



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

**Ing. JAKUB NOVÁČEK**

**Verifikace míry závažnosti dopravně-bezpečnostních  
deficitů silničních záchytných systémů**

**Verification of the Severity Level of Safety Defects  
of Road Restraint Systems**

**Disertační práce**

**2022**

## **Poděkování**

Je mi ctí, že v tomto odstavci mohu poděkovat lidem, kteří mi poskytovali pomoc při psaní této práce. V první řadě patří mé poděkování za odborné vedení a konzultování disertační práce panu doc. Ing. Tomáši Mičunkovi, Ph.D. Dále musím poděkovat všem kolegům z Ústavu soudního znalectví v dopravě (K622) Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Jmenovitě hlavně pánům Ing. Bc. Karlu Kociánovi, Ph.D., Ing. Tomáši Kohoutovi, Ing. Pavlu Vrtalovi a slečně Bc. Tereze Šimkové. A nakonec je mou příjemnou povinností poděkovat mé rodině a mým blízkým za morální podporu během celé doby mého studia.

Tato disertační práce byla finančně podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT v Praze č. SGS20/199/OHK2/3T/16.

## **Prohlášení**

**Předkládám tímto k posouzení a obhajobě disertační 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 dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.**

**Nemám žádný 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 19. května 2022**

.....

**podpis**

## Abstrakt

Cílem disertační práce je navržení metodického postupu, díky kterému bude dosaženo jednotného ohodnocení dopravně-bezpečnostních deficitů týkajících se silničních záchytných systémů. V současné době je míra závažnosti pro tyto závady hodnocena různými týmy auditorů bezpečnosti pozemních komunikací nejednotně. To ve výsledku značně ztěžuje práci správcům PK, kterým to neumožňuje se zaměřit na eliminaci nejrizikovějších závad, a tak efektivně využít ekonomické a lidské zdroje. Pro stanovení a následné ověření míry rizikovosti jednotlivých závad bezpečnostních systémů byl vytvořen matematický model. Funguje na principu klasifikace dat diskretním modelem a jeho predikci. Silniční záchytné systémy jsou určeny k tomu, aby zachytily automobil, který z určitých příčin opustí vyhrazený prostor PK v místě, kde by mohlo dojít k vážným následkům na zdraví osob. Proto jsou na tyto prvky kladeny zvýšené nároky na správnou funkci a jejich vhodné umístění. Současně tato skutečnost znamená, že nelze míru rizikovosti kalkulovat pouze na základě evidovaných dopravních nehod. Stanovení závažnosti bylo realizováno na základě porovnání výsledků matematického modelu pro dva datové soubory. V prvním případě model vycházel z dat dopravních nehod korelovaných s evidovanými deficity silničních záchytných systémů. V druhém případě se pak jednalo o nehodové události se svodidly, kde v rámci BI PK nebyla lokalizována žádná závada. Na základě porovnání výsledků matematického modelu, resp. zjištěných pravděpodobností pro jednotlivé expozice deficitů došlo k ověření a upřesnění stanovených hypotéz.

**Klíčová slova:** Bezpečnostní inspekce PK, dopravně-bezpečnostní deficity, dopravní nehody, silniční záchytné systémy, svodidla, Bayesovská statistika, diskretní modelování

## **Abstract**

The aim of the doctoral thesis is to design a methodological procedure that will lead to same assessment of the safety defects related to road restraint systems. Currently, the level of severity for these defects is rated inconsistently by different teams of road safety auditors. As a result, this makes it very complicated for road managers, who are unable to focus on eliminating the riskiest defects and thus make efficient use of economic and human resources. A mathematical model was created to determine and subsequently verify the level of severity of individual safety defects. It works on the principle of data classification by a discrete model and its prediction. Increased demands are placed on road restraint systems to ensure that they operate correctly and that they are positioned appropriately. As these safety devices are designed to be crashed into, the level of severity cannot be calculated solely based on recorded road accidents. The determination of severity was carried out by comparing the results of the mathematical model for the two different datasets. In the first case, the model was based on accident data correlated with recorded defects in road restraint systems. In the second case, the model was based on traffic accidents with road restraint systems where no defects were located within the road safety inspection. Based on the comparison of the results of the mathematical model and the established probabilities for each exposure of defects the individual risks were confirmed.

**Key words:** Road Safety Inspection, Safety Defects, Traffic Accidents, Road Restraint Systems, Crash Barriers, Bayesian Statistics, Discrete modelling

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Současný přístup a jeho limity.....	11
3. Definování vstupních dat.....	13
4. Záchytné systémy na pozemních komunikacích.....	15
4.1. Svodidla.....	17
4.1.1. Dělení svodidel.....	17
4.1.2. Návrhové parametry svodidel.....	20
5. Bezpečnostní inspekce PK.....	25
5.1. Webová aplikace CEBASS.....	27
5.1.1. Formulář pro záznam.....	27
5.1.2. Kategorie sledovaných deficitů.....	29
5.2. Závady záchytných zařízení identifikovaných v rámci BI PK.....	31
5.3. Katalogové listy svodidel.....	35
6. Nehodovost.....	38
6.1. Dopravní nehodovost v rámci silničních záchytných systémů.....	40
7. Korelace nehodových dat s bezpečnostními deficity.....	44
7.1. Způsob a podmínky pro korelaci.....	44
7.2. Definování parametrů ovlivňujících míru rizikovosti dopravně-bezpečnostních deficitů.....	47
7.2.1. Úroveň zadržení svodidla.....	49
7.2.2. Směrové vychýlení začátku svodidla.....	50
7.2.3. Vzdálenost svodidla od pevné překážky.....	51
7.2.4. Nejvyšší dovolená rychlost.....	52
7.2.5. Prostorové vedení PK.....	53
7.2.6. Poloha deficitu vůči směru jízdy.....	55
7.3. Diskretizace parametrů a číselné označení.....	55
7.4. Dopravní nehody bez korelovaných deficitů.....	56
7.5. Rozdělení dopravních nehod dle celospolečenské ztráty.....	57
8. Definování pracovních hypotéz.....	59
9. Matematický model.....	61

9.1.	Teoretický základ aplikovaných metod [43][44][45][46][47][48].....	61
9.2.	Navržený algoritmus odhadu matematického modelu .....	66
9.3.	Zjištěné výstupy z modelu .....	68
9.3.1.	Krátký výškový náběh .....	68
9.3.2.	Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.....	69
9.3.3.	Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.....	71
9.4.	Přesnost predikce modelu .....	72
10.	Verifikace hypotéz.....	74
10.1.	Pracovní hypotéza I. – Krátký výškový náběh .....	74
10.2.	Pracovní hypotéza II. – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla 77	
10.3.	Pracovní hypotéza III. – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem ..	79
10.4.	Vliv nejistot na výsledky ověření hypotéz.....	81
10.4.1.	Dopravní nehody .....	82
10.4.2.	Počet záznamů datových souborů.....	83
10.4.3.	Použité parametry pro definování expozice svodidla.....	84
10.5.	Výsledky verifikace hypotéz .....	84
11.	Závěr .....	86
12.	Zdroje.....	89

## Seznam použitých zkratek

ABPK	Auditor bezpečnosti pozemních komunikací
BI PK	Bezpečnostní inspekce pozemních komunikací
BIM	Informační model budovy
CEBASS	Centrální evidence bezpečnostních analýz silniční sítě
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Evropská norma (převzatá)
DN	Dopravní nehoda
EU	Evropská Unie
GIS	Geografický informační systém
iRAP	International Road Assessment Programme
JCK	Jihočeský kraj
JP	Jízdní pruh
MK	Místní komunikace
OA	Osobní automobil
PČR	Policie ČR
PK	Pozemní komunikace
PŠ	Pracovní šířka
QGIS	Quantum GIS
ŘSD ČR	Ředitelství silnic a dálnic ČR
SDP	Střední dělicí pás
SDZ	Svislá dopravní značka
TEN-T	Transevropská dopravní síť
TNA	Těžký nákladní automobil
TP	Technické podmínky
TPV	Technické podmínky výrobce
UK	Ústecký kraj
USA	Spojené státy americké
VDZ	Vodorovná dopravní značka



# 1. Úvod

Pro zajištění udržitelného rozvoje a konkurenceschopnosti Evropy a Evropské Unie (dále jen EU) v rámci celého světa, je nutný vývoj ve všech klíčových oblastech, mezi které bezesporu patří i doprava. Pojem doprava je velmi široký a zahrnuje celou řadu odvětví, avšak obsah této práce bude primárně směřován na oblast silniční dopravy. V této kategorii se hovoří nejčastěji o silniční síti, která musí kromě jiných podmínek splňovat určitou úroveň bezpečnosti pro její uživatele, aby zaručovala výše zmíněné cíle.

Za účelem zvýšení bezpečnosti na silniční síti státy EU zavedly politiku postupného snižování závažných dopravních nehod a začlenily do svých strategických plánů různé projekty (např. Vize Nula). Vize nula se proti ostatním strategiím snaží nejen snížit počet vážných dopravních nehod (nehody s usmrcením a těžkým zraněním), ale především cílí na jejich celkovou eliminaci. [1] Plnění této politiky vyžaduje komplexní vývoj v oblasti silniční bezpečnosti, která se skládá ze tří základních pilířů (uživatel, dopravní prostředek, infrastruktura). [2] Úroveň jednotlivých pilířů se liší dle vyspělosti státu. V oblasti vývoje vozidel (pasivní a aktivní bezpečnost) je postup společný v rámci celého vyspělého světa (při zanedbání stáří vozového parku), avšak vývoj zbylých dvou pilířů je značně odlišný a je velice ovlivněn konkrétní úrovní vyspělosti daného státu. Česká republika (dále jen „ČR“) má zatím velkou rezervu v dopravní osvětě, ale i co se výuky řidičů v autoškolách týče. Nicméně v poslední době se jedná o legislativních změnách ve vzdělávání začínajících řidičů a současně vzniká nespočet nových osvětových kampaní, které mají výraznější dopad na obecné vědomí v oblasti bezpečnosti provozu u širší veřejnosti. [3]

Poslední pilíř reprezentuje samotná pozemní komunikace (dále jen „PK“), která má nezanedbatelný vliv na vznik dopravních nehod a na samotné chování jednotlivých účastníků silničního provozu. Abychom mohli mluvit o bezpečné pozemní komunikaci, musíme zajistit, aby tato PK splňovala dvě základní pravidla, kterými jsou právě samovysvětlitelnost a promíjivost. [4] Jedním z nástrojů pro hodnocení úrovně bezpečnosti silniční sítě je Bezpečnostní inspekce pozemních komunikací (dále jen „BI PK“). V ČR se jedná o nejčastěji využívaný nástroj pro hodnocení bezpečnosti na již existující silniční síti. V současné době je taktéž tento nástroj integrován legislativou v mnoha evropských zemích a většina správců PK s tímto nástrojem již běžně pracuje. [5]

V metodice pro provádění BI PK je identifikovaným dopravně-bezpečnostním deficitům přiřazována závažnost na třístupňové stupnici (nízké / střední / vysoké riziko). [5] Popis této stupnice je velmi obecný. Dle zkušeností auditorů bezpečnosti pozemních komunikací (dále jen „ABPK“) i správců komunikace dochází k rozdílnému stanovení závažnosti u shodných typů závad, a to v případě posouzení jednotlivými ABPK. V rámci BI PK je auditory sledován a hodnocen celkový dopravní prostor, který má vliv na bezpečnost účastníků silničního provozu a současně ovlivňuje jejich chování. Tento

prostor, resp. části PK v něm hodnocené jsou různorodého charakteru. Jednotlivé části dopravního prostoru vyžadují specifický postup hodnocení a kontroly, který bude zohledňovat jejich požadavky na zajištění požadované úrovně bezpečnosti.

Z důvodu značné obsáhlosti jednotlivých kategorií bude doktorská práce zaměřena pouze na jednu z kategorií, a to konkrétně na silniční záchytné systémy, mezi které patří např. svodidla, tlumiče nárazů a další bezpečnostní prvky a vybavení PK. Primární funkce těchto prvků spočívá v pohlcování energie při nárazech automobilů. Předpokladem pro naplnění této funkce je jejich absolutní funkčnost, které lze docílit pouze v případě, že jsou silniční záchytné systémy vhodným způsobem navrženy a řádně realizovány.

Správné stanovení, resp. ohodnocení rizika v této oblasti se dle zkušeností z praxe jeví jako značně problematické. V případě různého hodnocení stejných typů závad pak nebude jejich odstraňování správcem konzistentní a systematické. Současně to bude mít za následek pomalejší růst úrovně bezpečnosti a neefektivní hospodaření týkající se lidských a finančních zdrojů, které jsou na tuto problematiku alokovány ze strany správce komunikace. [2][6]

Primárním cílem disertační práce je správné stanovení a následné ověření rizikovosti identifikovaných dopravně-bezpečnostních deficitů v oblasti záchytných systémů, a to primárně v extravilánových úsecích na primární silniční síti ČR. Rizikovost bude vztažena pro posádku průměrného osobního automobilu. Celospolečenský přínos ze zavedení ověřené standardizované metriky lze spatřovat ve skutečnosti, že správcům PK bude umožněno se zaměřit na eliminaci skutečně těch nejrizikovějších závad. Tím jim bude umožněno efektivněji využít omezené ekonomické a lidské zdroje, kterými disponují, ve prospěch bezpečnosti silničního provozu. Současně sjednocení a standardizování výsledků v oblasti BI PK přinese možnost celkového porovnání výsledků jednotlivých dopravně-bezpečnostních posouzení, z čehož bude možné vyčíst například vývoj bezpečnosti daného úseku v čase apod.

## 2. Současný přístup a jeho limity

Jak bylo v úvodní kapitole naznačeno, závažnost dopravně-bezpečnostních závad je kalkulována z obecně definované tříškové stupnice, kdy konkrétní riziko je primárně přiřazeno na základě zkušenostní báze řešitelského týmu. Dle těchto předpokladů je zřejmé a lze i očekávat rozdílné hodnocení stejných typů závad. ABPK mohou mít různou zkušenost s jednotlivými prvky dopravního prostoru a z toho důvodu jim, resp. jejich závadám přiřadí rozdílnou celospolečenskou závažnost.

Významnou roli zaujímá i typ deficitu. Lze předpokládat menší rozdíl v případě hodnocení extrémních situací (např. strom 1 m vzdálený od zpevněné krajnice dálnice, neadekvátně postřehnutelný přechod pro chodce před základní školou umístěný za směrovým obloukem), kdy bude vždy správně stanoveno vysoké riziko. Zároveň poškozené nebo špatně postřehnutelné vyznačení parkoviště bude ohodnoceno nízkým rizikem. V případě záchytných systémů lze tyto případy najít také, avšak budou zde převažovat opačné situace, kdy z charakteru závady nebude zcela jasné, jaké bezpečnostní riziko přiřadit. Ne vždy tento stav musí být způsoben rozdílnou zkušeností auditorů, ale samotnou absencí výzkumu v této oblasti. Jako modelový příklad lze uvést chybně realizovaný přechod mezi dvěma různými typy svodidel, resp. nedostatečné propojení dvou ocelových pásnic svodidla (absence spojovacího materiálu – chybějící šrouby). U těchto dvou příkladů je na základě zkušenostní báze ABPK obecně obtížné stanovit závažnost těchto deficitů.

Tématem bezpečnosti PK, konkrétně BI PK, ale i jiných přístupů hodnocení úrovně bezpečnosti dopravního prostoru, se zabývá celá řada tuzemských i zahraničních výzkumů. Tuto problematiku ale většinou řeší z obecného pohledu, avšak v žádném projektu není řešeno standardizované hodnocení rizik spojených se záchytnými systémy.

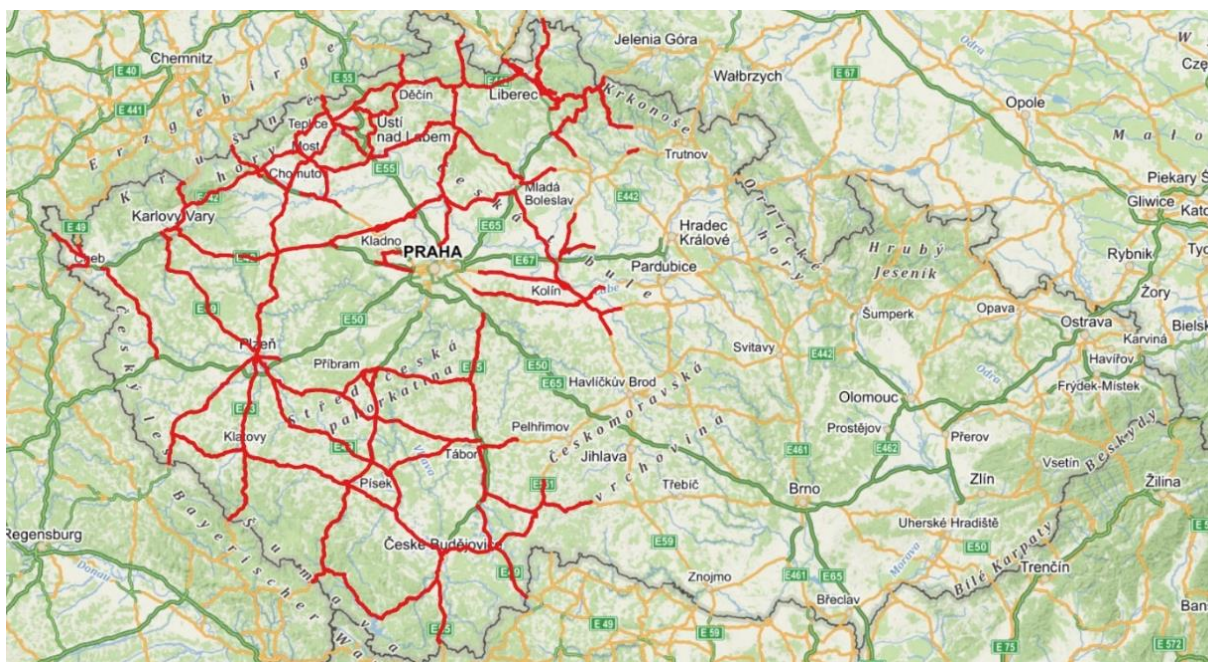
Vždy se jedná o výzkumy, jejichž výsledkem jsou např. příručky, směrnice a jiná doporučení pro správce komunikací, které nabádají k výstavbě, resp. rekonstrukci silniční sítě s ohledem na zvyšování bezpečnosti jejich uživatelů (např. SAFESIDE [7]). Dále lze mluvit o projektech (např. SAVeRS [8]), které pojednávají o vhodnosti použití různých druhů záchytných systémů (svodidlo s náběhem / s terminálem x tlumič nárazu). V neposlední řadě je zde také mnoho výzkumných úkolů zabývajících se výběrem vhodných opatření zvyšujících bezpečnost provozu (tedy eliminujících identifikované dopravně-bezpečnostní deficity) na základě ekonomického hodnocení efektivnosti (např. IRDES [9]). Závěrem je nutné zmínit obdobný projekt, jako je BI PK, a sice Mezinárodní program pro hodnocení bezpečnosti silnic iRAP [10], který ovšem nikterak neumožňuje stanovení a názorné ověření rizikovitosti konkrétní dopravně-bezpečnostní závady na PK. Výstupem z tohoto programu je vždy celková rizikovitost úseku o délce 100 m a nikoliv konkrétní závažnost závady. Celospolečenská rizikovitost je uvedena na pětistupňové stupnici, která se svojí definicí odlišuje od tříúrovňové stupnice uvedené v metodice pro BI PK [5] používané v ČR.

