frekvence	312.5 kHz	156.25 kHz	78.125 kHz

Tabulka 13: Klíčové parametry 802.11p. [3]

7. Analýza systému

Pro analýzu a hodnocení navržené bezpečnostní strategie železničního přejezdu je zvolena metoda určení spolehlivosti systému a SWOT analýza.

7.1 Spolehlivost systému

Teorie spolehlivosti je disciplína matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti, která se zabývá spolehlivostí technických systémů. Spolehlivost je definována jako obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při stanovení hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek. [27]

Spolehlivost tak může být chápána jako komplexní vlastnost, která může obsahovat bezporuchovost, životnost, udržovatelnost, skladovatelnost apod. Aby byla zaručena spolehlivost, musí systém plnit požadovanou funkci podle stanovených technických podmínek, kterými se rozumí soubor specifických technických vlastností objektu, jako jsou způsoby jeho provozu, skladování, přepravy, údržby a opravy. Dále musí být zachovány hodnoty provozních ukazatelů, jako jsou ukazatele produktivity, rychlosti, spotřeby kinetické energie a práce. [27]

Kritériem hodnocení spolehlivosti je pravděpodobnostní charakter přístupu, z něhož plyne, že spolehlivost systémů je určována náhodnými jevy a činiteli, proto ukazatele spolehlivosti mají náhodný charakter. [27]

Zavedme proměnnou ξ - doba poruchy (náhodný okamžik vzniku poruchy), jejím definičním oborem je teoreticky $\langle 0, \infty \rangle$, prakticky se uvažuje, kde $\xi = t$, $t \in \langle 0, \infty \rangle$ resp., kde T je doba technického života objektu. [27]

Pravděpodobnost poruchy

$$P(t) = F(t) = \Pr(\xi \leq t) \text{ v intervalu } \langle 0, T \rangle \quad 0 < F(t) < 1 \quad (1)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2)$$

Hustota pravděpodobnosti poruch

$$p(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (3)$$

Intenzita poruch

$$\lambda(t) = \frac{p(t)}{R(t)}, \left(\frac{f(t)}{R(t)} \right) \quad (4)$$

Pro zhodnocení efektivity systému je zásadním parametrem pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$. Výchozím parametrem je intenzita poruch daného uzlu systému $\lambda(t)$. V případě, že je intenzita poruch konstantní, tedy $\lambda(t) = \lambda$ platí:

$$R(t) = \exp(-\lambda \cdot t) \quad (5)$$

Pokud pracujeme se zařízením, které má vysokou spolehlivost, tedy platí, že $\lambda \cdot t \ll 1$, pak lze využít jednoduchý vztah plynoucí z obecného rozvoje vzorce:

$$R(t) = 1 - \lambda \cdot t \quad (6)$$

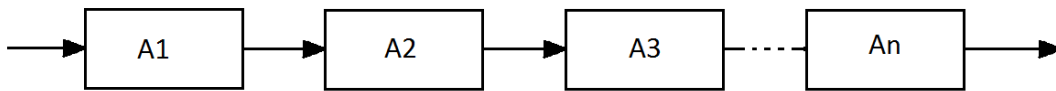
Řešení daného problému tak záleží na správném určení hodnoty $\lambda(t)$. Tuto hodnotu dodává zpravidla výrobce zařízení, ale pro korekci v nepříznivých podmínkách lze dohledat $\lambda(t)$ podle americké vojenské příručky MIL - HDBK - 217, Reliability Prediction of Electronic Equipment.

Pro výpočet spolehlivosti je nutné určit řazení uzlů do sériových a paralelních soustav, ve kterých se určí pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$, respektive pravděpodobnost poruchy $F(t)$. Platí rovnice 2.

7.1.1 Sériová soustava

Tento model používáme v případě, kdy porucha kteréhokoliv prvku způsobí poruchu celku a časové intervaly do poruchy jednotlivých prvků jsou navzájem nezávislé náhodné veličiny. Sériový spolehlivostní model systému složeného z prvků A_1 až A_n je na obrázku 21.

[1]



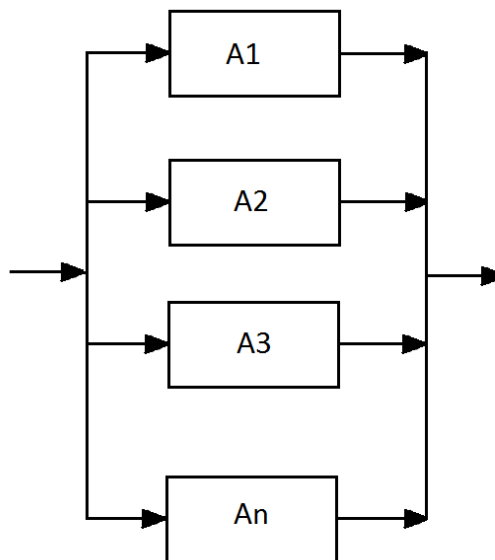
Obrázek 21: Sériová spolehlivostní soustava.

V sériové soustavě se pravděpodobnost bezporuchového provozu počítá jako součin pravděpodobností bezporuchového provozu všech uzlů, tedy platí:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n \lambda_i \cdot t \quad (7)$$

7.1.2 Paralelní soustava

Paralelní model používáme tehdy, dochází-li k poruše systému pouze při poruše všech jeho prvků. Paralelní spolehlivostní model pro n prvků je znázorněn na obrázku 22. [1]



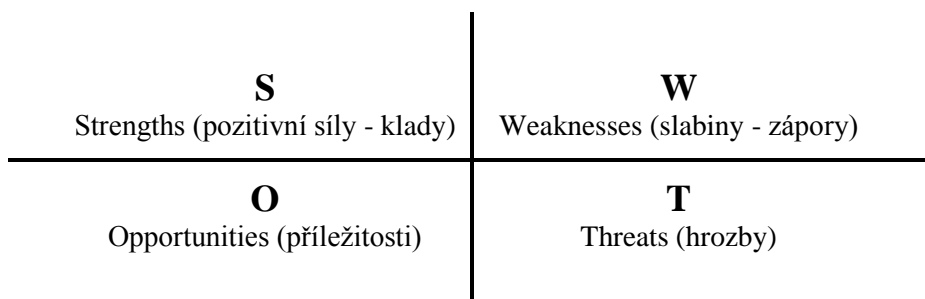
Obrázek 22: Paralelní spolehlivostní soustava.

V paralelní soustavě se pravděpodobnost poruchy počítá jako součin pravděpodobností poruchy všech uzlů. Jedná se tak o jednoduchou interpretaci pravděpodobností současně nastavených stavů (všechny jevy nastanou současně), tedy:

$$R(t) = \prod_{i=1}^n (1 - \lambda_i \cdot t) \quad (8)$$

7.2 SWOT analýza

SWOT analýza se používá pro zhodnocení silných stránek, slabin, příležitostí a hrozeb u nového projektu. Pracovní plocha, ve které se analýza provádí, má kvadrantovou strukturu:



SWOT analýza se často používá k získání orientačního obrazu ve dvou časových horizontech a to v současnosti a v očekávané budoucnosti (po realizaci změn). Provádí se brainstormingovým způsobem. Často se používá v úvodních fázích tvorby strategie nového projektu. [2]

7.3 Analýza obsluhy více vozidel

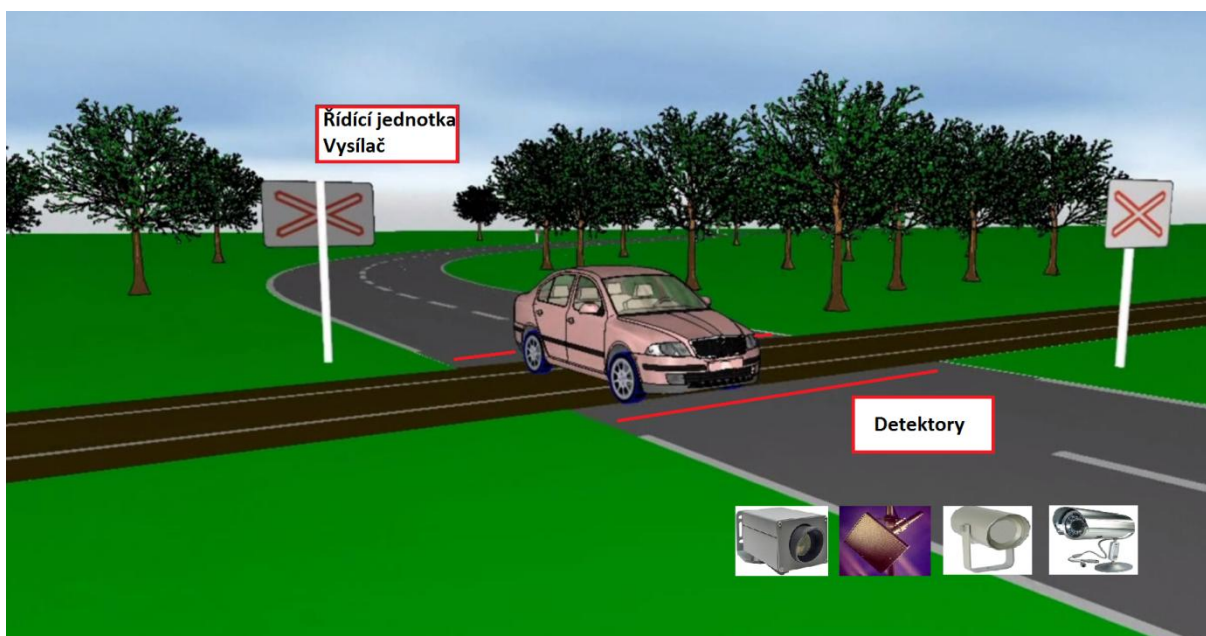
Analýza obsluhy více vozidel popisuje, zda je možné v navrženém systému využít systému vzájemné komunikace mezi vozidly (C2C - viz kapitola 6.1 *Kooperativní systémy*).

8. Návrh bezpečnostní strategie železničního přejezdu

Pro návrh bezpečnostní strategie železničního přejezdu jsou navrženy tři systémy. Jedná se o systém aktivní detekce vozidel, systém komunikace mezi lokomotivou a vozidlem a systém kamerové detekce.

8.1 Systém detekce vozidla

Systém aktivní detekce vozidla je založen na předpokladu, že železniční přejezd bude vybaven senzory pro detekci vozidel nacházejících se na železničním přejezdu a vysílačem pro přenos informace do lokomotivy. Systém možné sensoriky pro detekci obsahuje kapitola 5. *Detekce překážek na železničním přejezdu*, kde jsou shrnuty všechny možné technologie pro detekci vozidel na železničním přejezdu.