Částečně podobný projekt byl již v minulosti realizován pro kategorii pevných překážek. V disertační práci „Návrh metodiky pro tvorbu nehodových map“ se Ing. Bc. Karel Kocián, Ph.D. [11] zaměřil na problematiku stanovení závažnosti pevných překážek v závislosti na jejich expozici, kdy taktéž využíval následky silniční nehodovosti pro verifikaci své hypotézy. Tato disertační práce se především zaměřuje na silniční záchytné systémy, v rámci kterých se jejich závažnost určuje zcela jiným způsobem. Současně je nutné poznamenat, že v oblasti záchytných systémů je zde celá řada typů závad (krátké svodidlo, krátký výškový náběh, chybně provedené svodidlo atd.). U těchto deficitů se uvažují rozdílné hodnotící parametry – pro krátký výškový náběh není potřeba znát úroveň zadržetí a naopak – pro nedostatečnou pracovní šířku není potřeba rozlišovat, pro jaký jízdní směr je závada riziková. Mezi další rozdíly patří i skutečnost, že náraz do pevné překážky je zcela nežádoucí. Naopak silniční záchytné systémy jsou primárně určeny k tomu, aby do nich účastníci silničního provozu v případě nouze (např. hrozící sjetí z vysokého náspu PK) vozidlem narazili – zde to je žádoucí.

### 3. Definování vstupních dat

Jako vstupní data z oblasti BI PK (konkrétně silničních záchytných systémů) byly použity BI PK realizované Ústavem soudního znaectví v dopravě Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Tento ústav se dlouhodobě zabývá problematikou bezpečnosti v oblasti silniční dopravy a za dobu své činnosti realizoval již mnoho projektů, mezi kterými je mj. i značný počet BI PK. Pro účely disertační práce budou využity údaje BI PK, které byly realizovány formou průjezdu inspekčního vozidla vybaveného záznamovým zařízením. Celkem byly takto realizovány inspekce v šesti krajích, konkrétně se jedná o následující projekty (viz Obrázek 1):

- Bezpečnostní inspekce na silnicích I. třídy č. 2, 9, 11, 12, 17, 32, 38 a 38H na území Středočeského kraje,
- Bezpečnostní inspekce na dálnici a silnicích I. třídy v Jihočeském kraji, které nejsou zahrnuty do sítě TEN-T a ani nenahrazují plánovanou síť TEN-T,
- LK Bezpečnostní inspekce na silnicích I. třídy mimo TEN – T,
- Bezpečnostní inspekce na silnicích I. třídy v Karlovarském kraji,
- Bezpečnostní inspekce na silnicích I. třídy v Ústeckém kraji,
- Bezpečnostní inspekce na silnicích I. třídy v Plzeňském kraji.



**Obrázek 1** – Rozsah realizovaných BI PK ve vybraných krajích. [12]

Kromě výše uvedených projektů, které byly realizovány pro jednotlivé správy ŘSD ČR v daných krajích, byla použita data z BI PK silniční sítě TEN-T (Transevropská dopravní síť [13], viz Obrázek 2) realizované v roce 2015. Tato inspekce byla realizována jiným metodickým způsobem než výše uvedené. Primárně z důvodu odlišného formátování evidovaných dopravně-bezpečnostních deficitů bude využita pouze část takto získaných dat.



**Obrázek 2** – Dálnice a silnice I. třídy zahrnuté v TEN-T síti v roce 2015. [12]

K vyhodnocení nehodovosti a jako podklad pro stanovení a ověření rizikovosti deficitů z oblasti silničních záchytných systémů byla využita data z veřejně dostupných statistických údajů o nehodovosti PČR – webové aplikaci Dopravní nehody v ČR [14] a dále data poskytnutá Policejním prezidiem ČR. [15] Konkrétně budou analyzovány dopravní nehody za ucelené období od 1. ledna 2016 až do 31. prosince 2019. Bližší údaje o jednotlivých nehodách (podrobný popis místa, průběhu nebo vzniku nehodového děje) v této databázi nejsou obsaženy. Přesto lze konstatovat, že pro obecnou lokalizaci dopravních nehod, jejich korelaci s dopravně-bezpečnostními deficity týkajícími se silničních záchytných systémů a následné stanovení a porovnání rizikovosti na základě celospolečenské ztráty, mají tato data dostatečně vypovídající hodnotu. Ze zkušeností z praxe a dalších doplňujících podkladů byly některé DN zkontrolovány, případně rozšířeny o další zjištěné informace. Jako vstupní hodnoty matematického modelu jsou vybrány pouze nehodové události splňující následující předpoklady:

- DN je klasifikována jako srážka s pevnou překážkou, konkrétně se svodidlem,
- Jedná se o DN osobního automobilu,
- V rámci DN nejsou evidováni jiní účastníci (další vozidla, chodci apod.).



Záchytné systémy lze rozdělit na pozemních komunikacích dle ČSN 73 6101 na svodidla, tlumiče nárazu a zábradlí. [16]

Nejobsáhlejší kategorii záchytných systémů reprezentují svodidla, která se na silniční síti umísťují nejčastěji. Svodidla se umísťují podél PK, kde především zabraňují vybočení vozidel mimo korunu vozovky. Jelikož je tato disertační práce zaměřena primárně na svodidla, jsou podrobněji popsána v následující podkapitole 4.1.



**Obrázek 5** – Ocelové svodidlo umístěné v extravilánu.



**Obrázek 6** – Ocelové svodidlo v intravilánu.

Tlumič nárazu je určen pro ochranu pevných překážek, které nelze odstranit nebo ochránit jiným způsobem. Nejčastěji se instaluje před sloupy, nosné pilíře nebo tuhá čela zdí. Účelem tlumiče nárazu je co nejvíce pohltit kinetickou energii při nárazu vozidla a postupně ho zpomalit a zadržet. Toho je docíleno pomocí deformačních zón, ze kterých se tlumič skládá. Účelem tlumiče je tedy snížení závažnosti následků případné DN a minimalizace případných následků na zdraví posádky osobního vozidla. Tlumiče jsou konstruovány pouze pro osobní automobily, neposkytují tedy žádnou ochranu pro ostatní účastníky dopravního provozu (těžké nákladní automobily, motocyklisty apod.). [19]



**Obrázek 7** – Tlumič nárazu v místě dopravního ostrůvku.



**Obrázek 8** – Další ukázka tlumiče nárazu nacházejícího se v intravilánovém úseku.

Posledním prvkem záchytných systémů je zábradlí. To slouží zejména k ochraně nejzranitelnějších nemotorových účastníků silničního provozu – chodců a cyklistů. Instaluje se do míst se zvýšeným nebezpečím opuštění (pádu) z vyhrazené komunikace. Jedná se především o ochranu říms mostů, hlubokých silničních propustků nebo míst, kde není žádoucí vstup pěších do určitých oblastí. [16]





**Obrázek 9** – Zábradlí oddělující PK a chodník.



**Obrázek 10** – Zábradlí ochraňující hlubinu před pádem chodce.

## 4.1. Svodidla

Z pohledu výskytu na PK jsou nejčastěji se vyskytujícím prvkem zachytných systémů svodidla. Svodidla se umísťují podél PK za účelem ochrany účastníků silničního provozu před neodstranitelnými pevnými překážkami, sjetím z vozovky v místě vysokého náspu nebo jiné hlubiny (např. řeka, rybník), resp. k zabránění vzájemného střetu protijedoucích motorových vozidel. Umísťují se po vnějších stranách PK, resp. do středních dělicích pásů. Jejich funkcí je zachycení (zadržení) vozidla a jeho přesměrování zpět do prostoru vozovky. [17]

### 4.1.1. Dělení svodidel

Nejčastěji se svodidla dělí dle osvědčení, materiálu a způsobu umístění. Dle osvědčení se dělí na svodidla schválená a jiná.

Svodidla schválená musí splňovat normy ČSN EN 1317-1, ČSN EN 1317-2 a ČSN EN 1317-5+A2. [20][21][22] Současně musí být pro každý typ svodidla vydány příslušné technické podmínky výrobce (dále jen „TPV“), které obsahuje jejich základní parametry splňující návrhové normy ČSN 73 6101, ČSN 73 6110 a ČSN 73 6201. [16][23][24] Tato svodidla slouží k běžnému umísťování na pozemní komunikace. Základními parametry těchto svodidel jsou úroveň zadržení, pracovní šířka, minimální délka před a za překážkou, výška svodnice svodidla a minimální délka svodidla. [17]

Mezi svodidla jiná patří takové typy, které se navrhují a instalují pouze ve výjimečných případech, kdy není možné použít svodidlo z kategorie schválených. Nejčastěji se navrhují při potřebě vyšší úrovně zadržení, resp. při nedostatku prostoru pro běžná svodidla. [17]

Dle materiálu se svodidla dělí na [17]:

- ocelová,
- lanová,
- betonová,
- dřevoocelová.

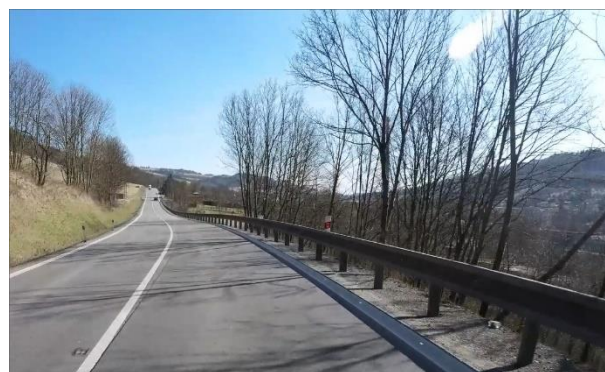
Nejčteněji jsou v ČR, ale i v jiných zemích EU využívána **ocelová svodidla**. Ta se skládají z ocelové konstrukce tvořené svodnicí (pásnicí), sloupkem, distančními díly a dalším spojovacím materiálem. Svodidla lze dělit na deformovatelná a tuhá. [17]



**Obrázek 11** – Model ocelového svodidla KB 1 RH 1 V. [25]



**Obrázek 12** – Ocelové svodidlo typu NH4 na dálnici D0.



**Obrázek 13** – Ocelové svodidlo na silnici I. třídy č. 16.

Dalším typem jsou **lanová svodidla**. Ta jsou tvořena sloupky a ocelovými lany, která jsou jimi provlečena. Lana však ke sloupkům nejsou pevně připevněna, sloupky umožňují pohyb lana v horizontálním směru. Jejich hlavní výhodou je vysoký potenciál absorpce energie a vysoká úroveň zadržení. Oproti ocelovým svodidlům u tohoto typu svodidla nedochází k protržení svodidla (zde ocelových lan) v případě nárazu automobilu, na které původně svodidlo nebylo konstruováno. Současně jsou oproti ostatním typům výrazně investičně méně náročná. Naopak mezi jejich primární nevýhody patří velká pracovní šířka, nemožnost vhodného propojení s jiným typem svodidla a také jsou ze všech typů svodidel nejméně bezpečná pro motocyklisty. [17]



**Obrázek 14** – Lanové svodidlo ve středním dělicím pásu (dále jen „SDP“) na dálnici D0.

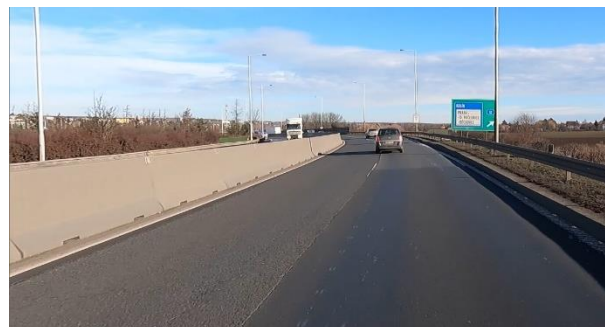


**Obrázek 15** – Lanové svodidlo v SDP na dálnici D8.

**Betonová svodidla** tvoří prefabrikované segmenty se spojovacími díly nebo monolitická konstrukce. Obvykle patří mezi svodidla s nejvyšší úrovní zadržení a současně s minimální pracovní šířkou. To je jeden z důvodů, proč se často umísťují do míst se stísněnými poměry (např. v místě mostních pilířů). Na základě svých mechanických vlastností lépe odolávají nárazům s vysokou kinetickou energií, tedy jsou vhodná pro zadržení těžkých nákladních automobilů. Lze je rozdělit na jednostranná a oboustranná a nejčastěji instalovaným typem je „New Jersey“. [17]



**Obrázek 16** – Betonová svodidla po obou stranách dálnice D10.

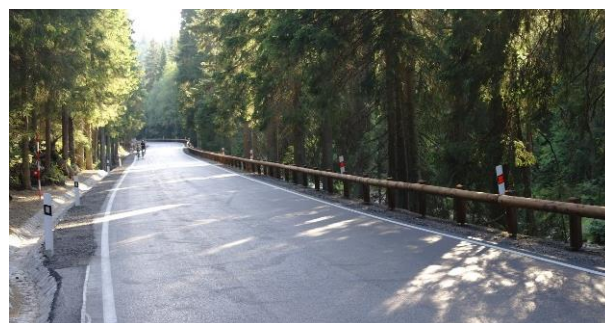


**Obrázek 17** – Betonové svodidlo v SDP (MK Štěrboholská spojka).

Posledním typem je **dřevoocelové svodidlo**. Jedná se o ocelové svodidlo, jehož povrch je pokryt dřevem. Umísťuje se do míst, kde není požadována vysoká úroveň zadržení a současně je zde zvýšená koncentrace chodců a cyklistů. Běžně se navrhuje v turisticky významných lokalitách, a to z důvodu zvýšení estetického účinku.



**Obrázek 18** – Detail provedení dřevoocelového svodidla. [26]



**Obrázek 19** – Dřevoocelové svodidlo na silnici III. třídy. [26]

#### 4.1.2. Návrhové parametry svodidel

Hlavní návrhové parametry svodidel jsou následující [17]:

- Úroveň zadržení,
- Pracovní šířka,
- Minimální délka před a za překážkou,
- Výška svodidla,
- Minimální délka svodidla.

**Úroveň zadržení** je dle TP 114 definována jako: „Ověřená velikost bočního nárazu vozidlem, kterému je schopno svodidlo vzdorovat, aniž by došlo k jeho překonání vozidlem, při zajištění požadované hodnoty prudkosti nárazu a přijatelnosti chování svodidla“. [17] Pro určení, resp. zařazení svodidla dle úrovně zadržení, se dělá zkouška na základě dynamických zátěžových testů. Konkrétní zatížení při nárazových testech určuje Tabulka 1.

**Tabulka 1** – Úroveň zatížení svodidel z kategorie schválených. [17]

Označení nárazu (test č.)	Nárazová rychlost [km/h]	Úhel nárazu [°]	Celková hmotnost vozidla [kg]	Kinetická energie $E_k$ [J]
TB 11	100	20	900	40,6
TB 21	80	8	1300	6,2
TB 22	80	15	1300	21,5
TB 31	80	20	1500	43,3
TB 32	110	20	1500	81,9
TB 41	70	8	10000	36,6
TB 42	70	15	10000	126,6
TB 51	70	20	13000	287,5
TB 61	80	20	16000	462,1
TB 71	65	20	30000	572,0
TB 81	65	20	38000	724,6

Tabulka 2 uvádí úroveň zadržení pro jednotlivá svodidla a dle TP 114 požadované nárazové testy, podle kterých musí být ověřeno každé svodidlo dané úrovně. Pokud svodidlo splní určitou úroveň, současně tím splní všechny požadavky a kritéria pro svodidla s nižší úrovní zadržení. To však neplatí pro úroveň N1 a N2, kde není splněna podmínka úrovně T3. Jak je z tabulky níže patrné, úroveň zadržení se dělí do několika skupin. Nejnižší úroveň zadržení se označuje T1 – T3. Tato kategorie má nízké úhlové zadržení a výhradně se používá jako dočasné svodidlo. Pro běžné použití na PK se používají svodidla od úrovně N1 a výše. Např. svodidlo s úrovní zadržení N2 reprezentuje minimální požadovanou úroveň zadržení na vnějších okrajích silnic I. třídy (dle TP 114). [17]

**Tabulka 2 – Úroveň zadržení svodidel. [17]**

Rozdělení úrovně zadržení	Úroveň zadržení	Požadované testy
Nízké úrovně zadržení	T1	TB 21
	T2	TB 22
	T3	TB 41 a TB 21
Běžné úrovně zadržení	N1	TB 31
	N2	TB 32 a TB 11
Vyšší zadržení	H1	TB 42 a TB 11
	H2	TB 51 a TB 11
Velmi vysoké zadržení	H3	TB 61 a TB 11
	H4a	TB 71 a TB 11
	H4b	TB 81 a TB 11

Tabulka 3 obsahuje detailní rozdělení svodidel dle úrovně zadržení (TP 114 [17]) a blíže specifikuje, jaká úroveň zadržení má být v daném případě použita. Tabulka je rozdělena na základě druhu nebezpečí, které se v blízkosti PK nachází, kvůli kterému se svodidlo instaluje a současně i roční průměr denních intenzit těžkých motorových vozidel. Pro ostatní případy, které nejsou v tabulce uvedeny, minimální úroveň zadržení stanovuje Tabulka 4.