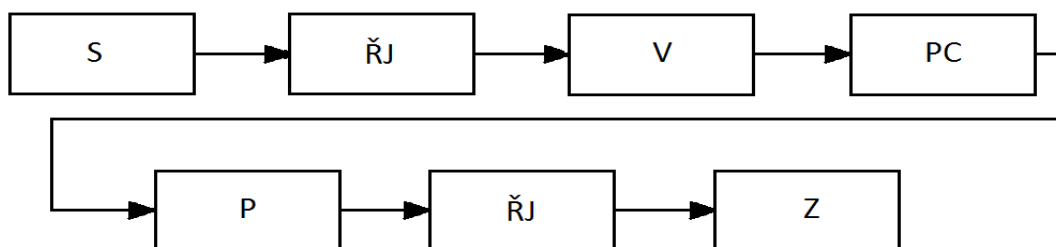
Obrázek 23: Systém detekce vozidla. [16][19][20][21]

V návrhu tohoto typu systému se nepočítá s komunikací přejezdu a vozidla, tedy neprobíhá žádná výměna informací mezi přejezdem a jedoucím vozidlem. Řidič vozidla tak musí dbát zvýšené opatrnosti u železničního přejezdu. Komunikace probíhá pouze mezi přejezdem a lokomotivou.

Systém spočívá v detekci vozidla, což znamená, že je-li detekováno vozidlo na železničním přejezdu a nepohybuje se, tak systém přejezdu vyhodnotí daný obvod jako uzavřený a pošle informaci do blížící se lokomotivy. Na místě strojvedoucího přibude elektronický panel s digitální obrazovkou, na kterém se v případě uzavřeného úseku objeví zvuková výstraha s upozorněním, že se na železničním přejezdu nachází vozidlo. Strojvedoucí

tak bude muset zareagovat na tuto výstrahu použitím záchranné brzdy, čímž dojde k úplnému zastavení vlaku před přejezdem, nebo aspoň ke snížení nárazové rychlosti do boku vozidla.

8.1.1 Výpočet spolehlivosti



Obrázek 24: Blokové schéma systému.

Ke stanovení celkové pravděpodobnosti poruchy navrženého systému je nutné určit řazení uzlů do sériových a paralelních soustav a v nich určit pravděpodobnost bezporuchového provozu. Z navrženého schématu pro daný systém (Obrázek 24) je zřejmé, že se jedná o sériové řazení soustav, kde se výsledná pravděpodobnost bezporuchového provozu stanoví součinem pravděpodobností bezporuchového provozu všech uzlů.

V tabulce 14 je zobrazen výpočet výsledné pravděpodobnosti bezporuchového provozu. Nejdůležitější komponentou pro výpočet, bylo stanovení hodnoty intenzity poruch jednotlivých zařízení. Intenzity poruch byly stanoveny na základě zkušeností a rad pracovníků Fakulty dopravní. Následně proběhl přepočítání intenzity poruch na měsíc, kdy byla stanovená hodnota vynásobena číslem 720. V dalších krocích proběhl výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu dle rovnice 6. Výsledná pravděpodobnost bezporuchového provozu byla vypočtena dle rovnice 7.

Zařízení	Intenzita poruch	Přepočítání na měsíc	Pravděpodobnost bezporuchového provozu	Pravděpodobnost bezporuchového provozu
S - SENZOR	0,000040	0,02880	0,97120	0,85
ŘJ - ŘÍDÍČÍ JEDNOTKA	0,000030	0,02160	0,97840	
V - VYSÍLAČ	0,000050	0,03600	0,96400	
PC - PŘENOSOVÁ CESTA	0,000019	0,01368	0,98632	
P - PŘIJÍMAČ	0,000050	0,03600	0,96400	
ŘJ - ŘÍDÍČÍ JEDNOTKA	0,000030	0,02160	0,97840	
Z - ZOBRAZENÍ	0,000004	0,00288	0,99712	

Tabulka 14: Výpočet R (t) provozu pro systém aktivní detekce vozidla.

Pro systém aktivní detekce vozidla byla vypočtena pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t) = 0,85$. Nejslabšími články v navrženém systému jsou vysílač na železničním přejezdu a přijímač zprávy v lokomotivě. Vypočtená pravděpodobnost pro daný systém je přijatelná, budeme-li ji chtít zvýšit, tak bude potřeba vybrat spolehlivější (menší hodnota intenzity poruch) vysílače a přijímače pro přenos informace do lokomotivy.

Doba přenosu informace mezi přejezdem a lokomotivou záleží na velikosti vysílaných dat z železničního přejezdu. Vzhledem k tomu, že data vysílaná přejezdem pouze informují, zdali je přejezd volný nebo obsazen vozidly, tak velikost takových dat není velká a pohybuje se v řádu 35-70 kB. Z toho poté vyplývá výpočet doby přenosu pro přenosovou rychlost 100 Mb/s, kdy doba přenosu informace mezi přejezdem a lokomotivou bude 28-56 ms.

8.1.2 Analýza obsluhy více vozidel

U navrženého systému není možná vzájemná komunikace mezi vozidly silniční dopravy. V systému probíhá komunikace pouze mezi železničním přejezdem a lokomotivou ve formě jednoduché zprávy, zdali se na daném železničním přejezdu nachází, nebo nenachází vozidlo silniční dopravy.

8.1.3 SWOT analýza

Silné stránky:

- přesnost detekce
- povětrnostní podmínky
- noční detekce
- jednoduchost systému

Slabé stránky:

- cena
- instalace
- větší počet účastníků v systému
- spolehlivost
- jednosměrná komunikace
- údržba
- neprobíhá komunikace mezi vozidlem silniční dopravy a železničním vozem, řidiče není nijak varován než železničním křížem

Příležitosti:

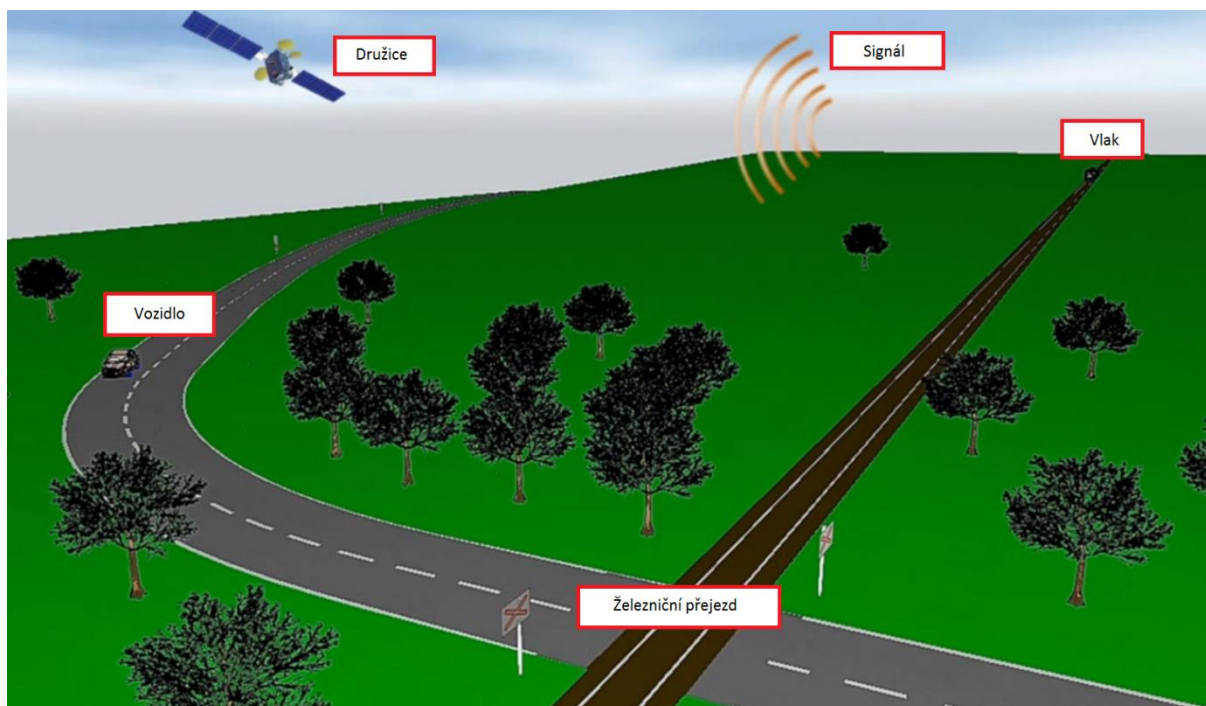
- možnost zvýšení spolehlivosti systému
- univerzálnost pro všechny detektory

Hrozby:

- výpadek
- neodbornost návrhu
- teplotní závislost
- kriminalita
- systém bude funkční pouze v případě, že se silniční vozidlo bude vyskytovat na železničním přejezdu

8.2 Systém komunikace lokomotiva - vozidlo

Systém komunikace lokomotiva - vozidlo je založena na bezdrátové komunikaci, kdy je lokomotiva vybavena vysílačem signálu a železniční přejezd přijímačem signálu a vysílačem Wi-Fi. Vozidla silniční dopravy jsou vybavena jednotkou C-ITS pro příjem signálu Wi-Fi.

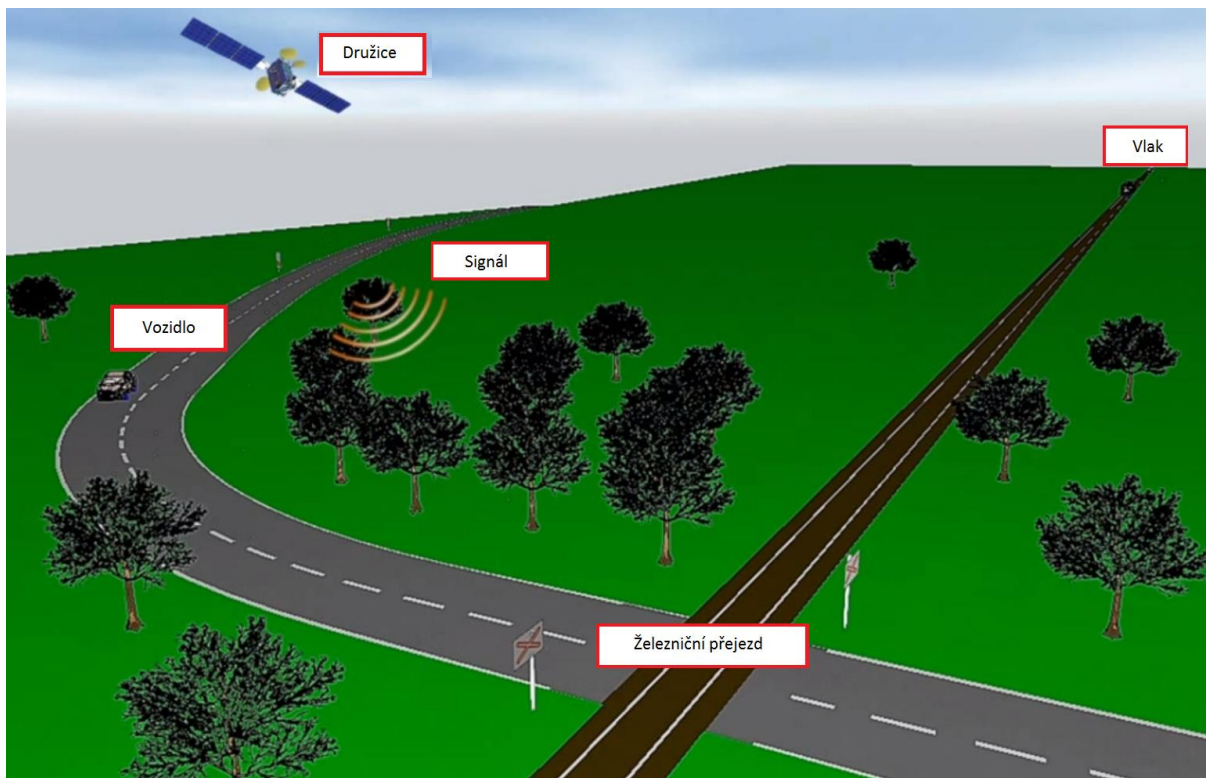


Obrázek 25: Systém komunikace lokomotiva - vozidlo.