**Tabulka 3 – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska ochrany jejich okolí a z hlediska nebezpečných úseků silnic. [17]**

Intenzita provozu těžkých motorových vozidel I	<1000		1000-5000		>5000	
	N	V	N	V	N	V
Míra nebezpečí (N – normální, V – vysoká)	N	V	N	V	N	V
Zdroj pitné vody v blízkosti silnice	H2	H3	H2	H3	H3	H4
Dráha železniční nebo tramvajová, souběžná se silnicí, umístěná v blízkosti silnice	H1	H2	H2	H3	H2	H3
Veřejná prostranství s velkou frekvencí chodců	H1	H2	H2	H3	H2	H3
Pozemní stavby	H1	H2	H1	H2	H2	H3
Střední dělicí pás směrově rozdělené silnice	H2		H2	H3	H3	
Mezi souběžnými silnicemi, je-li alespoň jedna z nich kat. D, R a MR	H1	H2	H2	H2	H2	H3
Pro oddělení dopravy vedené v různých úrovních při výškovém rozdílu nad 0,60 m (např. ve středním dělicím pásu nebo mezi souběžnými PK)	H2	H3	H3		H3	
Postranní dělicí pás mezi průběžnou trasou a kolektorem	H1	H2	H2		H2	
Vodní tok nebo nádrž s hl. normální vody přes 2 m	N2	H1	H1	H2	H2	H3
Strmý skalní sráz nebo násyp výšky nad 3 m se sklonem 1:1,5 a strmějším	N2	H1	H1	H2	H1	H2
Mostní podpěry a portály (včetně poloportálů)	H2					
Jiná nebezpečná místa (netýká se podpěr mostů portálů a poloportálů), např. stromořadí, vnější strany oblouků o poloměru menším než 300 m v delším klesání nad 4 % u silnic I. třídy	N2	H1	H1	H2	H1	H2
Protihluková stěna neuzpůsobená jako záchytné zařízení	N2	N2	N2	N2	N2	N2

**Tabulka 4 – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska typu silnice. [17]**

Typ (kategorie) silnice	Úroveň zadržení
Vnější okraje silnic I. třídy, rychlostních a směrově rozdělených silnic (kat. D, R, MR)	min. N2
Ostatní	N1 až N2

Uvedené hodnoty v tabulkách vycházejí z konsolidovaného znění TP 114 s účinností od 1. července 2020, které však odpovídají původní předloze z roku 2015. Následující tabulky uvádějí hodnoty z výkresu opakovaných řešení R 116. [18] Ten upravuje úroveň zadržení svodidel na dálnicích a silnicích I. třídy ve správě ŘSD ČR, a to do doby, než vyjde novela TP 114. V novelizovaných TP 114 bude požadována vyšší úroveň zadržení (shodná s R 116), než je tomu v aktuálně platných technických podmínkách.

**Tabulka 5 – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska typu silnice. [18]**

Typ (kategorie) silnice	Úroveň zadržení
Vnější okraje dálnic a silnic I. třídy s dovolenou rychlostí 110 km/h a vyšší	min. H2
Vnější okraje dálnic a silnic I. třídy s dovolenou rychlostí menší než 110 km/h	min. H1
Ostatní	N2

**Tabulka 6 – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska typu silnice. [18]**

Okolí silnice	D, silnice I. třídy ≥ 110 km/h	Silnice I. třídy < 110 km/h	Ostatní
Zdroj pitné vody nebo přehrada/nádrž jako zdroj pitné vody v blízkosti silnice	H3	H2	H2
Dráha železniční nebo tramvajová, souběžná se silnicí, umístěná v blízkosti silnice	H3	H2	H2
Veřejná prostranství s velkou frekvencí chodců	H3	H2	H2
Pozemní stavby	H3	H2	H2
Střední dělicí pás směrově rozdělené silnice	H3	H3	H2
Mezi souběžnými silnicemi, je-li alespoň jedna z nich kat. D nebo sil. I. třídy	H3	H2	H2
Pro oddělení dopravy vedené v různých úrovních při výškovém rozdílu nad 0,60 m (např. ve středním dělicím pásu nebo mezi souběžnými silnicemi)	H3	H2	H2
Postranní dělicí pás mezi průběžnou trasou a kolektorem	H2	H2	H2
Vodní tok nebo nádrž s hl. normální vody přes 2 m	H2	H2	H1
Strmý skalní sráz nebo násyp výšky nad 3 m se sklonem 1:1,5 a strmějším, přesypané mosty	H2	H2	H2
Mostní podpěry a portály (včetně poloportálů)	H2	H2	H1
Jiná nebezpečná místa	H2	H2	H1
Protihluková stěna neuzpůsobená jako záchytné zařízení	H2	H1	N2

**Pracovní šířka** je další základní parametr určující vlastnosti svodidla. Konkrétně tato veličina má následující definici: „Vzdálenost mezi lícem svodidla před nárazem a maximální dynamická poloha kterékoliv hlavní části záchytného systému“. [21] Pro každý typ svodidla je rozdílná pracovní šířka, která je stanovena na základě dynamických testů. Následně se na základě nárazové zkoušky stanoví vzdálenost pevné překážky od líce svodidla, která bude splňovat výsledky testů. Jednotlivé hodnoty pracovních šířek a jejich zařazení do odpovídající třídy uvádí Tabulka 7.

**Tabulka 7 – Úroveň pracovních šířek svodidel. [17]**

Třídy pracovních šířek	Úrovně pracovních šířek
W1	≤ 0,6 m
W2	≤ 0,8 m
W3	≤ 1,0 m
W4	≤ 1,3 m
W5	≤ 1,7 m
W6	≤ 2,1 m
W7	≤ 2,5 m
W8	≤ 3,5 m

**Minimální délka svodidla** (bez výškových náběhů) se pro lanová a ocelová svodidla stanovuje na základě výsledků nárazových zkoušek. Pokud je nejvyšší dovolená rychlost nad hranicí 80 km/h, pak je délka svodidla shodná s výsledky z nárazových zkoušek. V případě rychlosti nižší než 80 km/h může být celková délka svodidla zkrácena až na 70 % délky doporučené nárazovou zkouškou. Minimální délka betonového svodidla se neurčuje z nárazových zkoušek, ale na základě statických výpočtů, výsledků nárazových zkoušek a odborného odhadu. U betonových svodidel se do jejich celkové délky započítává i výškový náběh. Hodnoty minimální délky betonového svodidla jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 8 – Minimální délka betonového svodidla včetně výškových náběhů. [27]**

Úroveň zadržení			
N1 až H1	H2	H3	H4a a H4b
40 m	50 m	70 m	80 m

**Minimální délka před a za překážkou** se odvíjí od druhu svodidla a druhu pevné překážky. U ocelových svodidel, která nepřesahují výšku 0,80 m, líc svodidla je současně vzdálen od tuhého objektu nanejvýš 3 m a daný tuhý objekt vystupuje nad povrch více než 0,40 m, stanovuje minimální délku svodidla Tabulka 9. Pokud však je líc svodidla ve vzdálenosti vyšší než 3 m od pevné překážky, resp. pevná překážka nevystupuje nad povrch více než 0,4 m, tak se délka svodidla stanoví dle běžné minimální délky dle příslušných TPV. Svodidla, jejichž líc je vysoký více než 0,8 m, mají

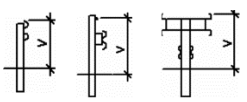
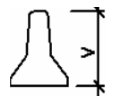
minimální délku před a za pevnou překážkou taktéž stanovenou na základě příslušných TPV pro dané svodidlo. Pro betonová svodidla je tato hodnota stanovena na 28 m (nezapočítávají se výškové náběhy) a dále minimálně 8 m za pevnou překážkou pro směrově dělené komunikace. V případě směrově nedělených PK platí minimální délka 28 m z obou stran.

**Tabulka 9** – Minimální délka ocelového svodidla před a za pevnou překážkou. [28]

Výška svodidla	Délka svodidla před překážkou [m]	
	Dovolená rychlost 61-90 km/h	Dovolená rychlost >90 km/h
Svodidla výšky do 0,80 m	min. 60	min. 100

Poslední parametr, **výška svodidla**, musí být dodržen na dálnicích, silnicích I. třídy a místních rychlostních komunikacích. Pro ostatní typy silnic je tato hodnota pouze doporučena. Konkrétní výška svodidla se odvíjí od typu svodidla. Měří se od zpevněné části vozovky po horní okraj svodnice a její hodnoty definuje Tabulka 10.

**Tabulka 10** – Minimální výška svodidel pro dálnice, silnice I. třídy a místní rychlostní komunikace. [17]

Svodidlo a jeho umístění na PK	Minimální výška [m]			
	Krajnice, je-li požadována úroveň zadržení		Střední dělicí pás, je-li požadována úroveň zadržení	
	H1 a nižší	H2 a vyšší	H2	H3 a vyšší
Ocelové, dřevoocelové a lanové svodidlo 	0,75	0,85	0,85 (0,85*)	1,00
Betonové svodidlo 	0,80	1,00	dle TP 139	
*Výška 0,80 m se týká svodidel úrovně zadržení H2 na přejezdech SDP směr. rozdělených PK				

Výše uvedené návrhové parametry svodidel se vždy vztahují k dané kategorii. V případě konkrétního umísťovaného svodidla je nutné se vždy řídit příslušnými technickými podmínky výrobce. Tyto TPV vychází z TP 114 [17] a již zohledňují výše uvedené základní parametry svodidel. Primárně však TPV obsahují základní informace k typu svodidla a jeho správné provedení. Jedná se například o přesné definování jednotlivých částí, ze kterých se svodidlo skládá (typ sloupku, pásnice, spojovacího materiálu apod.). Dále specifikují, jakých parametrů svodidlo dosahuje, uvádí rozteč sloupků svodidla a další technické parametry potřebné k zajištění správné funkčnosti.



## 5. Bezpečnostní inspekce PK

V úvodní kapitole bylo zmíněno, že za účelem snížení počtu vážných dopravních nehod, a tedy zvýšení bezpečnosti na PK je nutné vytvořit a udržovat bezpečnou silniční síť. Tato síť má dvě vlastnosti, které reprezentují termíny samovysvětlitelnost a promíjivost.

Samovysvětlitelná komunikace je taková komunikace, která již svým provedením splňuje očekávání účastníků a vyvolává i jejich bezpečné chování. Aby toho bylo docíleno, musí být uživateli PK dostatečně, včasné a jasně srozumitelná, konzistentní a v neposlední řadě by měla zahrnovat prvky dopravního zklidňování. [5]

Promíjivá neboli odpouštějící komunikace je komunikace, která se snaží eliminovat, resp. odpustit chybu řidiče. V případě poruchy, nerespektování pravidel silničního provozu, nebo jiného důvodu nestandardního chování, se bude PK snažit snížit následky nehody, respektive jí zabránit. [5]

Kombinací těchto dvou principů vzniká bezpečná komunikace. K dosažení tohoto ideálního stavu má správce komunikace několik nástrojů a jedním z nich je BI PK. BI PK je definována vyhláškou č. 317/2011 Sb., která definuje inspekci jako „*Posouzení dopadů stavebních, technických a provozních vlastností komunikace na bezpečnost silničního provozu při jejím užívání a vyhodnocení rizik, která plynou z vlastností komunikace pro účastníky silničního provozu*“. [6] Cílem inspekce je nejen identifikovat bezpečnostní deficity, ale také doporučit vhodné opatření k sanaci zjištěného rizika. Jedná se však pouze o doporučení a pro správce není závazné. Vyhláška č. 317/2011 Sb. dále stanovuje pravidla pro realizaci BI PK na síti TEN – T, na komunikacích mimo transevropské dopravní síti není tato procedura povinná, je však výrazně doporučována a v současnosti i aplikována. [5][29][30][31][32]

Realizované BI PK definované v kapitole 3, jejichž výsledky slouží jako základní vstupní data pro tuto disertační práci, vycházejí z „*Metodiky provádění bezpečnostní inspekce pozemních komunikací*“. [5] Jako podklad pro zhotovení vybraných inspekcí byla použita videa z průjezdu inspekčním vozidlem. Na dotčených pozemních komunikacích (dálnice, silnice pro motorová vozidla a silnice I. třídy) byl průjezd realizován ve směru a proti směru staničení po celé délce řešených úseků. Účastníci dopravního provozu vnímají PK a její okolí z každého směru jinak. Další důvod snímání obou směrů je to, že co v jednom směru nebezpečné není, v opačném už být může. [2]

Identifikované rizikové faktory na PK v průběhu prohlídky jsou ohodnoceny třemi úrovněmi rizika. Důvod obecného popisu jednotlivých stupňů závažnosti lze spatřovat v nutnosti obsáhnout všechny typy dopravně-bezpečnostních závad, které přicházejí v úvahu, a to při zachování požadované přehlednosti (stručnosti) popisu stupně rizikovitosti. Následující Tabulka 11 níže uvádí charakteristiku jednotlivých závažností rizik.

**Tabulka 11 – Závažnost rizika a jeho charakteristika. [5]**

Závažnost rizika	Charakteristika
Nízká	Rizikový faktor má vliv na vznik kolizních situací, popřípadě zvyšuje subjektivní riziko (snižuje pocit bezpečí) účastníků silničního provozu. Vznik nehod s osobními následky je velmi málo pravděpodobný. Vliv na zhoršení následků případných nehod je minimální.
Střední	Rizikový faktor má vliv na vznik nehod s osobními následky a na zhoršení následků případných nehod. Inspekční tým považuje jeho odstranění za důležité.
Vysoká	Při neodstranění rizika existuje značná pravděpodobnost vzniku dopravních nehod s osobními následky. Vliv na zhoršení následků případných nehod je značný. Inspekční tým považuje jeho odstranění za prioritní a nezbytné.

Stejně jako se přiřazuje úroveň rizika k identifikovaným deficitům, tak i následným sanačním opatřením je přiřazena úroveň náročnosti realizace opatření. Obdobně jako v předchozím případě, i zde je náročnost sanace rozdělena do tří kategorií. Charakteristiku jednotlivých kategorií a jejich popis uvádí Tabulka 12.

**Tabulka 12 – Náročnost sanačních opatření a jejich charakteristika. [33]**

Náročnost sanace	Charakteristika
Jednoduché řešení	Jednoduché řešení (např. prořezání bujné zeleně, která zakrývá svislé dopravní značení, zvýraznění nebo obnova dopravního značení, úprava náběhového dílce svodidel, realizace adekvátního propojení svodidel).
Administrativní řešení	Zvýšená administrativa – návrh umístění vhodného svislého nebo vodorovného značení, popř. drobných stavebních úprav.
Složité řešení	Finančně a časově náročné řešení (např. stavba okružní křižovatky), které v sobě zahrnuje projednávací a schvalovací procesy, tvorbu dokumentace, bezpečnostní audit apod.

## 5.1. Webová aplikace CEBASS

Webová aplikace Centrální evidence bezpečnostních analýz silniční sítě (dále jen „CEBASS“) představuje metodický nástroj sloužící ke zpracování dat získaných při BI PK, jejich prezentaci, ale také hlavně k účinné eliminaci identifikovaných závad. [34]

The screenshot displays the CEBASS web application interface. At the top, there is a navigation bar with options: TEN-T 2015, TEN-T 2020, +/-, REAKCE, MAPA, and PANORAMA. Below this, a red banner indicates 'Deficit přetrvává' (Deficit persists) and the location 'I/16 - Směr staničení | km 179,502 | ID 16259'. A 'Bez reakce' (No reaction) button is visible on the right.

The main content area is divided into several sections:

- Fotodokumentace**: A photograph showing a road winding through a wooded area.
- Specifikace dopravně-bezpečnostního deficitu**:
  - Bezpečnostní deficit**: Záchytné zařízení
  - Kategorie**:
    - 1× - Krátké svodidlo před - mostem (MÚK, křížením PK, vodoteč)
    - 1× - Krátký výškový náběh svodidla
    - 1× - Neadekvátně provedené svodidlo (např. malý poloměr zaoblení, nevhodná poloha umístění)
  - Závažnost rizika**: **Vysoká** (highlighted in red)
  - Poznámka**: Délka svodidla před mostem je 2 m. Neadekvátní propojení výškového náběhu a pásnice svodidla.
- Lokalizace**:
  - GPS**: [50.609199523926N, 15.952144622803E](#)
  - Staničení**: km 179,502
  - Katastrální území**: Extravilán
  - Správce PK**: Správa Hradec Králové
  - Nejvyšší dovolená rychlost**: 90 km/h
- Bezpečnostní opatření**:
  - Návrh opatření**: Náprava provedení záchytného zařízení
  - Poznámka opatření**: Řešit společně se záznamem ID 16257.
  - Náročnost realizace**: **Administrativní řešení** (highlighted in yellow)

**Obrázek 20** – Ukázka záznamu evidence deficitů v aplikaci CEBASS. [34]

Primární výhodou této aplikace je možnost vyjadřování se k jednotlivým deficitům ze strany odpovědného správce PK, který má možnost k identifikovaným deficitům přidat své vyjádření. Může uvést, zda deficit akceptuje nebo neakceptuje, resp. zda je v současné době v řešení, anebo je již vyřešený. V případě potřeby má správce PK možnost přidat k deficitu i vlastní fotografii. Jelikož aplikace pracuje s „živými“ daty, je možné pomocí statistického vyhodnocení efektivně kontrolovat postup prací na odstraňování identifikovaných dopravně-bezpečnostních deficitů. Jednotlivým zavadám je možné přiřadit vlastní štítek pro lepší vyhledávání a filtrování. Aplikace umožňuje také zobrazit uložené záznamy nejen formou standardizovaného tabelárního přehledu, ale také na mapovém podkladu (viz Obrázek 22), kde body v mapě tvoří záznamy jednotlivých deficitů. [34]

### 5.1.1. Formulář pro záznam

Každý nalezený dopravně-bezpečnostní deficit je zaznamenán pomocí webového formuláře (viz Obrázek 21). Do formuláře se vkládá fotodokumentace deficitu, jeho umístění se konkretizuje pomocí staničení, směru jízdy inspekčního vozidla a zeměpisných souřadnic. Lokalita je dále zpřesněna výběrem, zda se jedná o extravilánový nebo intravilánový úsek. V případě intravilánového úseku se uvádí i název obce, kde se deficit nachází. [34]

## Prostor pro vložení fotodokumentace

### Lokalizace

Spravce	Komunikace
<input type="text" value="Vyberte správce"/>	<input type="text" value="Vyberte komunikaci"/>
Lokalita	Obec
<input type="radio"/> Extravilán <input type="radio"/> Intravilán	<input type="text" value="Vyberte obec"/>
Směr staničení	Staničení [m]
<input type="radio"/> Směr staničení <input type="radio"/> Směr proti staničení	<input type="text" value="Staničení v metrech"/>
Nejvyšší dovolená rychlost [km/h]	GPS
<input type="text" value="Vyberte rychlost"/>	<input type="text" value="např. 50.0769108N, 14.7738022E"/>
	<a href="#">MAPY.CZ GPS</a>