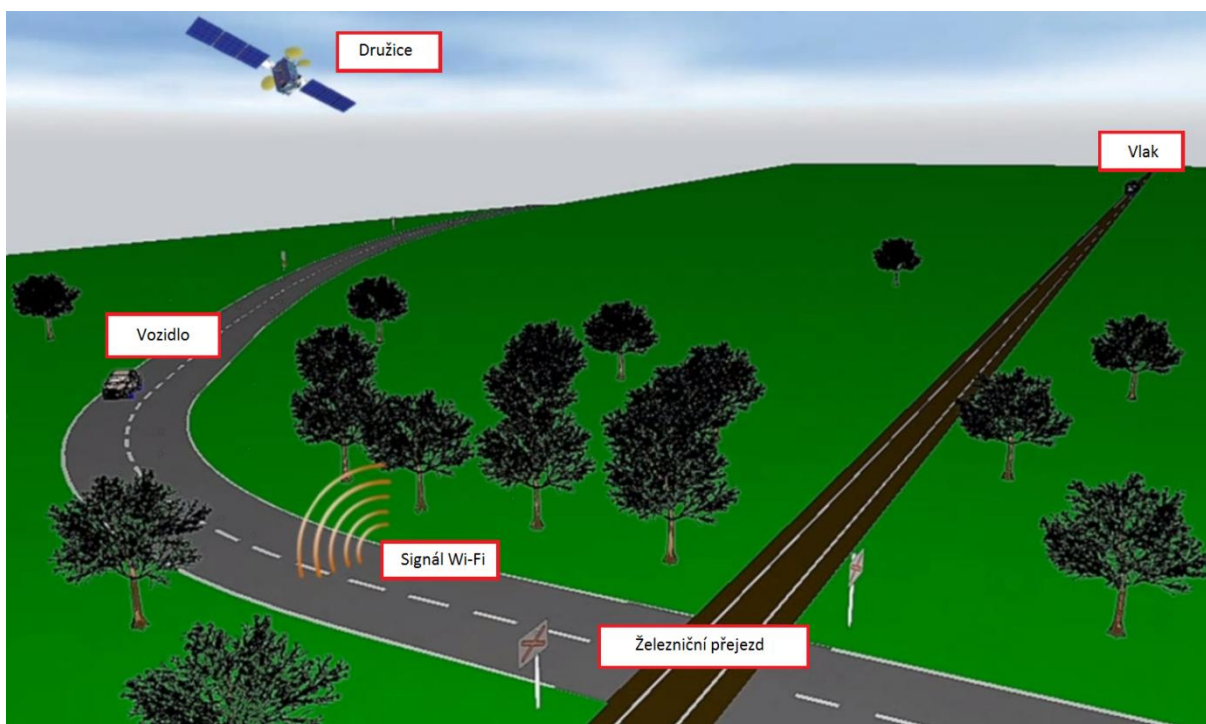
V prvním případě vysílá lokomotiva svoji pozici pomocí signálu k železničnímu přejezdu, ke kterému se přibližuje. Přijímač signálu na železničním přejezdu zachytí zprávu o přibližující se lokomotivě. Následně řídicí jednotka přejezdu vyhodnotí stávající situaci a začne vysílat informaci o přibližujícím se vlaku do okolí pomocí Wi-Fi sítě.

Jestliže se v okruhu sítě Wi-Fi vysílané systémem železničního přejezdu nachází vozidlo, tak jednotka C-ITS ve vozidle pro příjem Wi-Fi signálu zachytí zprávu a vyhodnotí stávající situaci. Poté bude řidič vozidla informován, že se přibližuje k železničnímu přejezdu, který bude zanedlouho křížovat vozidlo železniční dopravy.

Informování řidiče vozidla probíhá způsobem, že se na palubní desce vozidla objeví indikátor POZOR VLAK doplněný vibracemi volantu.

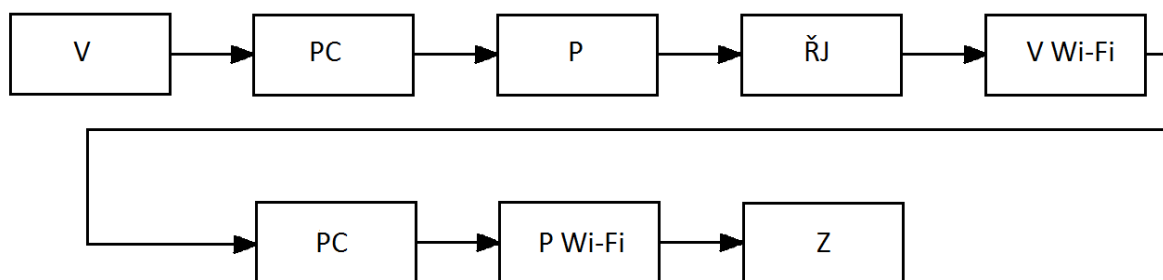


Obrázek 26: Systém komunikace lokomotiva - vozidlo.



Obrázek 27: Systém komunikace lokomotiva - vozidlo

8.2.1 Výpočet spolehlivost



Obrázek 28: Blokové schéma systému komunikace lokomotiva - vozidlo.

Z navrženého blokového schématu systému komunikace lokomotiva - vozidla byla určena spolehlivost. Ze schématu je zřejmé, že se jedná v jako předešlém případě o sériové řazení soustav, kde se výsledná pravděpodobnost bezporuchového provozu stanoví součinem pravděpodobností bezporuchového provozu všech uzlů.

Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu je zobrazen v tabulce 15. Stanovení intenzity poruch a průběh výpočtu bylo podobné jako v kapitole 8.1.1 *Výpočet spolehlivosti*.

Zařízení	Intenzita poruch	Přepočet na měsíc	Pravděpodobnost bezporuchového provozu	Pravděpodobnost bezporuchového provozu
V - VYSÍLAČ	0,000050	0,03600	0,96400	0,79
PC - PŘENOSOVÁ CESTA	0,000080	0,05760	0,94240	
P - PŘIJÍMAČ	0,000050	0,03600	0,96400	
ŘJ - ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA	0,000030	0,02160	0,97840	
V WI-FI - VYSÍLAČ WIFI	0,000040	0,02880	0,97120	
PC - PŘENOSOVÁ CESTA	0,000035	0,02520	0,97480	
P WI-FI - PŘIJÍMAČ WIFI	0,000040	0,02880	0,97120	
Z - ZOBRAZENÍ	0,000004	0,00288	0,99712	

Tabulka 15: Výpočet R (t) pro systém komunikace lokomotiva - vozidlo.

Pro systém komunikace lokomotiva - vozidla byla vypočtena pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t) = 0,79$. Nejslabším článkem v řetězu systému komunikace lokomotiva - vozidlo je přenosová cesta mezi lokomotivou a železničním přejezdem z důvodu velikosti obsahu přenášených informací. Slabším článkem systému je opět jako v předešlém případě vysílač a přijímač signálu.

Vypočtená pravděpodobnost bezporuchového provozu daného systému po dobu jeden měsíc je nepřijatelná. Zvýšení spolehlivosti u tohoto systému může být provedeno zvolením spolehlivějších komponent s nižší intenzitou poruch pro vysílač a přijímač signálu. Pro zvýšení spolehlivosti přenosové cesty je možné zmenšit velikost a obsah informace vysílané z lokomotivy na železniční přejezd, případně zajistit opakování a potvrzení přijaté informace.

Přenos informace v systému komunikace lokomotiva - vozidlo probíhá na dvou datových trasách. První datová trasa probíhá mezi lokomotivou a přejezdem, kdy lokomotiva vysílá data o své poloze a rychlosti. Doba přenosu bude opět závislá na velikosti vysílaných dat lokomotivou. Vzhledem k tomu, že vysílaná data obsahují polohu a rychlost vlaku, tak velikost dat bude oproti předešlému systému dvojnásobná, tedy se bude pohybovat v řádu 70 - 150 kB. Z toho poté vyplývá výpočet doby přenosu pro přenosovou rychlost 100 Mb/s, kdy doba přenosu informace mezi přejezdem a lokomotivou bude 56 - 110 ms.

Druhá datová trasa probíhá mezi přejezdem a vozidlem silniční dopravy, kdy systém přejezdu po zachycení zprávy o přibližující se lokomotivě vysílá pomocí Wi-Fi sítě zprávu do vozidel silniční dopravy. Doba přenosu informace mezi přejezdem a vozidlem záleží na velikosti vysílaných dat. Vzhledem k tomu, že data vysílaná přejezdem pouze informují, zdali je přejezd volný nebo obsazen vozidly, tak velikost takových dat není velká a pohybuje se v řádu 35-70 kB. Z toho poté vyplývá výpočet doby přenosu pro přenosovou rychlost 100 Mb/s, kdy doba přenosu informace mezi přejezdem a lokomotivou bude 28-56 ms.

Celková doba přenosu mezi lokomotivou a vozidlem tak bude v rozmezí 84 - 166 ms.

8.2.2 Analýza obsluhy více vozidel

U daného systému je možná vzájemná komunikace mezi vozidly, což znamená, že vozidla nacházející se u železničního přejezdu si mohou pomocí bezdrátové sítě IEEE 802.11p měnit informace o stavu na železničním přejezdu. Nutnou podmínkou je, aby vozidla byla osazena komunikačními jednotkami C-ITS pro vysílání a přijímání informací.

8.2.3 SWOT analýza

Silné stránky:

- jednoduché HMI pro řidiče
- povětrnostní podmínky
- teplotní závislost
- vozidlo nacházející se několik desítek metrů od přejezdu je informováno o přibližujícím se vlaku k železničnímu přejezdu
- komunikace lokomotiva - silniční vozidlo
- noční detekce

Slabé stránky:

- cena
- složitost systému
- instalace
- údržba

Příležitosti:

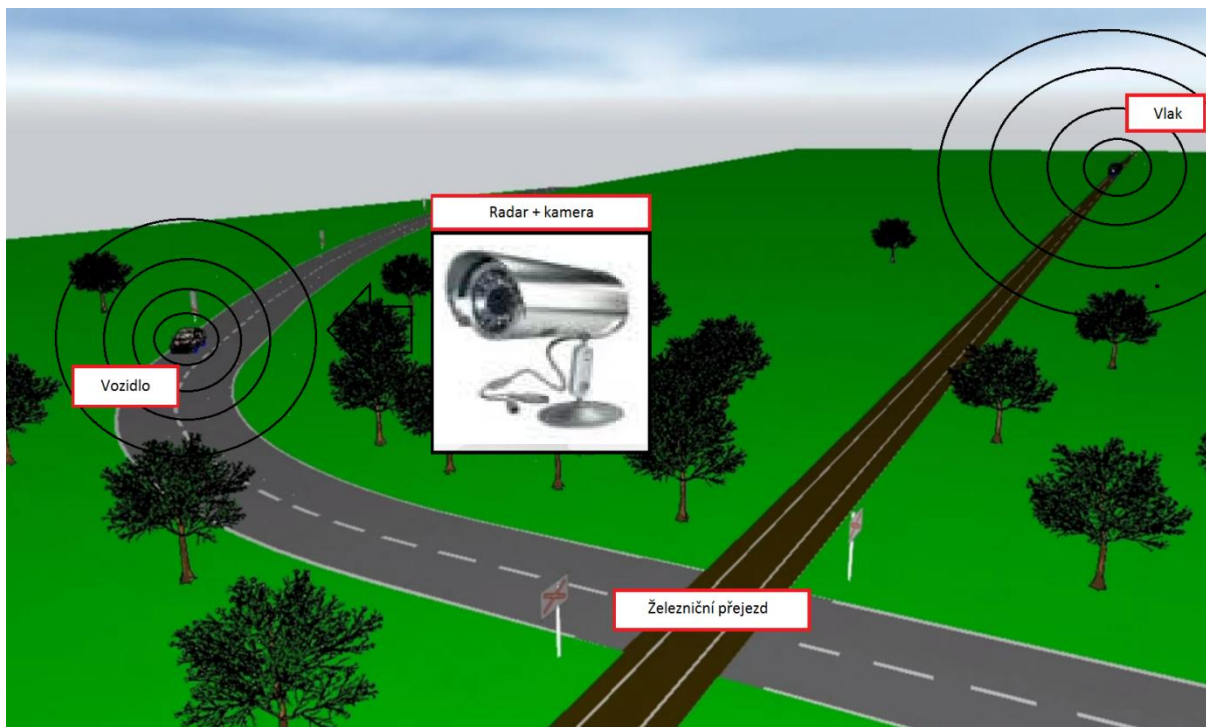
- univerzálnost
- rozšíření o další funkce
- větší počet účastníků v systému - obsluha více vozidel

Hrozby:

- výpadek
- kriminalita
- spolehlivost

8.3 Systém kamerové detekce

Systém kamerové detekce je založen na předpokladu, že vozidla silniční dopravy budou vybavena kamerovým systémem pro detekci železničního přejezdu a radarem pro lokalizaci železničního vozidla.

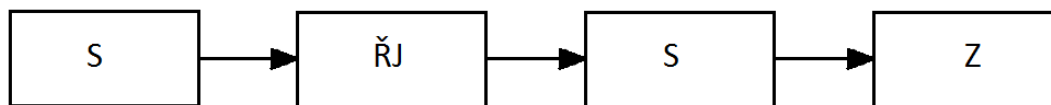


Obrázek 29: Systém kamerové detekce. [19]

Kamera ve vozidle snímá svislé dopravní značky. V našem případě se jedná o svislé návěstní desky upozorňující na přibližující se železniční přejezd, nebo výstražný kříž pro jednokolejný železniční přejezd. Jakmile kamerový systém vozidla zachytí jednu z těchto dopravních značek, tak se aktivuje radar pro lokalizaci železničního vozidla.

V případě nalezení vozidla kolejové dopravy v okruhu automobilu, bude řidič automobilu upozorněn aktivováním indikátoru POZOR VLAK na palubní desce doplněným vibracemi volantu. V případě, že radar nenalezne v okruhu automobilu vozidlo kolejové dopravy, tak systém vyhodnotí přejezd jako volný a automobil může přejezd bezpečně přejet.

8.3.1 Výpočet spolehlivosti



Obrázek 30: Blokové schéma systému kamerové detekce.

Z blokového schématu bylo rozlišeno sériové řazení prvků systému. Výsledná pravděpodobnost bezporuchového provozu se stanovila součinem pravděpodobností bezporuchového provozu všech uzlů.

Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu je zobrazen v tabulce 16. Stanovení intenzity poruch a průběh výpočtu bylo podobné jako v kapitole 8.1.1 a 8.2.1 *Výpočet spolehlivosti*.

Zařízení	Intenzita poruch	Přepočet na měsíc	Pravděpodobnost bezporuchového provozu	Pravděpodobnost bezporuchového provozu
S - SENZOR	0,000040	0,0288	0,97120	0,92
ŘJ - ŘÍDÍČÍ JEDNOTKA	0,000030	0,0216	0,97840	
S - SENZOR	0,000040	0,0288	0,97120	
Z - ZOBRAZENÍ	0,000004	0,00288	0,99712	

Tabulka 16: Výpočet R (t) pro systém kamerové detekce.

Pro systém kamerové detekce byla vypočtena pravděpodobnost bezporuchového provozu na jeden měsíc $R(t) = 0,92$. Nejslabšími články systému jsou senzory obsažené v automobilu. Vypočtená pravděpodobnost je přijatelná, jelikož zde pracují součástky s malou hodnotou intenzity poruch.

8.3.2 Analýza obsluhy více vozidel

Navržený systém je možné rozšířit o funkci vzájemné komunikace mezi vozidly. Nutnou podmínkou pro jeho rozšíření je, aby vozidla silniční dopravy byla osazena komunikační jednotkou pro vysílání a přijímání informací. Funkce by vypadala tak, že detekuje-li kamera vozidla železniční přejezd a zároveň radar zachytí lokomotivu, tak komunikační jednotka bude pomocí bezdrátové sítě 802.11p vysílat informace do svého okolí. Jestliže bude v okolí vysílajícího vozidla vozidlo s komunikační jednotkou pro příjem a zpracování dané informace, tak dané vozidlo přijme vysílanou informaci a informuje řidiče o nastávající situaci na železničním přejezdu.

8.3.2 SWOT analýza

Silné stránky:

- cena
- spolehlivost
- kriminalita
- instalace
- výpadek
- povětrnostní podmínky
- jednoduchost systému
- údržba

Slabé stránky:

- přesnost detekce
- odpadá komunikace silniční vozidlo - lokomotiva

Příležitosti:

- univerzálnost
- rozšíření o další funkce
- větší počet účastníků v systému - obsluha více vozidel
- noční detekce

Hrozby:

- v případě špatného umístění nebo deformace značky nerozpoznání blížícího se železničního přejezdu

8.4 HMI

Human–Machine Interaction je uživatelské rozhraní v oblasti interakce člověk - stroj. Jedná se o ovládací prostor, ve kterém se vyskytuje interakce mezi lidmi a stroji.

Ovládací rozhraní mezi člověkem a strojem má důležitý vliv na bezpečnost, obslužnost a komfort řidiče a strojvedoucího při jízdě ve vozidle. Všechny komponenty musí mít precizní, ergonomické provedení a mají vysokou spolehlivost.

8.4.1 HMI vozidlo

Pokud systém rozpozná přiblížení k železničnímu přejezdu, ke kterému se blíží lokomotiva, tak opticky informuje o stávající situaci na přístrojovém panelu vozidla nebo pomocí vibrací volantu upozorní řidiče, že automobilu hrozí bezprostřední kolize, pokud nenastane změna jízdního režimu. Skupina prvků HMI:

- Přístrojový panel vozidla -> indikátor POZOR VLAK
- Volant -> vibrace

8.4.2 HMI lokomotiva

System rozpozná detekované vozidlo na železničním přejezdu, ke kterému se blíží lokomotiva a strojvedoucí je opticky informován o vozidle nacházejícím se na železničním přejezdu. Skupina prvků HMI:

- Elektronický panel s digitální obrazovkou -> indikátor vozidlo na železničním přejezdu

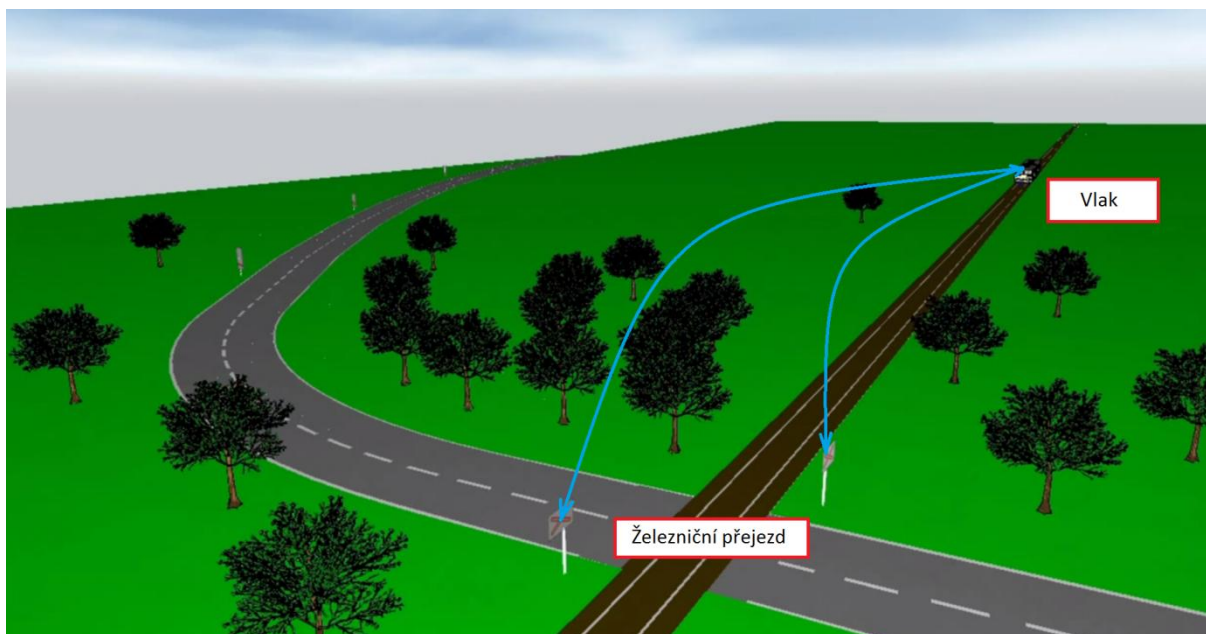
8.5 Vlastní komunikace

8.5.1 Komunikace přejezd - lokomotiva

Komunikace mezi přejezdem a lokomotivou probíhá pomocí drátové nebo bezdrátové sítě. Na přejezdu je detekováno vozidlo, systém přejezdu vyhodnotí stávající stav a pomocí přenosového média pošle zprávu do lokomotivy, která se přibližuje k přejezdu.