### Specifikace dopravně-bezpečnostního deficitu

Kategorie bezpečnostního deficitu			
<input type="text" value="Vyberte kategorii deficitu"/>			
Kategorie bezpečnostního deficitu	Typ deficitu	Počet / délka [m]	Vzdálenost od VDZ [m]
<input type="text" value="Vyberte deficit"/>	<input type="radio"/> Bodový <input type="radio"/> Liniový	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text" value="Vyberte deficit"/>	<input type="radio"/> Bodový <input type="radio"/> Liniový	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text" value="Vyberte deficit"/>	<input type="radio"/> Bodový <input type="radio"/> Liniový	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text" value="Vyberte deficit"/>	<input type="radio"/> Bodový <input type="radio"/> Liniový	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text" value="Vyberte deficit"/>	<input type="radio"/> Bodový <input type="radio"/> Liniový	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<a href="#">GOOGLE</a>	<a href="#">MAPY.CZ</a>

Poznámka deficit	Závažnost rizika
<input type="text"/>	<input type="radio"/> Nízká
	<input type="radio"/> Střední
	<input type="radio"/> Vysoká

### Opatření

Návrh opatření	Závažnost rizika
<input type="text" value="Vyberte opatření"/>	<input type="radio"/> Jednoduché řešení
Poznámka opatření	<input type="radio"/> Administrativní řešení
<input type="text"/>	<input type="radio"/> Složitě řešení

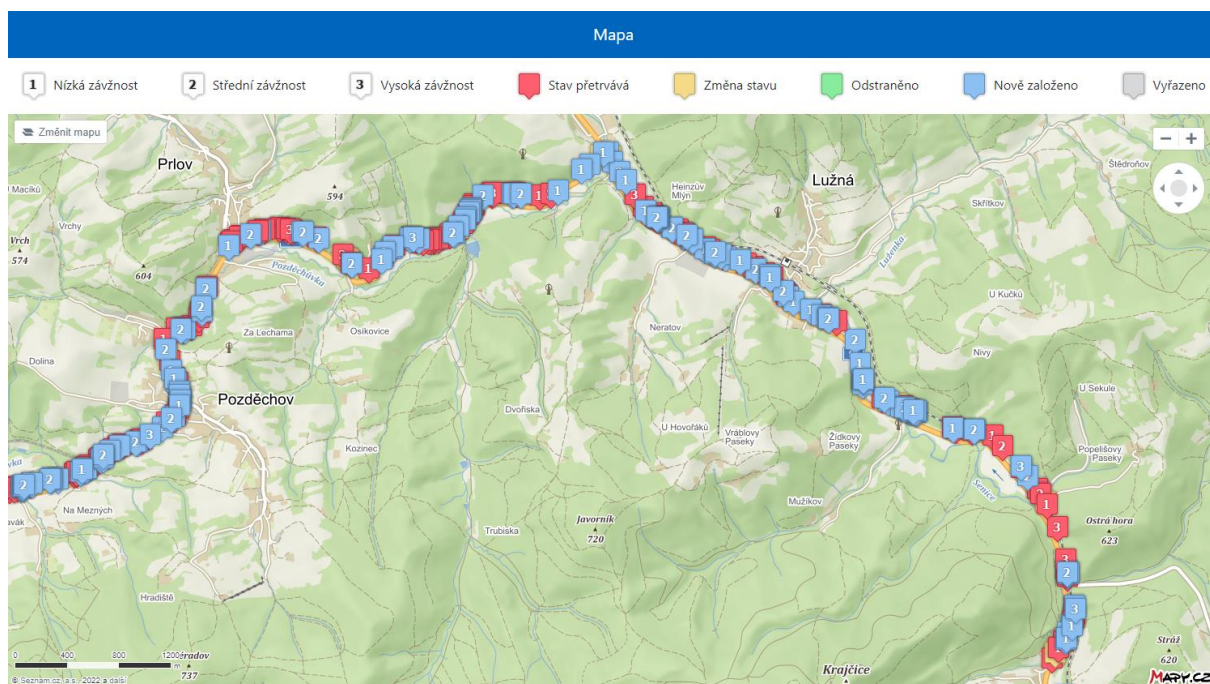
[ULOŽIT NESTANDARDNĚ](#)

[ULOŽIT STANDARDNĚ](#)

CEBASS

**Obrázek 21 – Ukázka formuláře pro zadávání deficitů. [34]**

Kategorie a typ deficitu spolu se sanačním opatřením jsou ve formuláři rozšířené o doplňující informace (poznámka, nejvyšší dovolená rychlost). Taktéž je uveden charakter deficitu, tedy zda je bodový nebo liniový. U bodového deficitu je uvedena četnost, u liniového délka (s přesností na 5 m). V kategorii pevná překážka a reklamní zařízení se udává i vzdálenost objektu od VDZ V 4 „Vodicí čára“ (v případě její absence se bere vzdálenost od kraje zpevněné části PK). Ve spodní části formuláře je prostor pro doporučení, které specifikuje vhodný způsob sanování nalezeného deficitu spolu s určením náročnosti opatření (viz Tabulka 12).



**Obrázek 22** – Prezentace deficitů na mapovém podkladu. [34]

### 5.1.2. Kategorie sledovaných deficitů

Pro dosažení lepší přehlednosti a srozumitelnosti prezentace zjištěných rizik na komunikaci se deficity člení do základních skupin, které odpovídají charakteru zaznamenaných deficitů, ale taktéž zohledňují způsoby navržené sanace. Celkem bylo vytvořeno 14 základních skupin:

- Pevná překážka
- Záchytné zařízení
- Křižovatka
- Mezikřižovatkový úsek
- Sjezd / samostatný sjezd / parkoviště
- Železniční přejezd
- Autobusová zastávka
- Přechod pro chodce
- Přístupové podmínky pro chodce
- Technický stav vozovky
- Těleso PK
- Přechod z extravilánu do intravilánu
- Opatření pro zvýšení plynulosti provozu
- Reklamní zařízení

Do výše zmíněných kategorií jsou následně zahrnuty všechny konkrétní typy deficitů, kterých je celkem 243 druhů. Z důvodu lepší názornosti a přehlednosti byly jednotlivé typy deficitů zařazeny dle jejich charakteru a povahy do tematicky shodných celků, které tvoří tzv. „nadřazenou“ skupinu k jednotlivým dopravně-bezpečnostním deficitům. Tato práce je zaměřena výhradně na závady z oblasti záchytných systémů, proto jsou níže detailně rozepsány závady pouze z této kategorie:

- Chybějící svodidla (Absence svodidla),
- Neadekvátní přechod mezi svodidly (Neadekvátně realizovaný přechod mezi různými druhy svodidel / Neadekvátně realizovaný přechod mezi svodidly),
- Krátká svodidla před – SDZ (Krátké svodidlo před – dopravním značením na nedeformovatelné konstrukci / Krátké svodidlo před – dopravním značením na portálové konstrukci),
- Krátká svodidla před – SOS hláskami (Krátké svodidlo před – SOS hláskou),
- Krátká svodidla před – mostními objekty (Krátké svodidlo před – mostem (MÚK, křížením PK, vodotečí)),
- Krátké výškové náběhy svodidel (Krátké svodidlo u příčného propustku, krátký výškový náběh / Krátké svodidlo, krátký výškový náběh / Krátký výškový náběh svodidla),
- Chybné (nevhodné) provedení svodidel (Neadekvátně realizovaný začátek, resp. konec svodidel / Neadekvátně provedené svodidlo (např. malý poloměr zaoblení, nevhodná poloha umístění)),
- Neadekvátní typ/pracovní šířka svodidel (Nedodržení min. vzdálenosti 1,0 m za svodidlem / Nevhodný typ svodidla / Neadekvátní úroveň zadržení),
- Krátká svodidla před – nosnými pilíři (Krátké svodidlo před – nosným pilířem v okolí komunikace),
- Krátká svodidla před – pevnými překážkami (Krátké svodidlo před – čelem protihlukové zdi / Krátké svodidlo před – pevnou překážkou),
- Krátká svodidla – před stromy (Krátké svodidlo před – stromem),
- Krátká svodidla před – ostatní (Krátké svodidlo před – místem nebezpečí (např. hlubina, okolí PK) / Krátké boční svodidlo v úseku, kde dochází k souběhu dvou komunikací / Krátké svodidlo u příčného propustku),
- Technický stav svodidel (Nízké svodidlo, nízká výška pásnice svodidla / Poškozené boční svodidlo / Poškozené středové svodidlo / Poškozený výškový náběh svodidla / Přerušené boční svodidlo / Přerušené středové svodidlo),
- Svodidla neplní funkci – lze odstranit (Neopodstatněně umístěné svodidlo – neplní svoji ochrannou funkci).

## 5.2. Závady záchytných zařízení identifikovaných v rámci BI PK

Zdrojem dat pro návrh modelu a jeho validaci byly výstupy realizovaných BI PK, jejichž výčet uvádí kapitola 3. Ve většině případů se jedná o BI PK silnic I. tříd, které byly prováděny ve vybraných krajích. Pro ukázkou lépe poslouží BI PK silniční sítě TEN-T z roku 2015. Data z této inspekce z důvodu rozdílného formátu nemohla být zcela využita, avšak lépe umožňují názornou prezentaci druhů závad týkajících se záchytných systémů. Tato inspekce byla realizována na výrazně delší silniční síti (přibližně 2 400 km) a byla zpracována jedním týmem. V průběhu realizace BI PK v jednotlivých krajích již docházelo k průběžnému obměňování inspekčního týmu a současně tyto inspekce byly realizovány v rozmezí pěti let. Proto lze BI PK TEN-T sítě považovat oproti jednotlivým krajům za statisticky více vypovídající. Celkově bylo v rámci této inspekce identifikováno 18 680 dopravně-bezpečnostních deficitů, kdy téměř 20 % záznamů je z kategorie Záchytné zařízení.

V rámci této kategorie byla více než polovina deficitů ohodnocena vysokým rizikem. Střední riziko bylo stanoveno u jedné třetiny evidovaných závad a přibližně 12 % záznamů bylo ohodnoceno nejnižším stupněm závažnosti. Konkrétní počty a stupeň závažnosti pro jednotlivé kategorie závad záchytných zařízení uvádí následující Tabulka 13. Z podstaty funkce a užití prvků bezpečnostních záchytných systémů je zřejmé, že pro jejich správnou funkci (např. zachycení vozidla) je vyžadován jejich bezchybný stav. V případě vzniku dopravní nehody, u které dojde k nárazu do chybně realizovaného, resp. poškozeného záchytného zařízení, lze odůvodněně předpokládat závažnější následky této události.

**Tabulka 13** – Typy deficitů záchytných systémů a jejich závažnost. [34]

Kategorie deficitů	Závažnost rizika			Počet deficitů
	Vysoká	Střední	Nízká	
Neadekvátní typ / pracovní šířka svodidel	458	158	3	619
Krátké výškové náběhy svodidel	186	295	7	488
Nevhodný přechod mezi svodidly	193	98	168	459
Krátká svodidla na – mostních objektech	182	78	7	267
Chybějící svodidla	113	108	34	255
Chybné (nevhodné) provedení svodidel	112	88	46	246
Krátká svodidla před – nosnými pilíři	163	30	2	195
Krátká svodidla před – stromy	69	60	1	130
Krátká svodidla před – SOS hláskami	56	36	32	124
Krátká svodidla před – pevnými překážkami	70	21	3	94
Technický stav svodidel	45	19	19	83
Svodidla neplní funkci – lze odstranit	7	5	51	63
Krátká svodidla před – ostatními objekty	33	18	3	54
Krátká svodidla před – SDZ	23	10	0	33
<b>Σ</b>	<b>1 710</b>	<b>1 024</b>	<b>376</b>	<b>3 110</b>

Mezi nejčastější deficity lze zařadit nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem (Obrázek 23 a Obrázek 24). Tato bezpečnostní závada je způsobena nedodržáním minimální pracovní šířky konkrétního svodidla, kdy se z pohledu technického předpisu pevná překážka vyskytuje v nevyhovující vzdálenosti od pásnice svodidla. V případě nárazu motorového vozidla do svodidla v místě nedodržení této vzdálenosti, může dojít ke kontaktu s tuhým objektem, což může generovat závažnější následky dopravní nehody.



**Obrázek 23** – Portálová konstrukce se nachází v pracovní šířce svodidla  
| TEN-T | D1 | ID 22 535.<sup>1</sup>



**Obrázek 24** – Mostní pilíř nacházející se v pracovní šířce ocelového svodidla  
| TEN-T | D1 | ID 22 238.

Další častý deficit představuje krátký výškový náběh svodidla (Obrázek 25 a Obrázek 26). V případě najetí vozidla na krátký výškový náběh může dojít k vymrštění („katapultaci“) vozidla do výšky a následně tak ke vzniku horších následků (např. převrácení vozidla na střechu, náraz do pevné překážky částí vozidla, kde nejsou defomační zóny), než u správně provedeného výškového náběhu. Minimální délka výškového náběhu je odbornou veřejností stanovena na 8 m, v ideálním případě je pak doporučována délka 12 m. Zde je nutné se primárně řídit TPV výrobce svodidel a realizovat takové výškové náběhy, které jsou pro dané svodidlo schválené. [2]



**Obrázek 25** – Krátký výškový náběh ocelového svodidla o délce 2 m  
| TEN-T | I/35 | ID 13 013.



**Obrázek 26** – Ukázka svodidla s krátkým výškovým náběhem (o délce 4 m)  
| TEN-T | I/35 | ID 38 511.

<sup>1</sup> U fotografií dopravně-bezpečnostních deficiť, které byly pořízeny v rámci BI PK, je ve zkrácené formě uvedena jejich bližší lokalizace (typ inspekce, označení silnice, unikátní ID v rámci BI PK).



V současnosti se na odborné úrovni řeší ideální typ začátku svodidla. Samotný výškový náběh ocelového svodidla není z pohledu bezpečnosti motorizovaných účastníků zcela ideální. Výškový náběh, který splňuje veškeré požadavky stanovené výrobcem a legislativou, může přesto působit jako zhoršující faktor v případě nehodové události (např. vymrštění vozidla, vniknutí pásnice do interiéru vozidla). V posledních letech, primárně v zahraničí (nejvíce v USA, severních a západních státech EU), se začínají využívat alternativní způsoby ukončení svodidel, kdy místo výškových náběhů se osazují speciálně upravené terminály. [7][8]



**Obrázek 27** – Alternativní ukončení svodidla (terminál) Primus P2. [35]



**Obrázek 28** – Alternativa k výškovému náběhu s možností absorbování energie kolidujících vozidel SafeEnd. [35]

Na třetím místě z pohledu četnosti výskytu závad je neadekvátní přechod mezi svodidly. Pod tímto názvem jsou obsaženy deficity, kde bylo identifikováno chybné vzájemné propojení mezi svodidly stejného druhu, tak i mezi svodidly různých typů (např. přechod mezi ocelovým a betonovým svodidlem – Obrázek 29 a Obrázek 30). V případě dopravní nehody, kdy vozidlo narazí do takto chybně provedeného propojení, nelze očekávat od záchytného systému jeho plnou funkčnost a může dojít k závažnějším následkům na zdraví osob a majetku.



**Obrázek 29** – Neadekvátní přechod mezi ocelovým a betonovým svodidlem  
| TEN-T | DO | ID 211.



**Obrázek 30** – Vzájemně nepropojená ocelová svodidla před mostem  
| TEN-T | I/3 | ID 13 675.

Častým deficitem v rámci BI PK TEN-T sítě bylo taktéž krátké svodidlo před místem zvýšeného nebezpečí (např. mostní objekty, nosné pilíře mostů, pevné překážky – Obrázek 31 a Obrázek 32). Aby svodidlo plnilo svou funkci, je nutné dodržet minimální délku svodidla, a hlavně minimální délku svodidla před pevnou překážkou, resp. jiným rizikovým místem. V případě nedostatečné délky předmětného svodidla a vyjetí vozidla před jeho začátkem lze očekávat vznik nehody s vážnými následky na zdraví.



**Obrázek 31** – Krátké svodidlo před nosným pilířem mostní konstrukce  
| TENT-T | D6 | ID 1 031.

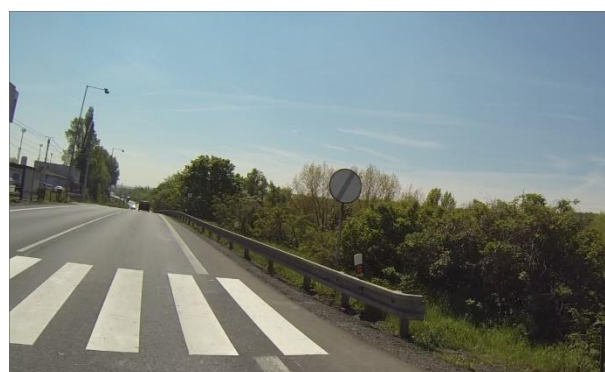


**Obrázek 32** – Krátké ocelové svodidlo před pevnou překážkou (stromem)  
| TEN-T | I/35 | ID 35 163.

Absence výškového náběhu ocelového svodidla představuje v rámci realizovaných BI PK méně častý, ale o to závažnější deficit. Svodidlo, které není ukončeno výškovým náběhem (Obrázek 33 a Obrázek 34), resp. na jeho konci je pouze neochráněná svodnice, představuje vysoké riziko pro ostatní účastníky dopravního provozu. V případě dopravní nehody pak existuje vážné riziko vniknutí volné svodnice do interiéru vozidla a následné způsobení závažných následků na zdraví.