Způsob komunikace přejezd - lokomotiva:

- drátová komunikace
 - metalické vedení, optické vedení
- bezdrátová komunikace
 - síť GSM, IEEE 802.16 (WMAN), IEEE 802.20 (MBWA)

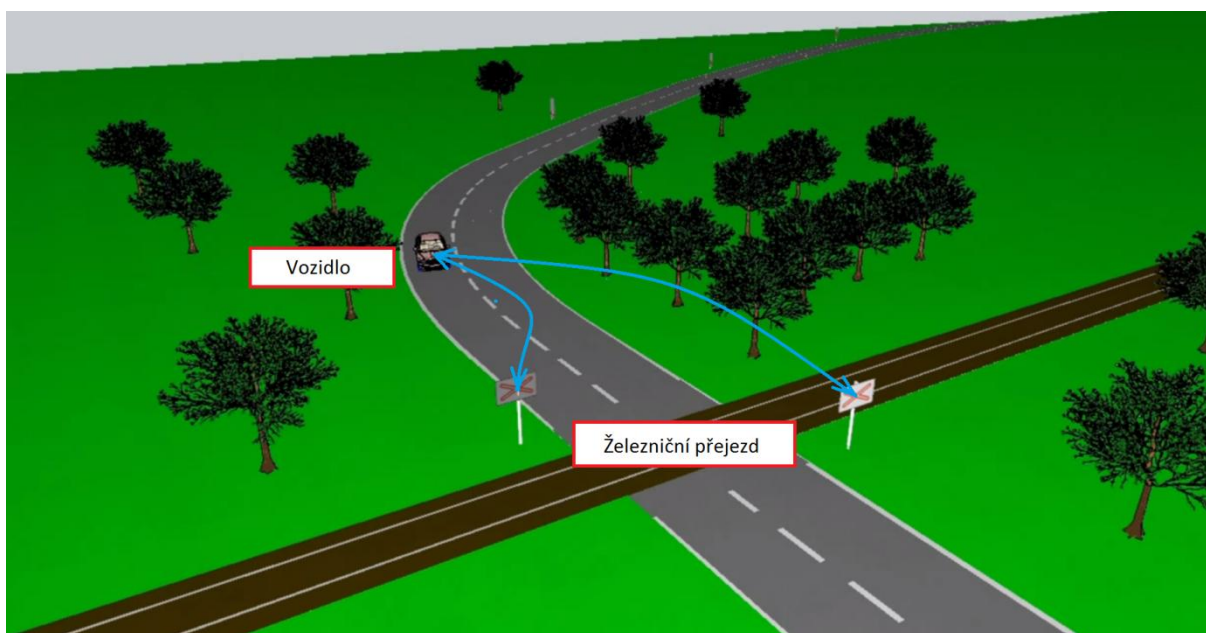


Obrázek 31: Komunikace přejezd - lokomotiva.

8.5.2 Komunikace přejezd - vozidlo

Přejezd detekuje blížící se lokomotivu. Komunikace mezi přejezdem a vozidlem probíhá následujícími způsoby:

- optická komunikace
 - světelné signály na přejezdu
- bezdrátová komunikace
 - IEEE 802.11p (Wi-Fi)
- sonická komunikace
 - akustické signály



Obrázek 32: Komunikace přejezd - vozidlo.

8.5.3 Komunikace vozidlo - vozidlo

Vozidla si vyměňují informace o stavu na železničním přejezdu. Základem této komunikace, je vybavení vozidel komunikačními moduly (C-ITS jednotky). Komunikační modul komunikuje s ostatními moduly. Způsob komunikace mezi vozidly:

- bezdrátová komunikace
 - IEEE 802.11p (Wi-Fi)

8.6 Vývoj systému kamerové detekce

V laboratoři speciálních projektů Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství Fakulty dopravní ČVUT je vyvíjen systém kamerové detekce. Na jeho vývoji se podílí studenti a pracovníci ústavu.

Pro vývoj systému je využit hardware a software od společnosti National Instruments. Jako hardware je zde využit robot DaNI, který je navržen tak, aby snadno a rychle zpracoval a vyhodnotil autonomní aplikace, které si můžeme naprogramovat. Robot DaNI bude představovat vozidlo silniční dopravy. Pro správnou funkci systému je nutné, aby byla ve vozidle kamera pro snímání dopravních značek, v našem případě jsme propojili robota DaNI s 0.3 mega pixelovou IP kamerou. Další důležitou součástí systému je radar, který bude vyhledávat objekt, v našem případě se jedná o vlak poblíž železničního přejezdu. Radar se nám bohužel během zpracování této práce nepodařilo sehnat a propojit s robotem DaNI. Robot, který byl pro práci použit je zobrazen v příloze.

Programování aplikace probíhá v softwaru LabVIEW. LabVIEW je grafický programovací jazyk od společnosti National Instruments, který slouží k vývoji testovacích, měřicích a řídicích aplikací. Vývojový diagram a algoritmus, který byl naprogramován v LabVIEW a následně přenesen do zkušebního robota je obsažen v příloze.

8.6.1 Algoritmus

Ovládání rychlosti robota bylo naprogramováno pomocí funkce *Forward Velocity*, která dává příkazy k aktivování motorů. K zatáčení byla využita funkce *CCW Angular Velocity*, která využívá zadávání rozdílné rychlosti pravému a levému motoru.

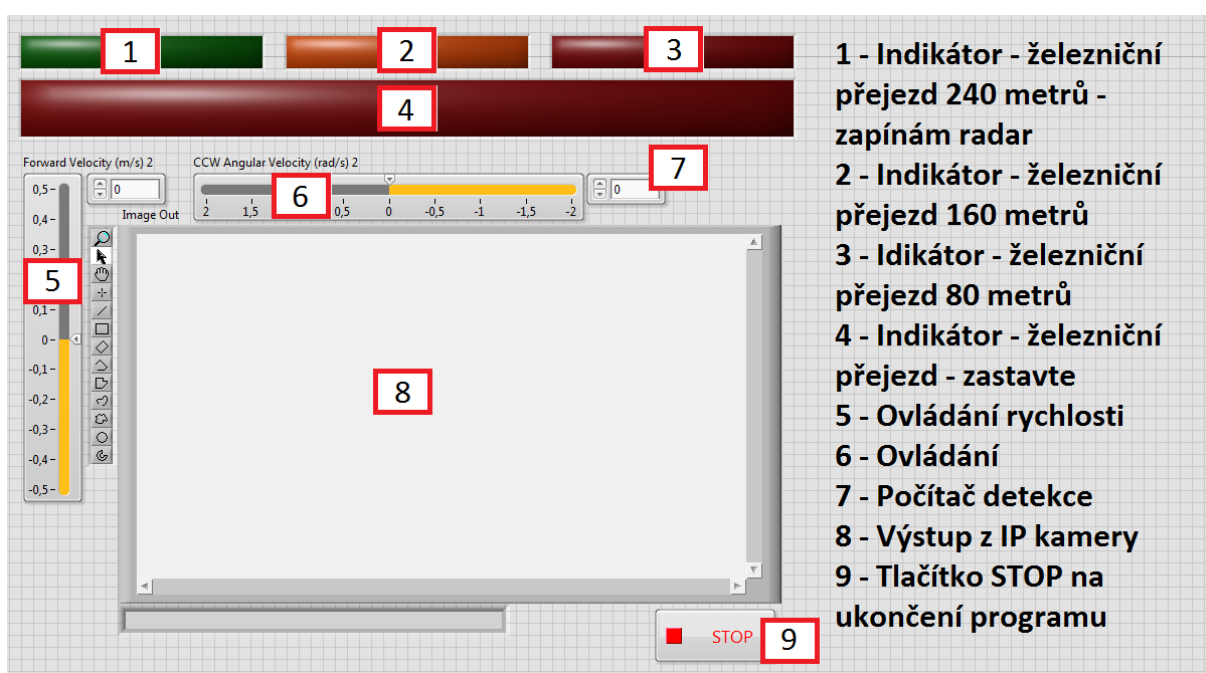
Reakce robota na železniční přejezd funguje následovně - kamera snímá cestu před sebou a hledá značky upozorňující na železniční přejezd. Ve chvíli, kdy jsou detekovány návěstní značky (240, 160 a 80 metrů), tak se na ovládacím počítači aktivují indikátory s upozorněním na železniční přejezd a informací o vzdálenosti k němu. Jakmile robot detekuje železniční kříž, tak se v ovládacím počítači aktivuje indikátor s výzvou železniční přejezd - zastavte a robot následně zastaví.

Předně bylo nutné získat výstup z IP kamery, k tomu je v LabVIEW vytvořena speciální funkce *Vision Acquisition*, kde jsme si předdefinovali cestu z IP kamery do programu LabVIEW. Následně jsme výstup z *Vision Acquisition* připojili do další funkce *Vision Assistant*, kde se nadeřinovaly prvky (návěstní značka 240, 160 a 80 metrů, železniční kříž), se kterými bude program porovnávat ty objekty, které vidí, a tím určí typ objektu před

robotem. Dále se vybral typ vestavěného algoritmu vizuální detekce, kterým *Vision Assistant* disponuje a který je pro naši aplikaci nejvhodnější, maximální úhel natočení snímaného objektu a maximální možný počet nalezených objektů. Jakmile je nalezen objekt, který *Vision Assistant* vyhodnotí jako shodný s předdefinovanými objekty, tak program pomocí funkce *Bounding Box* vykreslí kolem nalezeného objektu barevný rámeček.

8.6.2 HMI robot

Ovládání robota probíhalo z ovládacího počítače, kde bylo naprogramováno rozhraní pro ovládání robota a rozhraní pro detekci železničního přejezdu. Rozhraní je detailně popsáno na obrázku 33.



Obrázek 33: Ovládací panel v počítači.

8.6.3 Spuštění programu

Po přenesení výše popsaného programu do robota, byla vyzkoušena jeho funkčnost na "uměle" vytvořeném železničním přejezdu ve zkušební laboratoři. V měřítku 1:15 byly vytvořeny svislé dopravní značky pro označení železničního přejezdu. Jejich vzájemná vzdálenost byla stanovena v měřítku 1:100, tedy ve vzdálenostech 240, 160 a 80 centimetrů od místa určujícího železniční přejezd.

Po spuštění programu byla provedena série pokusů pro detekci železničního přejezdu robotem. V 8 z 10 pokusů robot detekoval všechny svislé dopravní značky upozorňující na blížící se železniční přejezd a reagoval na ně formou hlášení na ovládacím panelu v počítači. Z výsledku detekce můžeme konstatovat, že funkce programu je správná. Ve většině případů

robot rozpoznal železniční přejezd a reagoval na něj ve formě hlášení o zbývající vzdálenosti k přejezdu a při detekci železničního kříže zastavil. Dva pokusy detekce byly neúspěšné, jejich selhání si můžeme vysvětlit malým rozlišením IP kamery na robotovi. Pro zvýšení spolehlivosti detekce značky by bylo vhodné zvolit kameru s vyšším rozlišením. Obrázky z detekování návěstních značek robotem DaNIm, jsou obsaženy v příloze.

9. Závěr

Železniční přejezdy jsou vysoce riziková místa na silničních komunikacích, kde často dochází k dopravním nehodám mezi vozidly silniční dopravy a kolejovými vozidly. Jejich následky jsou těžké a ve většině případů končí smrtí posádek vozidel silniční dopravy. Vhodným zásahem do systému bezpečnostních prvků automobilů by bylo možné eliminovat rizika vzniku úrazu pro jejich posádku.

Bezpečnostní strategie železničního přejezdu je založena na trojici navržených systému, jedná se o systém aktivní detekce vozidla, systém komunikace lokomotiva - vozidlo a systém kamerové detekce vozidla.

Systém aktivní detekce vozidla je založen na senzorickém konceptu železničního přejezdu, což znamená, že na přejezd musí být osazen senzory pro detekci vozidel silniční dopravy. Vzhledem k tomu, že v České republice se nachází více jak osm tisíc přejezdů a každý z nich by musel být osazen sensorovou technikou, která by vzhledem k pořizovacím, instalačním a údržbovým nákladům byla obrovská, tak není tento návrh vhodný. V navrženém systému opadá komunikace mezi vozidlem - železničním přejezdem a kolejovým vozidlem. V systému probíhá komunikace mezi železničním přejezdem a kolejovým vozidlem, tedy přejezd pouze informuje kolejové vozidlo o tom, jestli se na železničním přejezdu nachází vozidlo silniční dopravy.

Druhým navrženým systémem pro zabezpečení železničního přejezdu je systém komunikace lokomotiva - vozidlo. Pro správnou funkci tohoto systému musí být všechny železniční přejezdy vybaveny přijímačem signálu, řídicí jednotkou a vysílačem sítě Wi-Fi, což by bylo k počtu železničních přejezdů na území České republiky velice nákladné. Další nevýhodou tohoto systému je kriminalita. Vzhledem k cenám přijímačů, řídicích jednotek a vysílačů Wi-Fi, hrozí odcizení. Nezanedbatelnou nevýhodou u systému komunikace lokomotiva - vozidlo je nepřijatelná pravděpodobnost bezporuchového provozu, kdy přenos informace z lokomotivy do vozidla probíhá pomocí několika přenosových zařízení a tedy je zde vysoká pravděpodobnost vzniku poruchy, která bude vést k nepřenesení dané informace do vozidla. Výhodou u tohoto systému je, že při správné funkci bude vozidlo silniční dopravy informováno o stavu na železničním přejezdu již několik desítek metrů před železničním přejezdem. Mezi další výhody patří rozšíření o další funkce, například o funkci vzájemné komunikace mezi vozidly, kdy si všechna vozidla vybavená komunikační jednotkou budou

"vyměňovat" informace o stavu na železničním přejezdu a tím mohou uzpůsobit stav své jízdy.

Posledním navrženým systémem je kamerová detekce. U tohoto systému odpadá instalace různých zařízení na železničním přejezdu a na lokomotivě. Veškerá zařízení nutná pro správnou funkci jsou implementována ve vozidlech silniční dopravy. Vzhledem k tomu, že na nových vozidlech se již zařízení typu kamera a radar vyskytují, tak by cena tohoto systému byla minimální. Obrovskou výhodou systému kamerové detekce je vysoká pravděpodobnost bezporuchového provozu. Vlastní zařízení pro detekci dopravního značení a objektu, které zaručují správnou funkci systému, pracují na nízké hodnotě intenzity poruch, a proto je zde nízká pravděpodobnost vzniku poruchy. Mezi další výhody tohoto systému patří instalace, kriminalita, povětrnostní podmínky a jednoduchost pro uživatele. U systému existuje i možnost rozšíření o další funkce, tedy možnost vzájemné komunikaci mezi vozidly, kdy vozidlo detekující železniční přejezd a kolejové vozidlo může předat tuto informaci do dalšího vozidla. Nevýhodou systému je přesnost detekce, kdy kamery obsažené vozidle musí rozpoznat dopravní značku upozorňující na železniční přejezd. V některých případech kamera nemusí detekovat dopravní značku. Důvodů tohoto selhání může být několik, jedním z nich je překrytí dopravního značení vegetací v okolí přejezdu, dalšími důvody mohou být deformace a špatné umístění dopravního značení. Na vině špatné detekce dopravního značení může být i kamera s malým rozlišením obrazu.

Pro zabezpečení železničního přejezdu byly navrženy tři systémy. Systémy aktivní detekce vozidla a komunikace lokomotiva - vozidla jsou složité typy systémů, které by z hlediska ceny, údržby, instalace a spolehlivosti bylo těžké aplikovat ve skutečném provozu. Nejvhodnějším typem systému pro bezpečnější pohyb vozidel na železničním přejezdu ve skutečném provozu je systém kamerová detekce, který je přijatelný jak z hlediska pořizovací ceny, tak i údržby, instalace a spolehlivosti.

I přes příznivé výsledky navrženého systému by si ale řidiči měli dávat na železničních přejezdech pozor a nespoléhat se na ochranu ze strany svého automobilu.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Průběh nárazové zkoušky kolize kolejového segmentu s osobním automobilem. [7].....	11
Obrázek 2: Průběh nárazové zkoušky kolize železničního vozidla a silničního vozidla. [4][8]	12
Obrázek 3: Kódy LVZ. [13].....	18
Obrázek 4: Návěstní opakovač + anténa pro komunikaci s balízkami. [10][9]	18
Obrázek 5: ETCS - úroveň 1. [11]	20
Obrázek 6: ETCS - úroveň 2. [11]	21
Obrázek 7: ETCS - úroveň 3. [11]	21
Obrázek 8: Radarový systém na vozidle.	29
Obrázek 9: Princip detektoru náprav.....	31
Obrázek 10: Princip detektoru magnetické indukce. [5].....	32
Obrázek 11: Detektor Marksmann 660. [18].....	33
Obrázek 12: Složení piezokabelu. [5]	34
Obrázek 13: Řez senzorem LINEAS. [16].....	35
Obrázek 14: Barevná kamera JK-218 CCD 1/4" SHARP. [19]	36
Obrázek 15: Ultrazvukový detektor TC - 30. [20]	36
Obrázek 16: Detektor Smartsonic TSS-1. [16]	37
Obrázek 17: Infračervený detektor ASIM IR 254. [21]	38
Obrázek 18: Konstrukce detektoru s vláknovou optikou. [5]	39
Obrázek 19: Kooperativní systémy.....	43
Obrázek 20: Evropský plán ITS kanálů. [3].....	46
Obrázek 21: Sériová spolehlivostní soustava.	50
Obrázek 22: Paralelní spolehlivostní soustava.	50
Obrázek 23: Systém detekce vozidla. [16][19][20][21]	52
Obrázek 24: Blokové schéma systému.....	53
Obrázek 25: Systém komunikace lokomotiva - vozidlo.	55
Obrázek 26: Systém komunikace lokomotiva - vozidlo.	56
Obrázek 27: Systém komunikace lokomotiva - vozidlo	56
Obrázek 28: Blokové schéma systému komunikace lokomotiva - vozidlo.....	57
Obrázek 29: Systém kamerové detekce. [19].....	60
Obrázek 30: Blokové schéma systému kamerové detekce.	61
Obrázek 31: Komunikace přejezd - lokomotiva.	63
Obrázek 32: Komunikace přejezd - vozidlo.	64
Obrázek 33: Ovládací panel v počítači.....	66

Seznam tabulek

Tabulka 1: Statistika dopravních nehod na železničních přejezdech. [14].....	13
Tabulka 2: Statistika dopravních nehod na železničních přejezdech se ZZ. [14]	13
Tabulka 3: Statistika dopravních nehod na železničních přejezdech bez ZZ. [14]	14
Tabulka 4: Rozdělní železničního zabezpečovacího zařízení.	15
Tabulka 5: Traťová zabezpečovací zařízení.....	16
Tabulka 6: Asistenční systémy.....	22
Tabulka 7: Snímače na vozidle.	28
Tabulka 8: Typy použitých radarů pro danou aplikaci.....	30
Tabulka 9: Shrnutí detektorů.....	39
Tabulka 10: Stručná charakteristika bezdrátových sítí.....	42
Tabulka 11: Možné technologie pro kooperativní systémy.	44
Tabulka 12: Globální přehled úrovní ITS. [3].....	45
Tabulka 13: Klíčové parametry 802.11p. [3]	47
Tabulka 14: Výpočet R (t) provozu pro systém aktivní detekce vozidla.....	53
Tabulka 15: Výpočet R (t) pro systém komunikace lokomotiva - vozidlo.	57
Tabulka 16: Výpočet R (t) pro systém kamerové detekce.	61