**Obrázek 33** – Absence výškového náběhu ocelového svodidla v místě sjezdu  
| TENT-T | I/49 | ID 8 194.



**Obrázek 34** – Pohled na začátek ocelového svodidla bez výškového náběhu  
| BI UK | I/27 | ID 1 432.

Obecně lze konstatovat, že se zachytná zařízení instalují do míst, kde je zvýšené nebezpečí nárazu např. do pevných překážek nebo sjetí z komunikace. Tudíž se očekává, že v případě kolizní situace dojde k nárazu vozidla do svodidla, která jsou k tomu určena. To je primární důvod, proč je na tato bezpečnostní zařízení kladen

vysoký požadavek na jejich funkčnost a správné provedení. V případě nalezení závažné bezpečnostní závady v rámci BI PK (ohodnocené např. vysokou závažností) je nutné, aby byla bezodkladně sanována. **V tomto případě metodicky správné, resp. standardizované hodnocení představuje klíčovou roli, aby byl správce schopen tyto závady rychle, efektivně a systematicky odstraňovat.**

Jak bylo v úvodu nastíněno, ze strany ABPK opakovaně dochází k rozdílnému ohodnocení stejných závad identifikovaných v rámci BI PK. Zde je však nutné podotknout, že rozdílné ohodnocení závažnosti evidovaných závad není, resp. nemusí být chyba hodnotitelů (ABPK), kteří BI PK provádějí. Samotné ohodnocení je z velké části subjektivní a významný vliv na něj má i kvalifikace auditora a jeho zkušenosti. To je také jeden z důvodů, proč je dána povinnost provádět inspekci v počtu minimálně dvou osob, přičemž jedním z nich musí být auditor bezpečnosti PK [5]

### 5.3. Katalogové listy svodidel

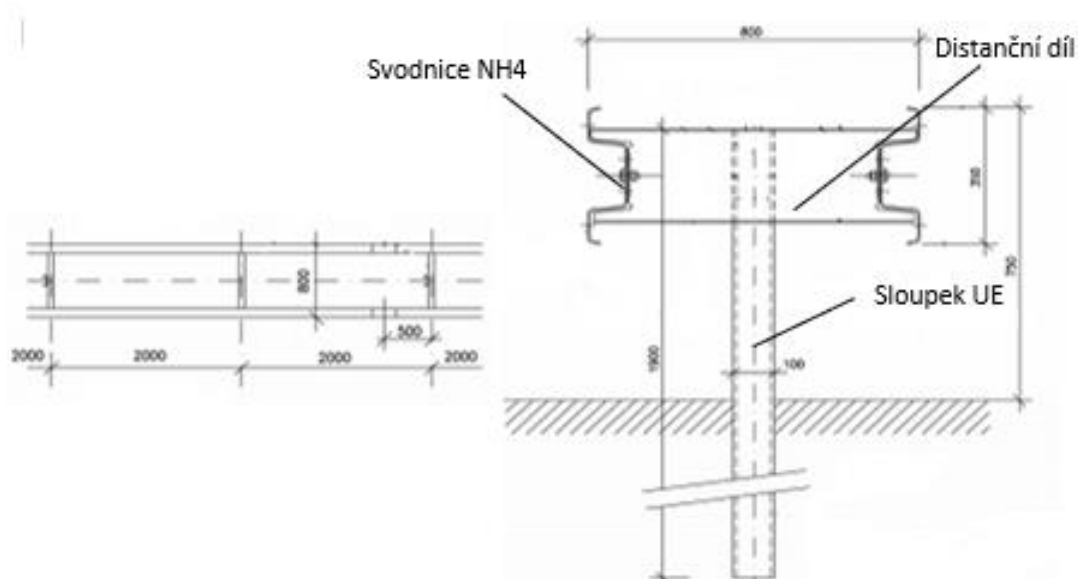
Ověření správného konstrukčního provedení záhytných systémů (svodidel) je z důvodu velkého počtu jednotlivých druhů problematické. Pokud se nejedná o viditelnou obecnou závadu (např. absence výškového náběhu, mechanicky poškozené svodidlo po dopravní nehodě), je nutné kontrolovat provedení podle příslušného TPV. Jedná se například o pracovní šířku svodidla, kdy je nejdříve nutné určit typ svodidla a na základě toho zjistit jeho třídu a úroveň pracovní šířky. Obdobná situace je u dalších částí svodidla, kdy je nutná znalost jeho typu (např. typ použitého spojovacího materiálu, rozestup sloupků apod.).

Pro snazší určení typu svodidla, a tedy i přesnější identifikaci dopravně-bezpečnostního deficitu, byly v rámci této práce vytvořeny katalogové listy svodidel (viz Obrázek 35). Tyto listy obsahují nejčastěji se vyskytující ocelová svodidla na primární silniční síti. Aktuálně katalogové listy obsahují 41 typů svodidel, kdy jsou obsažena svodidla od úrovně zadržení N2 až do úrovně H4. Tvorba katalogových listů byla finančně podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/199/OHK2/3T/16.

Pro každý typ svodidla jsou uvedeny jeho základní parametry, které vychází z příslušných TPV. Jedná se o úroveň zadržení, pracovní šířku, vzdálenost líce svodidla od pevné překážky, výšku svodidla a minimální délku svodidla. Součástí listů jsou schematické nákresy svodidel s popisem jednotlivých komponent (svodnice, sloupky a další části). Dále je ze schématu patrná rozteč sloupků, které se obvykle instalují po 4 m, 2 m nebo 1 m. Pro přesné určení typu svodidla obsahují katalogové listy vedle jeho schematického nákresu i detailní ilustrační fotodokumentaci.

Důležitou součástí katalogových listů je i úvodní přehled veškerých technických a legislativních požadavků pro realizaci a umístování svodidel. Jsou zde zahrnuty veškeré obecné parametry svodidel, které jsou vyžadovány dle typu PK. Na základě tohoto obecného shrnutí je možné určit, jaké úrovně zadržení má dané svodidlo v konkrétním úseku silnice dosahovat, jak má být před pevnou překážkou dlouhé apod.

# OSNH4/H1



## Parametry svodidla

Úroveň zadržení	H1	
Pracovní šířka [m]	2,06 (W6)	
Vzdálenost líce svodidla od pevné překážky [m]	2	
Výška svodidla [m]	0,750	
Minimální délka svodidla [m]	≤ 80 [km/h]	44
	> 80 [km/h]	60

**Obrázek 35** – Ukázka katalogového listu svodidel typu OSNH4/H1.

Katalogové listy jsou koncipovány tak, aby šlo rychle a jednoduše doplnit např. nový typ svodidla, který byl schválen a uveden do provozu. Jejich aktuální podoba plně dostačuje pro potřeby této disertační práce, nicméně katalogové listy mají potenciál na její přesah. Již při jejich vytváření byly katalogové listy uplatněny v rámci BI PK TEN-T sítě v roce 2021, kdy byly využity týmem ABPK pro kontrolu správného provedení svodidel na primární silniční síti. Na základě pozitivní zkušenosti se počítá s jejich opětovným použitím a začleněním mezi běžné pomůcky týmu ABPK. Tomu napomůže fakt, že se již v současnosti pracuje na dalším rozšíření katalogových listů o další prvky bezpečnostních zařízení. Mimo doplnění dalších aktuálně používaných typů ocelových svodidel a přidání i jiných typů (např. mostní, zábradelní, betonová), probíhá dokončení katalogových listů pro tlumiče nárazu.

Kromě uplatnění katalogových listů v této disertaci a na pracovišti autora (ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znalectví v dopravě) se předpokládá jejich zpřístupnění odborné veřejnosti a jejich prezentace v rámci pravidelného školení auditorů BI PK.

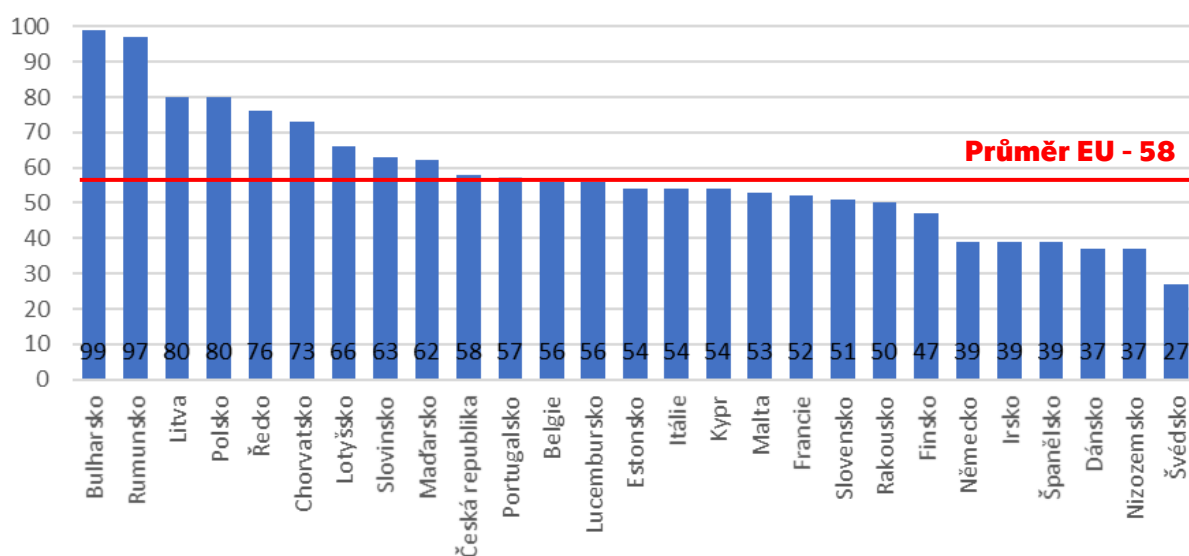
Další pole možného uplatnění katalogových listů je v oblasti BIM projektování silničních staveb. BIM neboli Informační model budovy je způsob, jak přidat a zachovat informace ve stavebním projektu od jeho zrodu, přes dokončení a jeho následnou správu, až do konce jeho životnosti. Je to proces vytváření a správy dat o stavebním objektu během celého jeho životního cyklu, ke kterému mohou mít přístup rozdílné složky odborné veřejnosti podílející se na výstavbě či dozoru nad danou stavbou. [36]

Vytvořená databáze nejčastěji se vyskytujícími svodidly by mohla vhodně posloužit jako podpůrný nástroj, a to při modelování jednotlivých prvků zachytých systémů do BIM prostředí. Grafické modely je možné podle této databáze zkonstruovat, nicméně je třeba realizovat rozšíření databáze o podrobné parametry související např. se značkou výrobce, cenou, hmotností apod. [37]

Katalogové listy svodidel jsou součástí disertační práce jako Příloha 1.

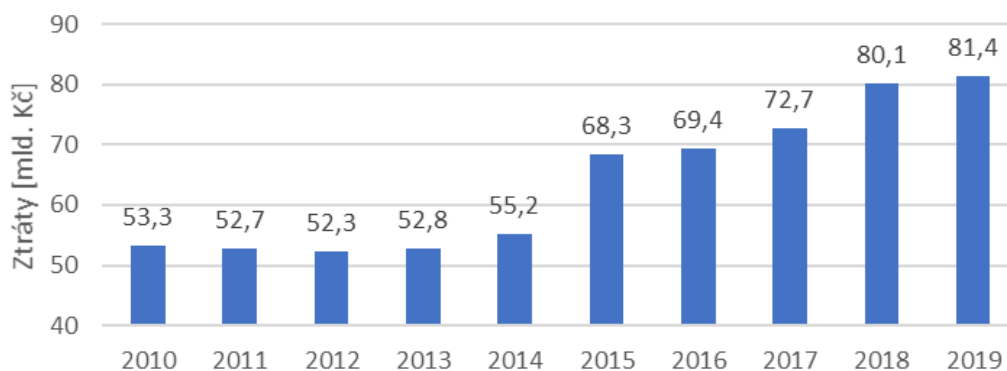
## 6. Nehodovost

Snaha o redukci vážných dopravních nehod, mezi které patří nehody s usmrcením a s těžkým zraněním, je uplatňována ve všech státech EU. Mezi nejpokročilejší státy s nejnižší dopravní nehodovostí na PK, lze zařadit Švédsko (27 usmrcených osob na milion obyvatel), Nizozemsko a Dánsko (37 usmrcených osob na milion obyvatel). Právě ve Švédsku byl založen projekt Vize Nula. [1] Naopak mezi nejhorší státy patří Bulharsko a Rumunsko s 99 a 97 usmrcenými osobami na milion obyvatel. Česká republika opisuje průměr zemí EU. Jednotlivé hodnoty za rok 2016 pro každý stát jsou uvedeny v následujícím grafu.



**Graf 1** – Počet DN na milion obyvatel ve státech EU za rok 2016. [38]

Jen za rok 2019 v ČR zemřelo důsledkem dopravních nehod 617 osob (úmrtí do 30 dnů od nehody) a 2 061 osob bylo těžce zraněno. [15] Pokud se k tomu započítají i lehce zraněné osoby a nehody pouze s hmotnou škodou, celková výše celospolečenské ztráty za tento rok činila 81,4 miliard korun, což je přibližně 1,4 % hrubého domácího produktu. [14][39] Ač je snaha o zvyšování bezpečnosti na PK patrná, rostoucí trend počtu zaznamenaných dopravních nehod v posledních několika letech tomu neodpovídá.



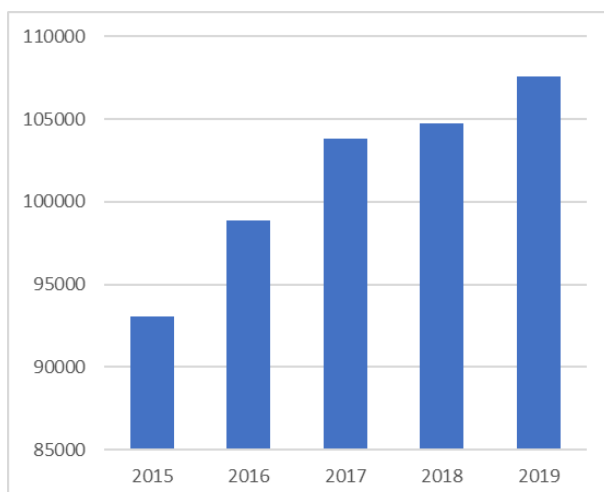
**Graf 2** – Vývoj ekonomických ztrát ze silniční nehodovosti v ČR v letech 2010–2019. [39]

Graf výše znázorňuje negativní rostoucí trend vývoje celkové celospolečenské ztráty z dopravních nehod v ČR za posledních deset let. Celková výše ztrát představuje finanční dopady na ekonomiku v důsledku evidovaných nehodových událostí v rámci jednoho roku. Částka obsahuje jak přímé škody (zdravotní péče, poškození majetku, zásah IZS apod.), tak i nepřímé, jako je např. ztráta za produkci (kolona vlivem DN) a jiné sociální výdaje. V návaznosti na celkovou roční ekonomickou ztrátu byla vyčíslena i škoda dle typu (závažnosti) nehody. V roce 2019 je evidováno zvýšení u téměř všech typů následků nehod oproti předchozím rokům, a to zejména vlivem zvyšování cen a inflace v rámci všech sektorů. Výši škod udává následující tabulka. [39]

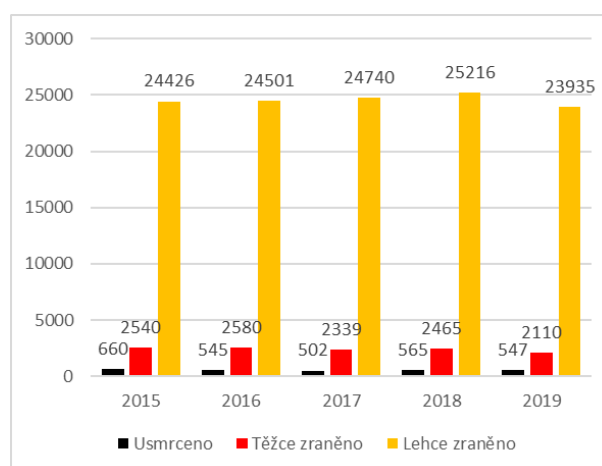
**Tabulka 14 – Výše ekonomických ztrát dle typu nehody pro rok 2019. [39]**

Následky dopravní nehody	Celospolečenská ztráta
1 usmrčená osoba	25 041 000 Kč
1 těžce zraněná osoba	5 567 000 Kč
1 lehce zraněná osoba	809 000 Kč
pouze hmotná škoda	405 000 Kč

Graf 3 znázorňuje celkový vývoj všech evidovaných dopravních nehod PČR v ČR. Je z něj patrný negativní vývojový trend, který pouze potvrzuje výsledky vývoje ekonomických ztrát z nehodovosti. Graf 4 vpravo pak znázorňuje druh a počet zraněných osob za jednotlivé roky. Z tohoto grafu je patrný konstantní trend nehodových událostí s usmrcením a s těžkým zraněním. Současně je zde vidět mírný vzestup nehod s lehkým zraněním. Výjimku tvoří poslední sledovaný rok 2019, který v případě těžkých a lehkých zranění vykazuje výrazně nižší hodnoty.



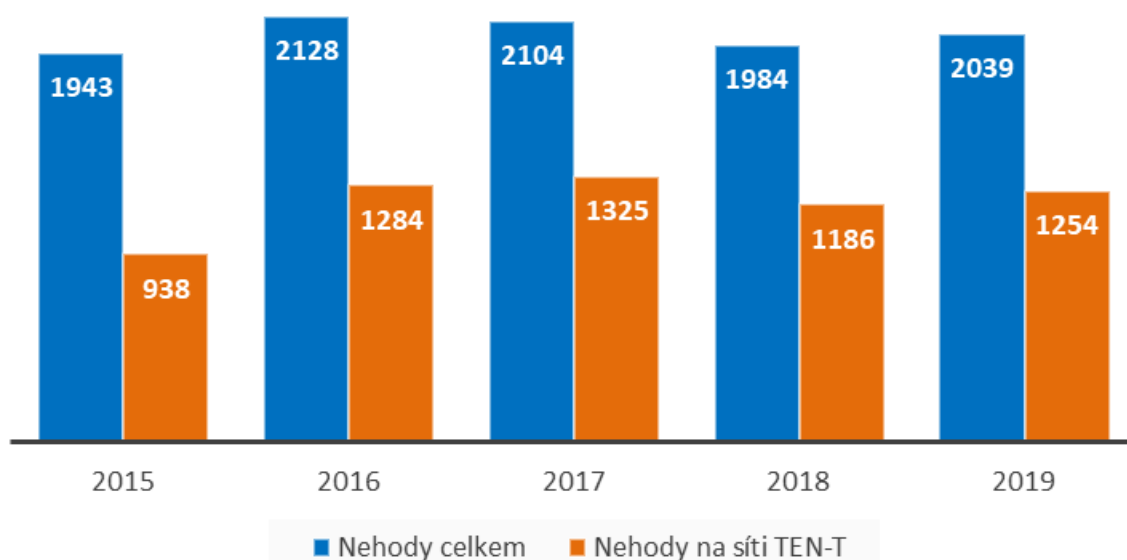
**Graf 3 – Vývoj celkového počtu dopravní nehodovosti za období 2015–2019. [14]**



**Graf 4 – Detailní přehled počtu typů zranění za období 2015–2019. [14]**

## 6.1. Dopravní nehodovost v rámci silničních záchytných systémů

Za ucelené sledované období posledních 5 let, tj. za rok 2015 až 2019<sup>2</sup> bylo celkově na silniční síti v ČR zaznamenáno 10 198 nehodových událostí [14], u kterých byl PČR stanoven druh srážky z kategorie nárazu do záchytného zařízení. Z tohoto souboru nehodových událostí bylo téměř 60 % případů (5 987 DN) evidováno na silniční síti TEN-T. Konkrétní počty DN za jednotlivé roky uvádí následující graf.