Seznam použité literatury

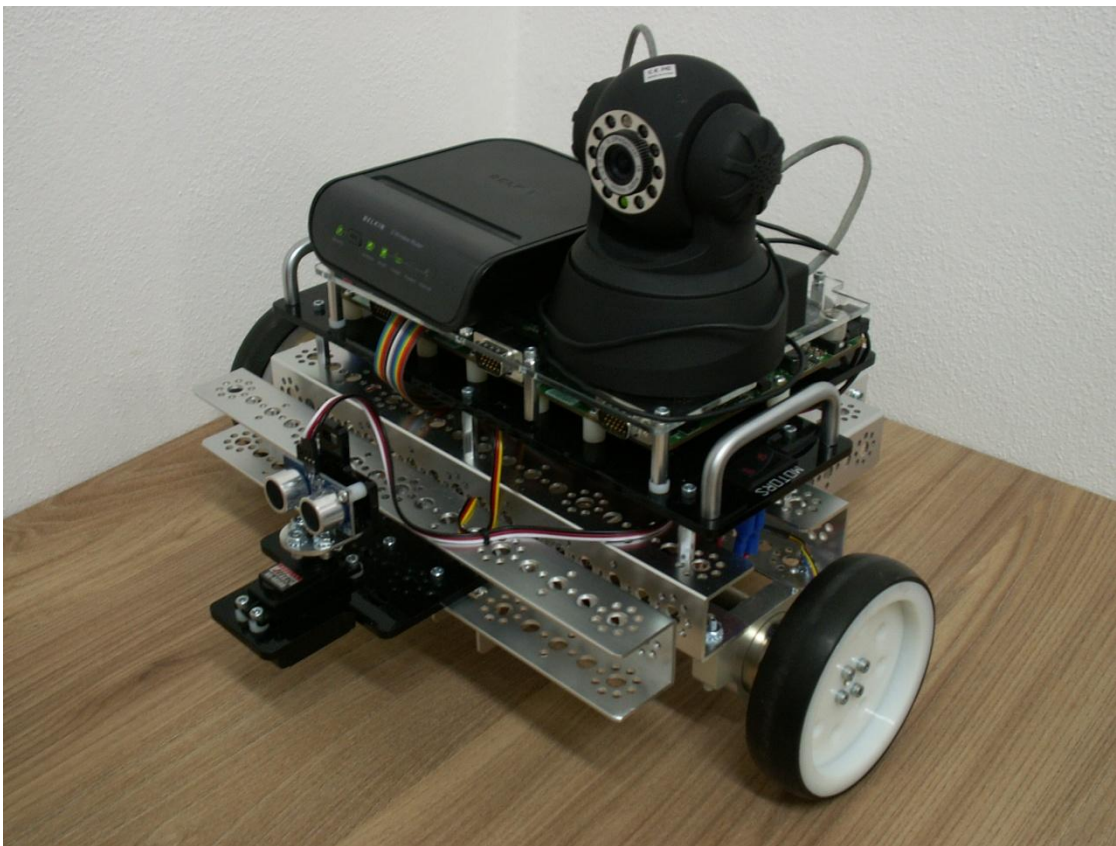
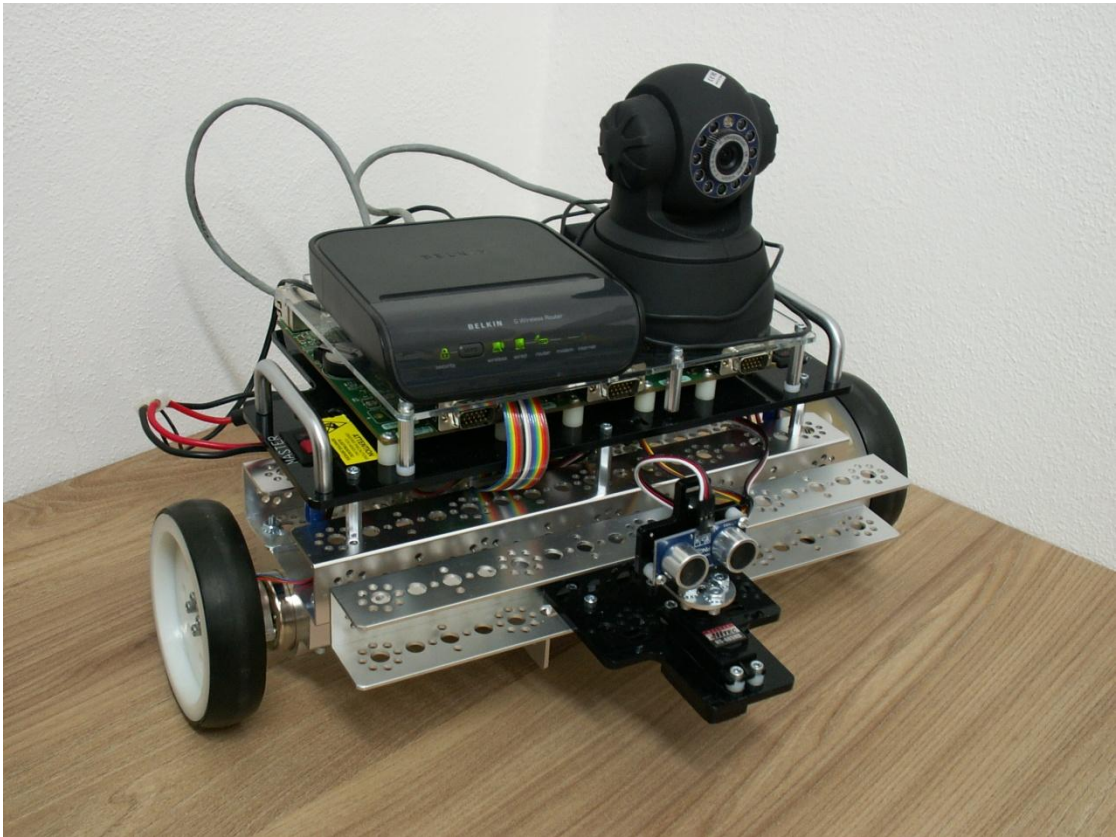
- [1] NOVÁK M., ŠEBESTA V., VOTRUBA Z.: *Bezpečnost a spolehlivost systémů*, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2001, ISBN 80-01-02807-0.
- [2] VOTRUBA Z., KALIKOVÁ J., KALIKA M.: *Systémová analýza*, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008, ISBN 978-80-01-04081-2.
- [3] ROHDE&SCHWARZ: *Intelligent Transportation Systems Using IEEE 802.11p* [online].[cit. 25. 9. 2014], Dostupné z:http://www.rohde-schwarz.com/en/applications/intelligent-transportation-systems-using-ieee-802.11p-application-note_56280-15747.html
- [4] KREJČÍ J., KOVANDOVÁ H., KOVANDA J., PURŠ H.: *Kolize železničního a silničního vozidla, popis experimentu*, Soudní inženýrství - Analýza silničních nehod, ročník 25 - 2014.
- [5] BUREŠ P., PŘIBYL O.: *Detektory zasahující do vozovky, úvod do detekce*, přednáška ČVUT Fakulta dopravní, [online].[cit. 1. 2. 2015], Dostupné z: zolutarev.fd.cvut.cz/ma/ctrl.php?act=show,file,19109
- [6] HRŮZA F.: *Nejmodernější zabezpečovací zařízení v železniční dopravě*, [online].[cit. 16. 3.2015], Dostupné z: http://cenaekana.fd.cvut.cz/prezentace/4_rocnik/hruza_filip/prace.pdf
- [7] DLASK T.: *Boční náraz automobilu*, diplomová práce, Praha: České vysoké učení technické, Fakulta dopravní, 2013.
- [8] BUCHTA P.: *VIDEO: Crash test na přejezdu*, fotografie, [online].[17. 11.2014], Dostupné z: <http://www.pozary.cz/clanek/23646-video-crashtest-na-prejezdu/>
- [9] ŠVESTKA D.: *680 Pendolino - anténa pro komunikaci s balízkami*, fotografie, [online].[8. 11.2014], Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-680.html>
- [10] JANČAR R.: *City Elefant - pantograf, který je lepší než Pendolino*, fotografie, [online].[8. 11.2014], Dostupné z: http://technet.idnes.cz/city-elefant-pantograf-ktery-je-lepsi-nej-pendolino-fhw-/tec_technika.aspx?c=A080406_170731_tec_technika_rja
- [11] PINKAS P.: *Řízení a zabezpečení železniční dopravy, automatizace v dopravě 1/2014*, [online].[cit. 15. 11.2014], Dostupné z: <http://automa.cz/res/pdf/52955.pdf>
- [12] *Zabezpečovací technika v železniční dopravě (ČÁST 1)*, Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava, 2009, [online].[cit. 23. 11.2014], Dostupné z: <http://projekt150.havvel.cz/node/129>
- [13] *Liniový vlakový zabezpečovač*, obrázek, kódy LVZ, [online].[15. 11.2014], Dostupné z: maturita-ztd4.kvalitne.cz/zt/22.doc

- [14] PČR: *Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v České republice*, Ředitelství dopravní policie policejního prezidia České republiky, Praha 2014, [online].[cit. 9. 11.2014], Dostupné z: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mw%3d%3d>
- [15] BESIP: *Moderní technologie vozidel*, [online].[cit. 17. 3.2015], Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozidlo/moderni-technologie-vozidel>
- [16] PROJEKT ROMODIS: *Rozvoj moderních dopravních inteligentních systémů*, e-learningový kurz, [online].[3. 4.2015], Dostupné z: <http://romodis.cz/oProjektu.php?id=30>
- [17] SAJDL J.: *Brzdový asistent*, [online].[cit 25. 4.2015], Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/brzdovy-asistent/>
- [18] *Detektor Marskam*, [online].[1. 2.2015], Dostupné z: <http://www.alam.sk/dopravne-systemy/scitace-dopravy-vazenie-pocas-jazdy/cross-asd-3>
- [19] *CCD kamera* [online].[5. 2.2015], Dostupné z: <http://www.deramax.cz/fotocache/bigorig/4498.jpg>
- [20] *Ultrazvukový detektor TC-30* [online].[5. 2.2015], Dostupné z: <http://www.amazon.com/Detector-Ultrasonic-Vehicle-Presence-Requirement/dp/B00EV2LR28>
- [21] *Infračervený pasivní detektor ASIM* [online], [8. 2.2015], Dostupné z: http://xtralis.com/product_view.cfm?product_id=58
- [22] *Základní vlastnosti světla*, [online].[cit. 25. 4. 2015], Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3146009/>
- [23] BERNAT P.: *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu*, [online].[cit. 25. 4.2015], Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [24] BRADÁČ Z., FIELDER P., KAČMÁŘ M.: *Bezdrátová komunikace v automatizační praxi I: historie a současnost*, FCC PUBLIC, [online].[cit.19. 2.2015] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28818
- [25] BEDNAŘÍK J. A KOLEKTIV: *Technika spolehlivosti v elektronické praxi*, SNTL Praha, Nakladatelství technické literatury, 1990, ISBN 80-33-004222-5.
- [26] *Optické sítě*, [online].[cit.19. 2.2015] Dostupné z: http://www.opticon.cz/index.php?id_document=40940
- [27] *Spolehlivost elektronických systémů*, studijní text frekventantů předmětu PV171, Masarykova univerzita, 2005, [online].[cit.1. 5.2015], Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1433/podzim2005/PV171/Spolehlivost.pdf>