**Graf 5** – Počet dopravních nehod (kolize se záchytným zařízením) ve sledovaném období 2015–2019. [14]

Náraz do záchytného systému, v tomto případě konkrétně do svodidla, nelze v obecné rovině považovat za negativní skutečnost. Pokud by na místě svodidlo nebylo, lze důvodně očekávat naopak závažnější následky případné nehody, kdy by vozidlo místo do svodidla narazilo např. do pevné překážky.

Pro správnou funkci těchto bezpečnostních prvků je nezbytný jejich bezchybný technický stav a adekvátní provedení. V případě, kdy nebudou tyto předpoklady záchytné systémy splňovat, je možno očekávat nejen zhoršení celkových následků dopravních nehod, ale také i obecné zhoršení celkové úrovně bezpečnosti v daném místě. Tedy, že svodidla svým chybným provedením mohou výjimečně i vytvářet rizikové situace. Pro představu jsou níže uvedeny příklady, kdy špatným provedením svodidla vznikla nehoda s výrazně závažnějšími následky.

V kapitole 5.2 je uveden výčet nejčastějších evidovaných dopravně-bezpečnostních deficitů v rámci sítě TEN-T, které se týkají silničních záchytných systémů. Nejčastěji vyskytující se závada reprezentuje krátký výškový náběh, resp. velmi vysoká závažnost byla stanovena i v případě kompletní absence výškového náběhu. Tyto konkrétní

<sup>2</sup> Data za rok 2020 a 2021 byly ovlivněny celosvětovou pandemií Covid-19, proto nebyly zahrnuty do disertační práce.



deficity představují jednu z nejčtetnějších skupin ovlivňující nehody s nárazem do záchytného systému. Obrázek 36 ukazuje dopravní nehodu, kde vozidlo najelo na krátký výškový náběh ocelového svodidla, které vniklo do motorové části automobilu. Obrázek 37 ukazuje fotografii z nehodové události, kdy vozidlo vybočilo z hlavní PK a následně narazilo do ocelového svodidla. Vlivem absence výškového náběhu u předmětného ocelového svodidla, došlo v důsledku kolize k vniknutí pásnice až do interiéru automobilu.



**Obrázek 36** – Čelní náraz do svodidla s krátkým výškovým náběhem. [40]



**Obrázek 37** – Náraz do ocelového svodidla bez výškového náběhu. [40]

Další ukázkou chybně realizovaných ocelových svodidel znázorňuje Obrázek 38. V tomto případě se jedná o podjetí svodidel, které vzniká v případě, kdy za svodidlem není dodržena dostatečná šíře nezpevněné krajnice vozovky. V inkriminovaném místě naopak bezprostředně za svodidlem začíná intenzivní klesání, kdy se v uvedeném případě jedná o hráz vodní nádrže. Následující Obrázek 39 dokresluje nehodovou událost, kdy vozidlo v místě směrového oblouku narazilo do stromu nacházejícího se v těsné blízkosti ocelového svodidla. V důsledku nedodržení pracovní šířky svodidla se vozidlo o strom odrazilo na opačnou stranu silnice, kde se zaklíněným řidičem shořelo.



**Obrázek 38** – Podjetí ocelového svodidla na hrázi vodní nádrže. [40]



**Obrázek 39** – Stromy v pracovní šířce svodidla ve směrovém oblouku. [40]

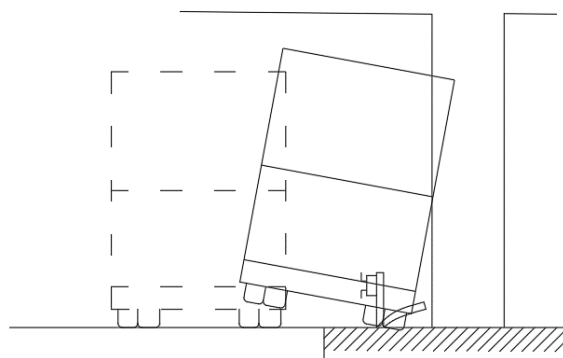
Za vážnou dopravní nehodu lze označit případ, kdy se řidič těžkého nákladního automobilu (dále jen „TNA“) střetl s betonovým svodidlem v blízkosti pilíře mostní konstrukce na levé straně směrově rozdělené PK. Z důvodu vysokého těžiště TNA došlo

při nárazu do svodidla k jeho naklonění na levou stranu. Následkem bočního vychýlení byl náraz horní levé části kabiny řidiče do mostního pilíře (viz Obrázek 40 ). Tento typ dopravních nehod poukazuje na problematiku rozdílné výšky těžiště automobilů a jejich naklánění při střetu se svodidlem.

Aktuálně se za účelem vyšší ochrany řidičů TNA a obecně všech vozidel s vyšší hmotností a s vyšším těžištěm přistupuje k instalaci silničních záchytných systémů s vyšší úrovní zadržení. To lze považovat za pozitivní skutečnost, nicméně je třeba poznamenat i možná negativa. Např. při nárazu menšího osobního vozidla je svodidlo s vysokou úrovní zadržení více tuhé. To znamená, že zde nefunguje efekt mírného vychýlení svodidla v podélné ose a pozvolné navrácení kolidujícího automobilu zpět do prostoru vozovky – naopak dochází následkem prudkosti nárazu v kombinaci s vyšší tuhostí svodidla k jeho „odražení“. Řidič takového vozidla má fakticky výrazně menší možnost získat znovu kontrolu nad řízením vozidla a zároveň vlivem vzniku výrazného bočního přetížení na posádku dochází k rozvoji dalších poranění.



**Obrázek 40** – Ukázka DN po střetu kabiny TNA s mostním pilířem. [41]



**Obrázek 41** –Zobrazení rizikového náklonu TNA při nárazu do svodidla

Problematiku výšky svodidla, resp. převrácení TNA při nárazu do svodidla potvrzuje další dopravní nehoda, která se odehrála na sjezdu z dálnice D10. Řidič nákladního automobilu narazil ve směrovém oblouku do ocelového svodidla, na které se v důsledku vyššího těžiště následně TNA převrátil. Následky dopravní nehody uvádí následující obrázky níže.



**Obrázek 42** – Převrácený těžký nákladní automobil na sjezdu z dálnice D10. [40]



**Obrázek 43** –Další pohled na převrácený těžký nákladní automobil. [40]

Za velmi rizikový dopravně-bezpečnostní deficit lze označit svodidlo s nízkou úrovní zadržení, které dle parametrů neodpovídá požadavkům TP 114 [17], resp. výkresu opakovaných řešení R 116. [18] To dokládá dopravní nehoda linkového autobusu, která se stala na silnici I/16 na okružní křižovatce v Mělníku (viz Obrázek 44 a Obrázek 45). Poté, co ztratil řidič kontrolu nad řízením autobusu, došlo k nárazu do ocelového svodidla s úrovní zadržení H1 (JSNH4/H1). Autobus následkem střetu záchytné zařízení prorazil a sjel z mostu. V době nehody (únor 2019) byla v místě dopravní nehody požadována minimální úroveň zadržení (v místě mostních objektů) H2. [17][18]



**Obrázek 44** – Proražená ocelová svodidla s úrovní zadržení H1. [40]



**Obrázek 45** – Pohled na linkový autobus, který prorazil svodidla na mostě. [40]

Jak bylo na začátku této kapitoly uvedeno, je pro správnou funkci silničních záchytných systémů vyžadován jejich správný návrh a realizace. Pouze funkční, a tedy správně navržené svodidlo bez dalších závad, zajistí bezpečný průběh postřetového děje kolidujícího vozidla. Absence adekvátního provedení svodidla pak může ohrozit všechny účastníky silničního provozu, jak je na výše prezentovaných dopravních nehodách znázorněno.

## 7. Korelace nehodových dat s bezpečnostními deficity

Jedním z hlavních cílů disertační práce je správné stanovení a následné ověření rizikivosti dopravně-bezpečnostních deficitů<sup>3</sup>, které se týkají silničních záchytných systémů, konkrétně svodidel. Za tímto účelem je vytvořen matematický model pracující na principu klasifikace diskrétního modelu a odhadu (predikce), který je detailně popsán v kapitole 9. Model má dvě vstupní veličiny, kterými jsou:

- Dopravně-bezpečnostní závady evidované v rámci BI PK (definované v kapitole 3), které spadají do kategorie záchytných systémů,
- Dopravní nehody evidované PČR, při kterých byla zaznamenána jako primární srážka se svodidlem.

Obecně lze říct, že svodidla jsou určena k tomu, aby zachytila automobil, který z určitých příčin (např. nezvládnutí řízení, mikrospánek, vyhýbaní se jinému vozidlu) opouští vyhrazený prostor komunikace v místě, kde by mohlo dojít vlivem rizikového okolí PK k vážným následkům na zdraví osob. Fakticky je tedy svodidlo určeno k tomu, aby do něj automobily v případě nouze narazily.

Tato skutečnost v důsledku znamená, že nelze míru rizikivosti kalkulovat pouze na základě evidovaných dopravních nehod v místě identifikovaných deficitů záchytných zařízení. Zjištění míry rizikivosti je proto realizováno na základě porovnání výsledků dvou matematických modelů. V prvním případě bude model vycházet z dopravních nehod, které se staly v místě zaznamenaných deficitů. V druhém případě se bude jednat o dopravní nehody se svodidly, kde v rámci BI PK nebyla lokalizována žádná dopravně-bezpečnostní závada.

### 7.1. Způsob a podmínky pro korelaci

Pro první typ matematického modelu byla vyfiltrována vstupní data na základě vzájemné korelace (tzn. „propojení“) dopravních nehod a evidovaných závad v oblasti silničních záchytných zařízení.

Korelace vstupních dat byla realizována v programu Quantum GIS (dále jen „QGIS“). Jedná se o geografický informační systém (dále jen „GIS“), který slouží k prohlížení, vytváření a editaci vektorových a rastrových geografických dat, propojuje prostorovou a atributovou informaci (např. tvorba mapových podkladů). Na principu GIS jsou postaveny dnešní moderní mapové prohlížeče a aplikace, jako jsou např. Mapy Google a Mapy.cz. [12][42]

V rámci programu QGIS byla pomocí polohové informace (ve formě zeměpisných souřadnic) lokalizována vzájemná souvztažnost mezi datovým souborem dopravních

---

<sup>3</sup> Dopravně-bezpečnostním deficitem je myšlena konstrukční závada bezpečnostního zařízení (např. chybně realizované, resp. navržené svodidlo). Nejedná se o závady provozního charakteru (např. poškozené svodidlo v důsledku dopravní nehody).

nehod a identifikovaných dopravně-bezpečnostních závad záchytných systémů. **V průběhu korelace těchto dat se postupovalo podle následujících pravidel:**

**A. Dopravně-bezpečnostní deficit může mít přiřazeno více dopravních nehod**

Se závadou silničního záchytného zařízení byly korelovány DN i v případě, že bylo v daném místě lokalizováno více nehod. V praxi tato skutečnost nastala jen výjimečně a ve většině těchto případů byly nanejvýš jedné závadě přiřazeny dvě nehodové události. Hlavní část korelovaných dat je v poměru 1:1, tedy jedna unikátní dopravní nehoda a jeden unikátní deficit.<sup>4</sup>

**B. Párovány jsou pouze DN a deficity, které působí ve stejném směru jízdy dopravního proudu.**

Konkrétní závada na bezpečnostním zařízení může ovlivňovat pouze určitý směr. Např. krátký výškový náběh je rizikový jen pro jeden jízdní směr. V takovém případě jsou korelovány nehody, které mohou být krátkým výškovým náběhem negativně ovlivněny. Pokud může závada ovlivnit DN v obou jízdních směrech (např. nedodržení minimální pracovní šířky svodidla), mohou jí být přiřazeny DN z obou směrů.

Tento přístup byl aplikován postupně na deficity a dopravní nehody, které se staly ve sledovaných krajích definovaných v kapitole 3, pro které jsou k dispozici data z realizovaných BI PK silnic I. třídy. Výsledkem jsou korelované dopravní nehody, u kterých je pravděpodobné ovlivnění dopravně-bezpečnostním deficitem z kategorie záchytných systémů. Celkový počet takto korelovaných záznamů (DN a dopravně-bezpečnostních deficitů) uvádí následující Tabulka 15.

**Tabulka 15 – Celkové počty evidovaných deficitů v oblasti záchytných systémů a související deficity korelované s dopravními nehodami dle jednotlivých krajů.**

	Celkem deficitů	Deficity záchytných systémů	Korelované DN s deficity
Středočeský kraj	18 258	1 153	58
Jihočeský kraj	15 047	1 265	47
Plzeňský kraj	8 405	463	27
Karlovarský kraj	2 860	411	44
Ústecký kraj	11 497	1 191	65
Liberecký kraj	8 454	1 045	87
<b>Celkem</b>	<b>64 521</b>	<b>5 528</b>	<b>328</b>

Tabulka 16 níže udává počty korelovaných záznamů dle typu evidovaného dopravně-bezpečnostního deficitu. Nejčtenějším typem deficitu je „Krátký výškový náběh svodidla“, který byl korelován s nehodovými událostmi ve 101 případech. Na druhém

<sup>4</sup> Jsou vybrány pouze takové deficity, které ve svém blízkém okolí již neobsahují další závady. Pro záznam s více deficity nelze s jistotou určit, který z deficitů má (a jak významný) vliv na následky DN.

místě (80 záznamů) se umístil „Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla“. „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“ bylo identifikováno v rámci 76 korelovaných záznamů. Tyto tři kategorie jsou z korelovaných DN s deficitem nejpočetnější a představují téměř 80 % z celého datového souboru.

**Tabulka 16** – Počty korelovaných záznamů dle typu deficitu.

Typ deficitu	Korelované záznamy
Krátký výškový náběh svodidla	101
Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla	80
Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem	76
Neadekvátně provedené svodidlo	32
Nevhodný typ záchytného zařízení	10
Neadekvátně realizovaný přechod mezi různými druhy svodidel	8
Krátké svodidlo u příčného propustku, krátký výškový náběh	6
Nízké svodidlo, nízká poloha pásnice svodidla	6
Krátké svodidlo, krátký výškový náběh	4
Neadekvátně realizovaný přechod mezi svodidly	4
Vysoké svodidlo, vysoká poloha pásnice svodidla (riziko podjetí)	1

Zbývající kategorie nelze z důvodu nízkého počtu korelovaných záznamů použít pro další matematické vyhodnocení. Vzorek dat s 10 a méně záznamy již není dostatečně vypovídající (z důvodu následného parametrizování). [43]

Tuto hranici splňuje i deficit z kategorie „Neadekvátně provedené svodidlo“. Jedná se o obecnou kategorii, kde jsou zařazovány závady rozdílných charakterů. Tato kategorie obsahuje např. neadekvátní (malý) poloměr zaoblení svodidla, nedostatečné vzájemné propojení svodnic (např. chybějící šrouby) a nevhodnou polohu umístění. Pro případné rozdělení deficitu do specifických kategorií, které budou obsahovat vždy jen jeden typ závady, není evidován dostatečný počet korelovaných záznamů.

**Na základě výše uvedeného je disertační práce dále zaměřena na stanovení a ověření rizikivosti pouze pro následující typy deficitů:**

- Krátký výškový náběh svodidla,
- Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla,
- Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.

## 7.2. Definování parametrů ovlivňujících míru rizikivosti dopravně-bezpečnostních deficitů

Aby bylo možné stanovit riziko pro konkrétní závady silničního záchytného systému, je nutné definovat charakteristické prvky jeho okolí a vlastnosti svodidla, které ovlivňují výslednou rizikovost – tzv. parametry.<sup>5</sup> Jsou definovány hodnoty, jakých mohou vybrané parametry nabývat. Kombinací přiřazených parametrů pak vznikají jednotlivé expozice, kterých může korelovaný záznam nabývat. Pro tyto expozice matematický model ověřuje výslednou rizikovost evidovaného deficitu.

Řešené dopravně-bezpečnostní deficity, pro které se definují parametry, mají rozdílný vliv na dopravní nehody. Proto vybrané parametry nejsou u všech závad totožné, ale mohou se víceméně lišit. Na základě odborné diskuse týmu ABPK na pracovišti autora disertační práce, ale i v rámci diskuse s odbornou veřejností vyplynulo, že tři řešené závady záchytného systému jsou dostatečně definovány následujícími parametry:

- Úroveň zadržení svodidla,
- Směrové vychýlení začátku svodidla,
- Vzdálenost svodidla od pevné překážky,
- Nejvyšší dovolená rychlost,
- Prostorové vedení PK,
- Poloha deficitu vůči směru jízdy.

Z výše uvedeného vyplývá, že ne pro všechny typy deficitů je možné, resp. vhodné použít uvedené parametry. Tabulka 17 obsahuje pro každý typ řešeného deficitu parametry, které nejlépe charakterizují danou expozici.

**Tabulka 17** – Přiřazené parametry dle typu deficitu.

	Úroveň zadržení svodidla	Směrové vychýlení začátku svodidla	Vzdálenost svodidla od pevné překážky	Nejvyšší dovolená rychlost	Prostorové vedení PK	Poloha deficitu vůči směru jízdy
Krátký výškový náběh svodidla		✗		✗	✗	✗
Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla		✗		✗	✗	✗
Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem	✗		✗	✗	✗	

<sup>5</sup>Slovem parametr je v této části práci myšlena určitá charakteristika definující okolí záchytného systému, tzn. expozice. Nejedná se v tomto případě o parametr ve smyslu pravděpodobnosti stavu dané veličiny.

Z tabulky je patrné, že první dvě závady (Krátký výškový náběh, Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla) jsou definovány shodnými parametry. To je dané především stejným charakterem závady, kdy v obou případech se deficit týká přímo počátku svodidla. Oproti tomu deficit „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“ bývá zaznamenán mimo začátek svodidla, proto nejsou využity parametry definující způsob provedení svodidla na jeho počátku. Naopak se zde uplatňuje úroveň zadržení svodidla, která má významný vliv v případě výskytu pevné překážky v pracovní šířce zachytného systému. Zbývající parametry (Nejvyšší dovolená rychlost, Prostorové vedení PK) jsou uplatněny u všech typů deficitů.

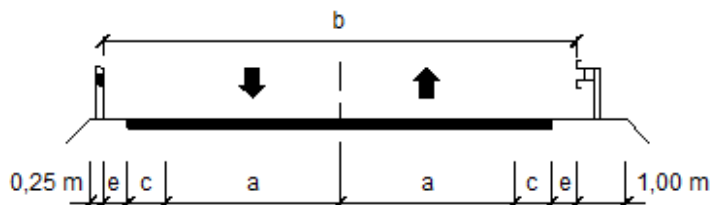
Kromě výše uvedených parametrů vyplynulo z diskuse několik dalších možných parametrů, které se nakonec neaplikovaly. Jednalo se např. o umístění svodidla (vpravo, resp. vlevo v SDP – z pohledu směru jízdy) u směrově rozdělených PK. Tento parametr nebyl uplatněn, jelikož se v datovém souboru korelovaných záznamů nevyskytují případy na směrově dělené PK.

Druhým diskutovaným parametrem byla vzdálenost mezi jízdním pruhem (dále jen „JP“) a svodidlem. Dle normy ČSN 73 6101 [16] se vzdálenost skládá ze zpevněné (c) a nezpevněné (e) části krajnice (viz Obrázek 46). Šířka nezpevněné části krajnice je neměnná (e = 0,5 m). Šířka zpevněné části se odvíjí od návrhové kategorie komunikace a nabývá následujících hodnot:

**Tabulka 18** – Návrhové kategorie dvoupruhových silnic. [16]

Návrhová kategorie	a	c	e
S6,5	2,75	0,00	0,50
S7,5	3,00	0,25	0,50
S9,5	3,50	0,75	0,50
S11,5	3,50	1,75	0,50

Tento parametr byl aplikován pro všechny typy deficitů. Z testování však vyplynulo, že tento parametr nemá na výsledky matematického modelu vliv, a proto od jeho uplatnění bylo upuštěno.



**Obrázek 46** – Schematické uspořádání dvoupruhové komunikace. [16]

V následujících podkapitolách jsou podrobněji popsány parametry charakterizující expozici deficitu a současně obsahují výčet a popis hodnot, jakých mohou nabývat.



### 7.2.1. Úroveň zadržení svodidla

Tento parametr je použit pouze pro specifikaci deficitu „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“. Jedná se o jeden ze základních návrhových parametrů svodidel. Ve zkrácené formě lze říct, že tento parametr určuje schopnost svodidla zadržet kolidující vozidla, aniž by došlo k jeho překonání. Přesná definice a další technické parametry jsou uvedeny v podkapitole 4.1.2.

V případě nárazu vozidla do svodidla dochází k jeho vychýlení, kdy svodidlo pohlcuje nárazovou energii kolidujícího automobilu a následně vozidlo plynule navrací zpět. Pokud se v pracovní šířce svodidla bude nacházet pevná překážka, může se s ní vozidlo střetnout, a to právě v průběhu vychýlování svodidla.

Případné vychýlení svodidla ovlivňuje nejvíce tuhost konkrétního systému. Svodidlo s vyšší úrovní zadržení je dimenzováno na zachycení i těžkých nákladních automobilů, resp. osobních vozidel s vyšší rychlostí a s větším úhlem nárazu.

V rámci této práce se rizikovost stanovuje a ověřuje na základě dopravních nehod osobních vozidel. Proto lze předpokládat, že při nárazu OA do svodidla s vyšší úrovní zadržení dochází k menšímu vychýlení svodidla, resp. svodidlo nevyužívá svou plnou pracovní šířku. Dochází tedy ke snížení pravděpodobnosti střetu s pevnou překážkou, která je umístěna v pracovní šířce svodidla.

Z provedené korelace dopravních nehod s evidovanými deficity byl pomocí vytvořených katalogových listů (viz podkapitola 5.3) stanoven konkrétní typ svodidla a tím byly zjištěny jeho základní návrhové parametry, tedy i úroveň zadržení svodidla. V datovém souboru korelovaných záznamů se dle úrovně zadržení vyskytují dohromady tři typy svodidel, které blíže specifikuje Tabulka 19.

**Tabulka 19** – Úrovně zadržení svodidel a jejich parametry. [17]

Úroveň zadržení svodidla	Označení nárazu	Nárazová rychlost [km/h]	Úhel nárazu [°]	Hmotnost vozidla [kg]	Kinetická energie $E_k$ [J]
N2	TB 32	110	20	1 500	81,9
H1	TB 42	70	15	10 000	126,6
H2	TB 51	70	20	13 000	287,5

Kromě tří výše uvedených nárazů všechny typy splňují i zkoušku TB 11. Ta vyžaduje po svodidlu zadržení automobilu o hmotnosti 900 kg, který do svodidla narazí pod úhlem 20° v rychlosti 100 km/h.

Obecně se na silnicích I. třídy mohou vyskytovat svodidla i s vyšší úrovní zadržení, např. H3. Nicméně ta nebyla mezi korelovanými záznamy evidována.

## 7.2.2. Směrové vychýlení začátku svodidla

Směrové vychýlení začátku svodidla bylo jako parametr ovlivňující expozici svodidla použito u deficitů, jejichž závady se nacházely, nebo přímo souvisely se začátkem ocelového svodidla (Krátký výškový náběh svodidla, Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla). U obou výše uvedených závad platí, že dochází ke zvýšení závažnosti následků případné dopravní nehody, pokud dojde ke střetu s krátkým výškovým náběhem, resp. se svodidlem bez výškového náběhu.

Míra rizikovosti daného deficitu je pak částečně ovlivněna způsobem provedení začátku svodidla. V rámci identifikovaných korelovaných nehodových událostí s dopravně-bezpečnostními závadami byly zjištěny dohromady dva způsoby, jakým je tento začátek, resp. konec záchytného systému realizován. Konkrétně se jedná o míru vychýlení svodidla vůči směru jízdy ovlivněného dopravního proudu, kterou lze rozdělit následovně:

- **Bez vychýlení svodidla** – začátek / konec svodidla je realizován rovnoběžně se směrem jízdy dopravního proudu, resp. s vychýlením do  $15^\circ$ ,
- **Částečné vychýlení svodidla** – začátek / konec svodidla je vychýlen o  $15^\circ - 45^\circ$  (výjimečně i více).

První případ, tedy bez vychýlení svodidla, resp. jen s velmi malým vychýlením (do  $15^\circ$ ), lze považovat za rizikovější způsob provedení. U závad s tímto parametrem lze očekávat vyšší celospolečenské ztráty. Příklad takto parametrizovaných deficitů uvádí Obrázek 47 a Obrázek 48.



**Obrázek 47** – Směrově nevychýlené svodidlo bez výškového náběhu  
| BI UK | 1/62 | ID 9 126.



**Obrázek 48** – Směrově nevychýlené svodidlo s krátkým výškovým náběhem  
| TEN-T | 1/3 | ID 10 351.

Druhou variantu, kdy je začátek svodidla částečně vychýlen mimo jízdní směr, lze považovat za příznivější bezpečnostní situaci. Začátek svodidla je v tomto případě vychýlen pod úhlem mezi  $15^\circ - 45^\circ$ . V případě závažnějších deficitů (např. Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla – byla identifikována absence výškového náběhu), je možné považovat za rizikové i svodidlo s vyšším směrovým vychýlením.



**Obrázek 49** – Částečně směrově vychýlené svodidlo bez výškového náběhu  
| BI UK | I/62 | ID 9 021.



**Obrázek 50** – Částečně směrově vychýlené svodidlo s krátkým výškovým náběhem  
| BI UK | I/15 | ID 1 500.

Ve skutečnosti je zde ještě třetí, poslední možný stupeň, kterého tento parametr může nabývat. Jedná se o zcela směrově vychýlené svodidlo, které je vychýleno o více než  $45^\circ$ , resp.  $60^\circ$ , viz výkres opakovaných řešení R 84. [18] V takové situaci však ve většině případů není absence výškového náběhu, resp. krátký výškový náběh rizikový. V těchto případech však může docházet ke snížení pracovní délky svodidla (viz podkapitola 4.1.2), která je před překážkou vyžadována – jedná se o závadu jiného typu.

### 7.2.3. Vzdálenost svodidla od pevné překážky

V této práci bylo již několikrát uvedeno, že v případě střetu automobilu se svodidlem může dojít k jeho vychýlení. Maximální velikost bočního vychýlení souvisí primárně s úrovní zadržení svodidla. Pro upřesnění je však třeba znát vzdálenost pevné překážky (např. stromu, pilíře mostu, sloupu el. vedení) od líce svodidla. Již z jeho charakteru je patrné, že se tento parametr aplikuje pouze u deficitu „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“.

Pracovní šířka svodidla závisí na typu silničního zachytného systému. Výrobce svodidel dané zařízení zařadí do odpovídající třídy pracovních šířek (viz Tabulka 20), které svodidlo musí dodržet (může být menší – jedná se pouze o maximální hodnoty pro danou třídu). Z tohoto důvodu výsledné hodnoty tohoto parametru nejsou stanoveny konkrétní hodnotou, ale jsou specifikovány formou intervalu. Na základě vědomostní báze autora práce bylo stanoveno následující rozdělení na dvě skupiny, kdy se pevné překážky vůči svodidlu nacházejí:

- Mezi pevnou překážkou a lícem svodidla je vzdálenost v intervalu  $(0; \frac{1}{2}$  pracovní šířky),
- Mezi pevnou překážkou a lícem svodidla je vzdálenost v intervalu  $(\frac{1}{2}$  pracovní šířky; konec pracovní šířky).

**Tabulka 20 – Úroveň pracovních šířek svodidel. [17]**

Třídy pracovních šířek	Úrovně pracovních šířek
W1	≤ 0,6 m
W2	≤ 0,8 m
W3	≤ 1,0 m
W4	≤ 1,3 m
W5	≤ 1,7 m
W6	≤ 2,1 m
W7	≤ 2,5 m
W8	≤ 3,5 m

Obrázek 51 a Obrázek 52 níže uvádějí k možným hodnotám tohoto parametru příklady z provedených BI PK.



**Obrázek 51 – Mostní pilíře umístěn v intervalu (0; ½ PŠ) | TEN-T | I/16 | ID 30 112.**



**Obrázek 52 – Sloup VO umístěn v druhé části intervalu | TEN-T | I/52 | ID 33 381.**

#### 7.2.4. Nejvyšší dovolená rychlost

Parametr, který výrazným způsobem ovlivňuje výslednou závažnost nehodové události, je nejvyšší dovolená rychlost. Byl aplikován u všech tří typů deficitů (Krátký výškový náběh svodidla, Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla, Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem). Z podstaty věci vyplývá, že právě rychlost jízdy, v jaké dojde ke střetu automobilu se svodidlem, má významný vliv na následky dopravní nehody. Nicméně konkrétně nárazovou rychlost nelze u dopravní nehody vždy s přesností určit. Ve většině případů DN ani není předmětem zkoumání PČR. Za tímto účelem je pro parametrizování korelovaných záznamů použita nejvyšší dovolená rychlost, která více vypovídá o chování dopravního proudu. Na silnicích I. třídy v extravilánu je legislativně stanovena nejvyšší dovolená rychlost na 90 km/h, resp. v intravilánu na 50 km/h. Určité modifikace lze docílit např. pomocí SDZ B 20a „Nejvyšší dovolená rychlost“. V rámci datového souboru korelovaných záznamů byly evidovány následující hodnoty nejvyšších dovolených rychlostí: 50, 70 a 90 km/h.

V rámci sledované silniční sítě definované v kapitole 3 byly evidovány i jiné nejvyšší dovolené rychlosti, avšak po korelaci dopravních nehod s deficity zůstaly jen tyto tři nejčastěji se vyskytující nejvyšší dovolené rychlosti na silniční síti. **Z výše uvedeného vyplývá, že parametr nejvyšší dovolená rychlost nabývá následujících hodnot:**

- **50 km/h,**
- **70 km/h,**
- **90 km/h.**

Dopravně-bezpečnostní deficity „Krátký výškový náběh svodidla“ a „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“ jsou v rámci BI PK evidovány pouze v místě s nejvyšší dovolenou rychlostí vyšší než 60 km/h. Z tohoto důvodu nejsou pro tyto dvě závady uvažovány kombinace s rychlostí 50 km/h – tato rychlost je uplatněna pouze u deficitu „Neadekválně realizovaný začátek / konec svodidla“.



**Obrázek 53** – Evidovaná závada v místě s nejvyšší dovolenou rychlostí 50 km/h  
| TEN-T | I/16 | ID 16 283.



**Obrázek 54** – Deficit v extravilánu v místě s nejvyšší dovolenou rychlostí 70 km/h  
| TEN-T | I/33 | ID 30 877.

#### 7.2.5. Prostorové vedení PK

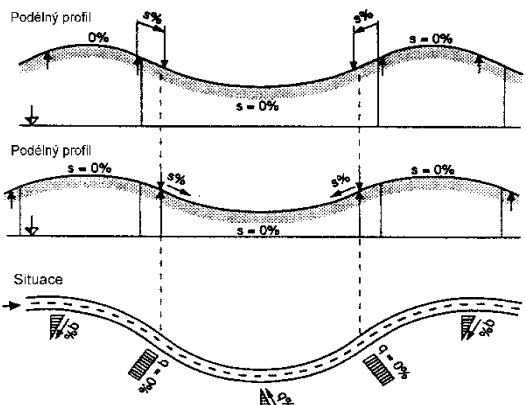
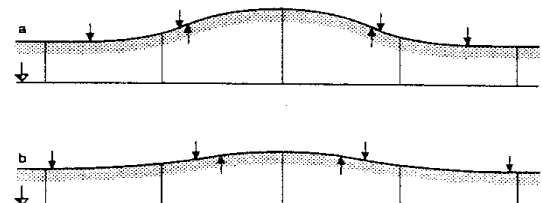
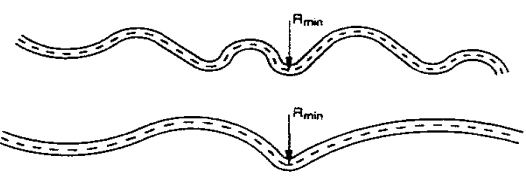
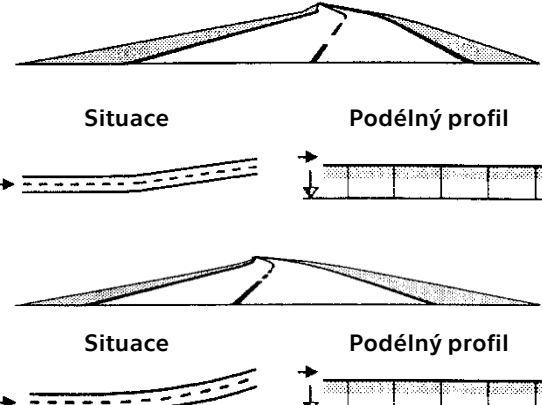
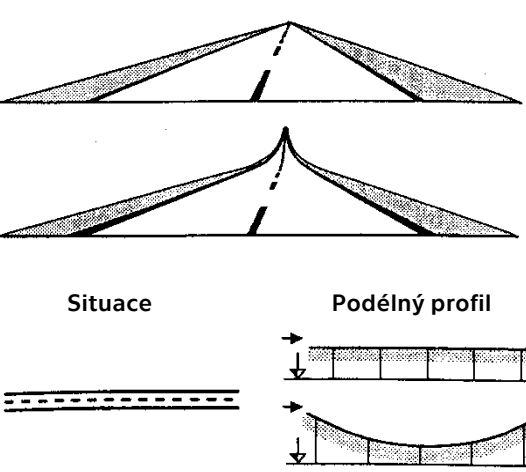
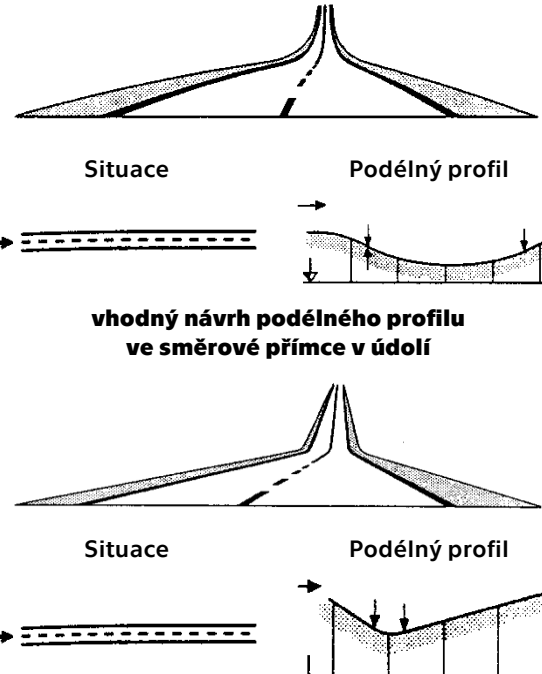
Významný vliv na plynulost a bezpečnost provozu má prostorové vedení trasy v terénu, konkrétně kombinace směrových a výškových oblouků, ale i dalších významných stavebních objektů (např. mosty, tunely, křižovatky). Tento parametr je aplikován na všechny sledované typy deficitů. Rozdělení prostorové vedení PK vychází z ČSN 73 6101 [16], konkrétně z přílohy H a v rámci této práce bylo rozděleno do dvou skupin.

**Vhodné prostorové vedení PK** – Jedná se o přímé úseky, nebo úseky s velkým poloměrem, kde je pro řidiče jasně čitelné vedení PK. Do této kategorie jsou primárně zařazeny kombinace směrového a výškového vedení PK, které vycházejí z přílohy H.1 a H.2 z ČSN 73 6101. [16]

**Nevhodné prostorové vedení PK** – Jde o různé kombinace směrového a výškového vedení, které řidič nemusí vždy správně vyhodnotit. Trasa je hůře čitelná a její jednotlivé části nemusí být pro řidiče v dostatečném předstihu postřehnutelné. Zde jsou zařazeny nevhodné kombinace vedení trasy, které vycházejí z přílohy H.3.1 – H.3.1.3 obsažené v ČSN 73 6101. [16]

V tabulce níže jsou pro porovnání uvedeny různé vhodné a nevhodné kombinace směrového a výškového vedení PK. Konkrétní vhodné, resp. nevhodné kombinace obsahuje Příloha 2.