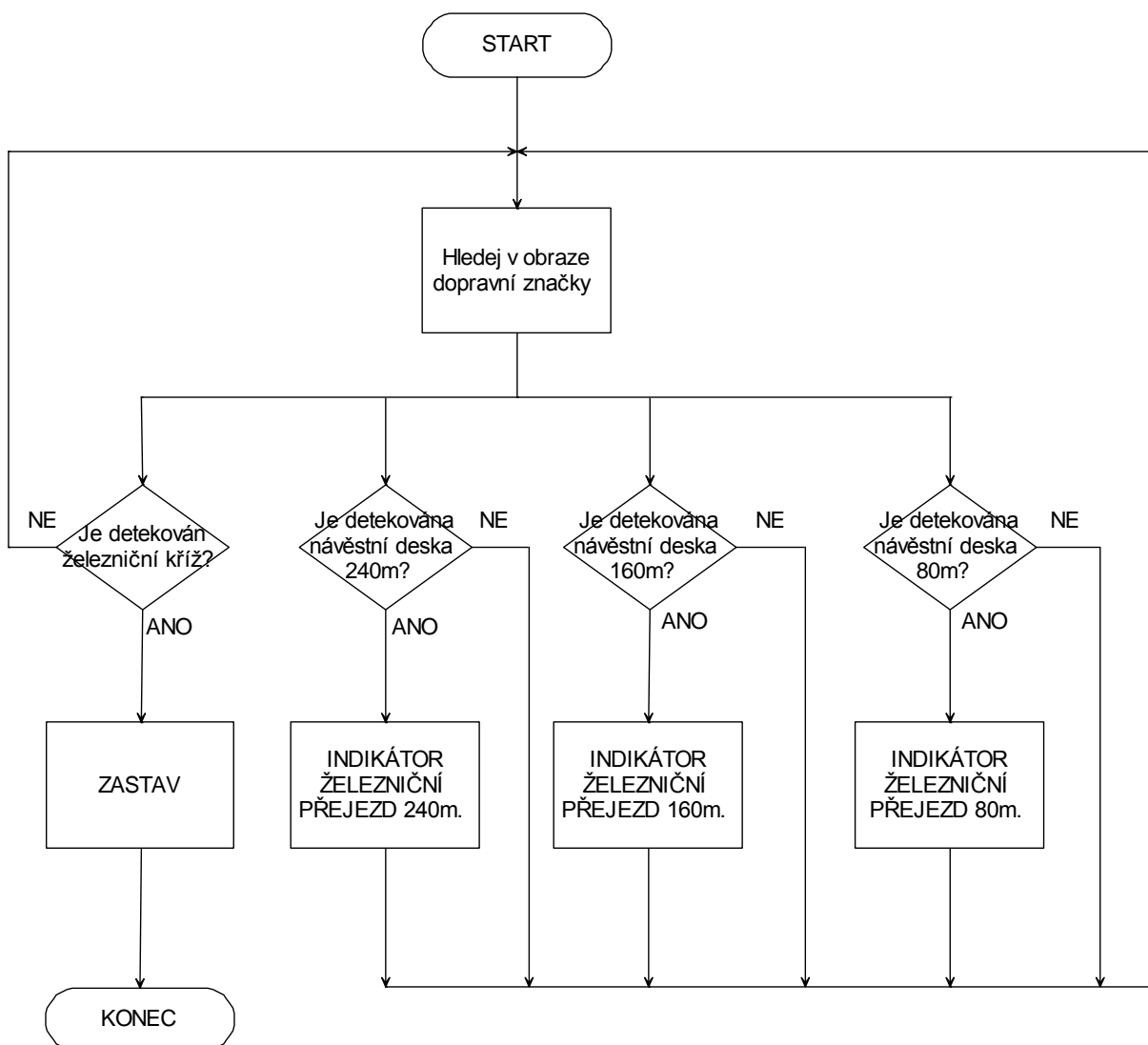
Seznam příloh

1. Robot DaNI.
2. Vývojový diagram kamerové detekce.
3. Algoritmus kamerové detekce v programu LabVIEW.
4. Detekce návěštních značek.

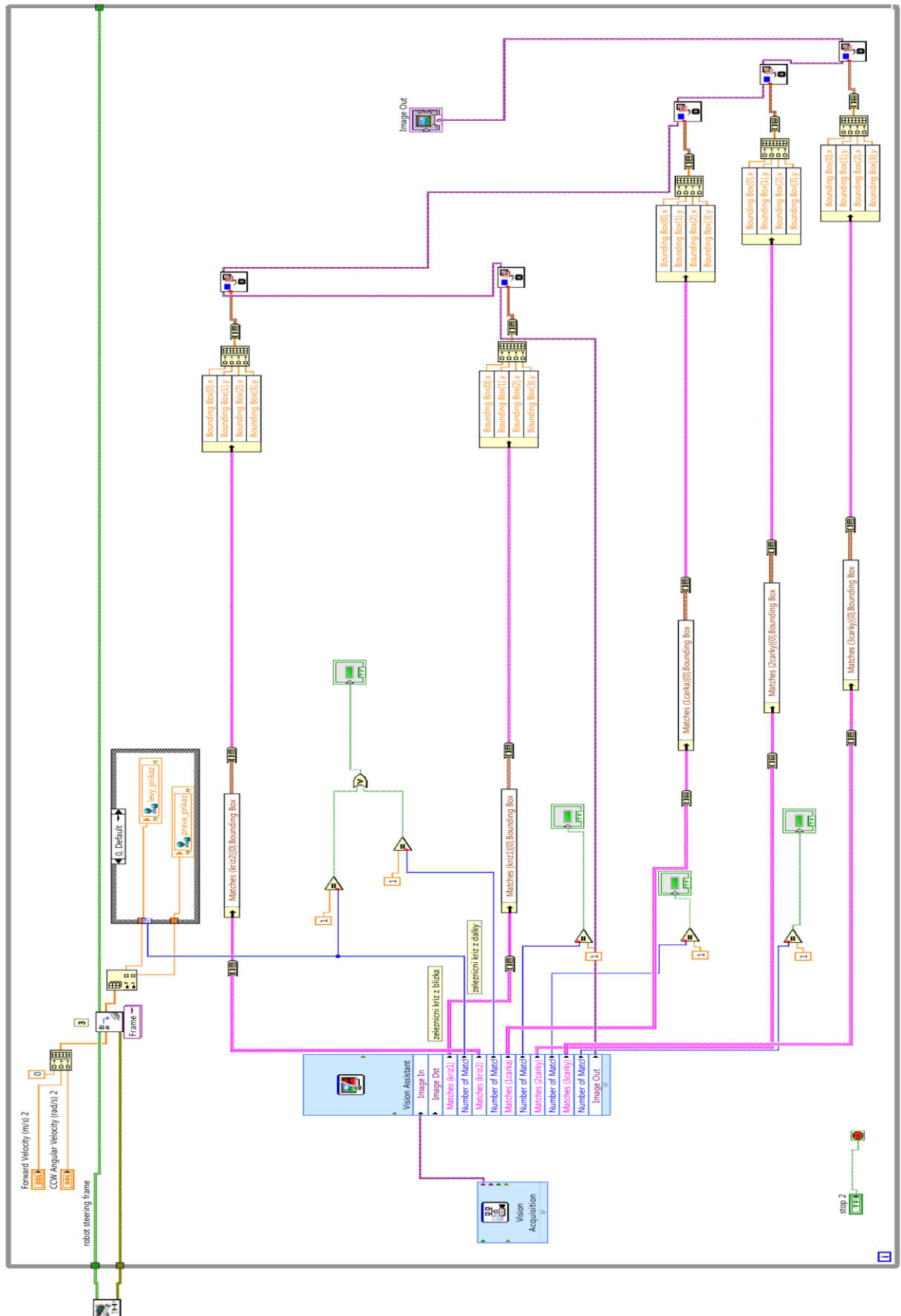
1. Robot DaNi



2. Vývojový diagram systému kamerová detekce



3. Algoritmus kamerové detekce v systému LabVIEW.



4. Detekce návěštních značek

Přejzd 240 m, zapínám radar

Forward Velocity (m/s) 2: 0,035

CCW Angular Velocity (rad/s) 2: 0

Image Out

560x420 0.82X 8-bit image 255 (0,0)

STOP

Detailed description: This screenshot shows a software interface for a robot. At the top, a green bar indicates 'Přejzd 240 m, zapínám radar'. Below this are two sliders: 'Forward Velocity (m/s) 2' set to 0,035 and 'CCW Angular Velocity (rad/s) 2' set to 0. A central window labeled 'Image Out' displays a camera view of a room with a bicycle and chairs. A red box highlights a sign on a chair. To the left of the image is a vertical toolbar with various icons. At the bottom left, a status bar shows '560x420 0.82X 8-bit image 255 (0,0)'. At the bottom right is a red 'STOP' button.

Přejzd 160 m

Forward Velocity (m/s) 2: 0,045

CCW Angular Velocity (rad/s) 2: 0

Image Out

560x420 0.82X 8-bit image 255 (0,0)

STOP

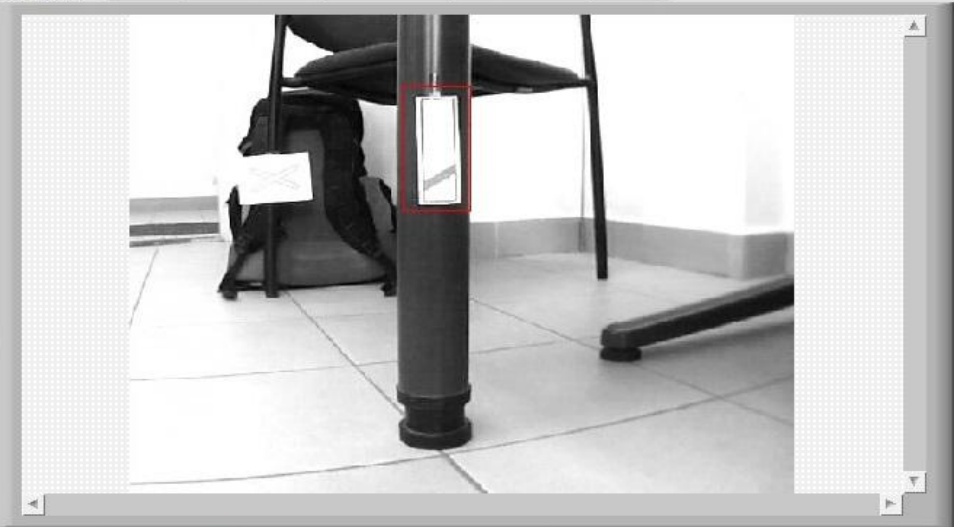
Detailed description: This screenshot shows the same software interface as above, but at a different position. The top bar now says 'Přejzd 160 m'. The 'Forward Velocity (m/s) 2' slider is now set to 0,045, while the 'CCW Angular Velocity (rad/s) 2' remains at 0. The 'Image Out' window shows the camera view from a slightly different angle, with the red box still highlighting the sign on the chair. The status bar and 'STOP' button are also present.

Prejezd 80, vlak lokalizován

Forward Velocity (m/s) 2: 0,052

CCW Angular Velocity (rad/s) 2: 0

Image Out



560x420 0.82X 8-bit image 255 (0,0)

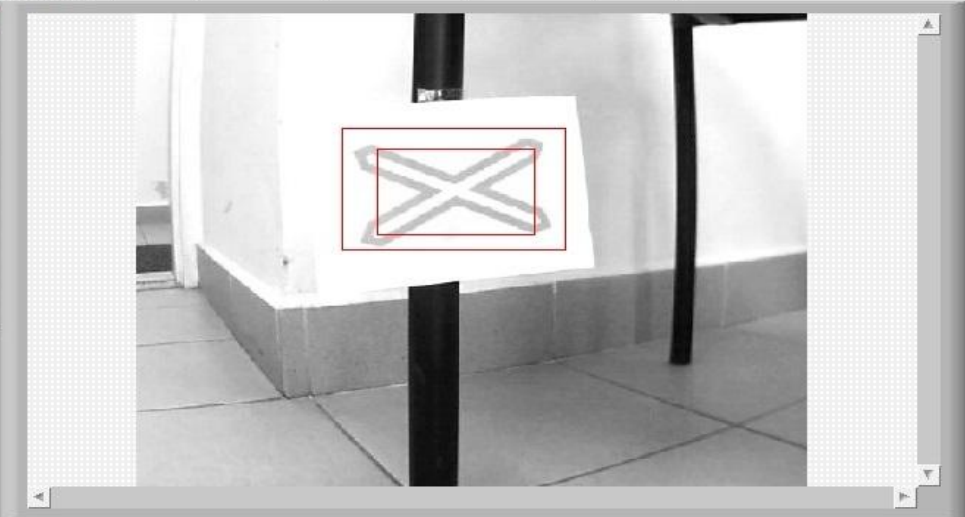
STOP

POZOR PŘEJEZD - ZASTAVTE

Forward Velocity (m/s) 2: 0,045

CCW Angular Velocity (rad/s) 2: 0

Image Out



560x420 0.82X 8-bit image 254 (0,0)

STOP