**Tabulka 21 – Ukázka porovnání vhodných a nevhodných řešení vedení PK – H.4. [16]**

 <p><b>vhodné umístění směrových a výškových oblouků s ohledem na polohu příčných sklonů (odvodnění vozovky)</b></p>	 <p><b>nevhodná a vhodná posloupnost velikosti výškových oblouků</b></p>
 <p><b>vhodná a nevhodná posloupnost velikosti směrových oblouků</b></p>	 <p><b>okraj vozovky bez a s optickým zlomem</b></p>
 <p><b>směrová přímka v rovině a vydatém výškovém oblouku</b></p>	 <p><b>vhodný návrh podélného profilu ve směrové přímce v údolí</b></p> <p><b>optický zlom v údolnicovém zaoblení</b></p>

### 7.2.6. Poloha deficitu vůči směru jízdy

Posledním parametrem byly ohodnoceny deficity týkající se počáteční, resp. koncové části svodidla (Krátký výškový náběh svodidla, Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla). Tyto závady představují riziko pouze pro jeden směr jízdy dopravního proudu, a jak uvádí pravidlo B v podkapitole 7.1, párují se pouze s nehodovými událostmi se stejným směrem jízdy.

Nicméně tento typ dopravně-bezpečnostního deficitu se nenachází vždy jen na počátku svodidla, ale často i na jeho konci. V případě identifikace absence výškového náběhu svodidla, které je umístěno vpravo ve směru staničení PK, je stanovena rizikovost primárně pro vozidla jedoucí v opačném směru – tedy ve směru proti staničení PK. Pro tato vozidla se pak závada nachází na opačné (levé) straně vozovky (viz Obrázek 55 a Obrázek 56).



**Obrázek 55** – Krátký výškový náběh ocelového svodidla na pravé straně PK  
| TEN-T | 1/3 | ID 22 202.



**Obrázek 56** – Absence výškového náběhu ocelového svodidla na levé straně PK  
| BI JCK | 1/19 | ID 7 373.

Deficity, které se nacházejí na levé straně vozovky vůči řešenému dopravnímu proudu, jsou od vozidel více vzdálené a lze předpokládat, že tato vzdálenost má vliv na výslednou závažnost dopravních nehod. To bylo taktéž ověřeno a potvrzeno v rámci matematického modelu. Poloha deficitu vůči směru jízdy dopravního proudu může v tomto případě nabývat dvou stavů, a to následovně:

- Svodidlo je umístěno **na pravé straně vozovky**,
- Svodidlo je umístěno **na levé straně vozovky**.

### 7.3. Diskretizace parametrů a číselné označení

Obecně spojité veličiny mohou nabývat všech hodnot v určitém intervalu. Použití takových hodnot pro definování expozice silničního zachytného systému a další operace s nimi v rámci matematického modelu by bylo vzhledem ke značnému množství dat velice obtížné. Proto již při definování možných hodnot, které mohou u výše uvedených parametrů nastat, bylo přistoupeno k jejich diskretizaci. Diskrétní

(nespojité) veličina může oproti tomu nabývat pouze jednotlivých (celých) hodnot z daného intervalu a v tomto případě výrazně lépe definuje expozici svodidla. [44]

Matematický model pracuje pouze s číselnými hodnotami, proto jsou níže uvedeny jednotlivé parametry a jejich hodnoty s přiřazeným číselným označením (kódem), které je bude zastupovat ve výsledném modelu.

**Tabulka 22** – Číselné označení (zakódování) hodnoty vybraných parametrů.

Název parametru	Hodnota parametru	Číselné označení
Úroveň zadržení svodidla	N2	1
	H1	2
	H2	3
Směrové vychýlení začátku svodidla	Bez vychýlení svodidla	1
	Částečné vychýlení svodidla	2
Vzdálenost svodidla od pevné překážky	(0; ½ pracovní šířky)	1
	(½ pracovní šířky; konec pracovní šířky)	2
Prostorové vedení PK	Nevhodné prostorové vedení PK	1
	Vhodné prostorové vedení PK	2
Poloha deficitu vůči směru jízdy	Vpravo	1
	Vlevo	2

Jediný z parametrů, který nebyl pro další matematické operace zakódován, byla nejvyšší dovolená rychlost. Tento parametr již obsahuje číselné hodnoty a není třeba mu přiřazovat nové.

#### 7.4. Dopravní nehody bez korelovaných deficitů

V úvodu této kapitoly byly vysvětleny důvody, proč je nutné pro stanovení a ověření míry rizika dopravně-bezpečnostních deficitů porovnávat dva modely, kdy jeden obsahuje korelované dopravní nehody s identifikovanými závadami na silniční síti a druhý nikoliv. Za tímto účelem bylo nezbytné vytvořit druhý datový soubor, který obsahuje pouze dopravní nehody, které se staly v místě adekvátně realizovaného silničního zachytného systému. V okolí těchto nehodových událostí tedy nesměly být evidovány jiné závady, které by je mohly v oblasti bezpečnosti negativně ovlivnit.

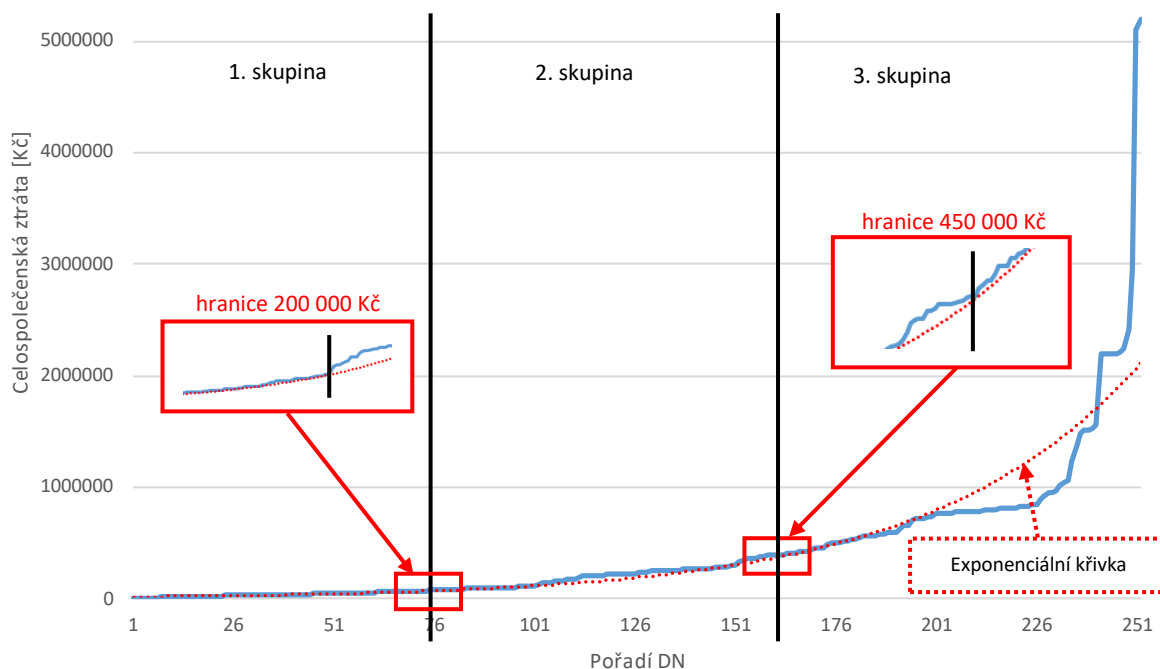
Lokalizace těchto deficitů byla realizována obdobně jako v případě korelovaných záznamů, tedy pomocí programu QGIS. Na základě polohové informace byly vybrány dopravní nehody, které se nacházely mimo zaznamenané závady. Aby byly tyto datové soubory vzájemně porovnatelné (na základě toho bude porovnána rizikovitost jednotlivých expozic), byly současně vybrané DN ohodnoceny shodnými parametry (viz podkapitola 7.2), jako je tomu u korelovaných deficitů. Evidované případy lze rozdělit



do dvou skupin, a to na DN, které se staly na počátku svodidla (pro porovnání s deficitem Krátký výškový náběh, Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla) – celkem 297 nehodových událostí a na DN již v průběhu svodidla (mimo začátek – pro porovnání s deficitem Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem) – celkem 330 DN. Dohromady bylo zaznamenáno 627 dopravních nehod. Tato databáze byla využita pro srovnání s evidovanými následky u korelovaných záznamů. Vzájemné diference byly sledovány v rámci matematického modelu.

## 7.5. Rozdělení dopravních nehod dle celospolečenské ztráty

V předchozích podkapitolách byly definovány charakteristické parametry pro svodidlo a jeho okolí, které exaktně určují jeho expozici. Kromě toho je však nutné i jednotlivé dopravní nehody rozčlenit na základě celospolečenské ztráty. Pro tento případ připadá jako nejvhodnější varianta rozčlenění nehodových událostí do celkem tří skupin. Tím bude počet skupin odpovídat stupnici závažnosti z BI PK, kterou je možné ohodnotit případné dopravně-bezpečnostní závady. Třístupňová metrika s nízkým, středním a vysokým rizikem je blíže definována v kapitole 5 (Tabulka 11). Výsledná podoba rozdělení skupin dle celospolečenské ztráty dopravních nehod vychází z datového souboru nehodových událostí korelovaných záznamů (celkem 257). A to z důvodu, že celospolečenská ztráta nehod v tomto datovém souboru je právě deficitem ovlivněna.



**Graf 6 – Rozložení celospolečenské ztráty v Kč pro korelované záznamy dopravních nehod.**

Graf 6 znázorňuje rozložení celospolečenské ztráty dopravních nehod (seřazených vzestupně dle celospolečenské ztráty), kde jeho značná část opisuje exponenciální křivku. Přibližně 25 % dat (nehody s velmi vysokou ztrátou) pak přestává tomuto rozložení odpovídat a dochází k výraznějšímu nárůstu ztráty. To je způsobeno především evidovanými vážnými následky (těžké zranění, více lehkých zranění) na zdraví osob u těchto DN. Současně velká část nehod (téměř 40 %) má evidovanou celospolečenskou ztrátu do 200 tisíc. V případě těchto nehod lze pozorovat velmi pozvolný, z počátku téměř lineární vzrůstající trend.

Rozdělení evidovaných nehodových událostí do skupin bylo realizováno na základě následujícího postupu. Dopravní nehody byly seřazeny vzestupně dle celospolečenské ztráty (viz Graf 6). Na vzniklé exponenciální křivce byla lokalizována místa, kde dochází k výraznému odchýlení od exponenciální křivky. Toto vychýlení znamená, že se zde nachází výrazné zvýšení celospolečenské ztráty z DN. K takovýmto skokovým zvýšením výsledné škody dochází v grafu několikrát, nicméně dvě nejvýraznější zvýšení (při zanedbání posledních 25 % dat, které neodpovídají exponenciálnímu průběhu) byla lokalizována na hranici 200 000 Kč, resp. 450 000 Kč. Tyto hodnoty byly zvoleny jako hranice pro rozdělení DN do skupin. Tabulka 23 zobrazuje výsledný rozsah skupin, do kterých jsou dopravní nehody dle celospolečenské ztráty rozděleny.

**Tabulka 23** – Rozdělení dopravních nehod do vybraných skupin v závislosti na celospolečenské ztrátě.

ID skupiny	Odpovídající riziko	Rozsah celospolečenské ztráty
1	Nízké riziko	<0 – 200 000)
2	Střední riziko	<200 000 – 450 000)
3	Vysoké riziko	<450 a více)

## 8. Definování pracovních hypotéz

V této kapitole jsou pro jednotlivé dopravně-bezpečnostní deficity stanoveny míry rizika, které vychází z Metodiky provádění bezpečnostní inspekce pozemních komunikací (viz kapitola 5). [5] Rizikovost je definována pro jednotlivé expozice závad na základě parametrů uvedených v předchozí kapitole.

**Tabulka 24** – Predikovaná míra rizikovosti jednotlivých expozic pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nejvyšší dovolená rychlost	
				70 km/h	90 km/h
1., 2.	1	1	1	Střední riziko	Vysoké riziko
3., 4.	1	1	2	Střední riziko	Střední riziko
5., 6.	1	2	1	Nízké riziko	Střední riziko
7., 8.	1	2	2	Nízké riziko	Nízké riziko
9., 10.	2	1	1	Nízké riziko	Nízké riziko
11., 12.	2	1	2	Nízké riziko	Nízké riziko
13., 14.	2	2	1	Nízké riziko	Nízké riziko
15., 16.	2	2	2	Nízké riziko	Nízké riziko

### **Pracovní hypotéza I.**

*Odpovídá uvedená míra rizikovosti jednotlivých expozic dopravně-bezpečnostního deficitu „Krátký výškový náběh svodidla“ skutečné závažnosti pro posádku osobního automobilu?*

**Tabulka 25** – Predikovaná míra rizikovosti jednotlivých expozic pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nejvyšší dovolená rychlost		
				50 km/h	70 km/h	90 km/h
1., 2., 3.	1	1	1	Střední riziko	Vysoké riziko	Vysoké riziko
4., 5., 6.	1	1	2	Střední riziko	Vysoké riziko	Vysoké riziko
7., 8., 9.	1	2	1	Střední riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
10., 11., 12.	1	2	2	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
13., 14., 15.	2	1	1	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
16., 17., 18.	2	1	2	Nízké riziko	Střední riziko	Střední riziko
19., 20., 21.	2	2	1	Nízké riziko	Nízké riziko	Střední riziko
22., 23., 24.	2	2	2	Nízké riziko	Nízké riziko	Střední riziko

### **Pracovní hypotéza II.**

*Odpovídá uvedená míra rizikovosti jednotlivých expozic dopravně-bezpečnostního deficitu „Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla“ skutečné závažnosti pro posádku osobního automobilu?*

**Tabulka 26** – Predikovaná míra rizikovosti jednotlivých expozic pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.

Kombinace	Úroveň zadržení svodidla	Vzdálenost svodidla od pevné překážky	Prostorové vedení PK	Nejvyšší dovolená rychlost	
				70 km/h	90 km/h
1., 2.	1	1	1	Vysoké riziko	Vysoké riziko
3., 4.	1	1	2	Vysoké riziko	Vysoké riziko
5., 6.	1	2	1	Střední riziko	Vysoké riziko
7., 8.	1	2	2	Střední riziko	Vysoké riziko
9., 10.	2	1	1	Střední riziko	Vysoké riziko
11., 12.	2	1	2	Střední riziko	Vysoké riziko
13., 14.	2	2	1	Nízké riziko	Střední riziko
15., 16.	2	2	2	Nízké riziko	Střední riziko
17., 18.	3	1	1	Nízké riziko	Střední riziko
19., 20.	3	1	2	Nízké riziko	Střední riziko
21., 22.	3	2	1	Nízké riziko	Střední riziko
23., 24.	3	2	2	Nízké riziko	Nízké riziko

### **Pracovní hypotéza III.**

*Odpovídá uvedená míra rizikovosti jednotlivých expozic dopravně-bezpečnostního deficitu „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“ skutečné závažnosti pro posádku osobního automobilu?*

Výsledná podoba tabulek pracovních hypotéz je sestavena dle jednotlivých expozic takovým způsobem, aby míra rizika stoupala z levého dolního rohu (nejméně rizikové) do pravého horního rohu tabulky (nejvíce rizikové).

Výše uvedené kombinace parametrů pro jednotlivé deficity obsahují vždy konkrétní riziko – žádná expozice nebyla ohodnocena Bez rizika. To vychází primárně z vysokých bezpečnostních požadavků na silniční zachytné systémy, u kterých je pro správnou funkci (zachycení kolidujícího vozidla v případě dopravní nehody) požadován bezchybný technický stav a metodicky správné provedení.

Ověření pracovní hypotézy I. – III. bude realizováno na základě porovnání výsledků matematického modelu. Bude se jednat o komparaci výstupů datového souboru dopravních nehod se svodidly, které se staly v místech, kde nebyly evidované bezpečnostní závady a datového souboru korelovaných dopravních nehod s identifikovanými deficity.

## 9. Matematický model

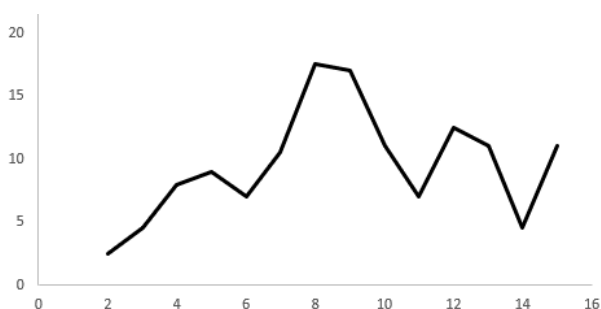
Zvolený matematický model funguje na principu klasifikace diskretním modelem. Je složen z několika částí, kdy každá jeho hlavní funkce je v následující podkapitole blíže vysvětlena. Podkapitola 9.1 uvádí teoretický základ pro jednotlivé funkce modelu. Model je zpracován v programu Scilab, který používá stejnojmenný jazyk pro zapsání algoritmů jednotlivých funkcí. Stěžejní části kódu jsou uvedeny v podkapitole 9.2. V podkapitole 9.3, resp. 9.4 jsou uvedeny výstupy modelu, tedy přesnost predikce.

### 9.1. Teoretický základ aplikovaných metod [43][44][45][46][47][48]

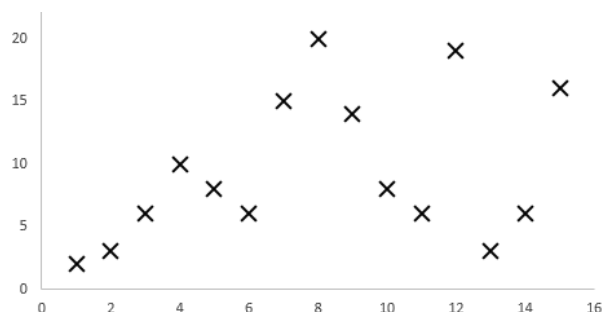
Matematický model pracuje s různými expozicemi řešených datových souborů. Každá expozice obsahuje určitý počet dopravních nehod, které jsou zastoupeny výslednou celospolečenskou ztrátou. V rámci statistiky se nazývají měřená data, tedy veličiny.

S tímto výrazem souvisí i pojem náhodná veličina. U náhodné veličiny neznáme její hodnotu a nelze ji změřit, resp. ještě nebyla změřena. V případě opakovaného měření u náhodné veličiny dostáváme různé hodnoty. Obecně lze náhodnou veličinu rozdělit na dva základní typy, tedy na diskretní a spojitou.

Diskretní (nespojité) náhodné veličiny mohou nabývat pouze jednotlivých hodnot (celých čísel), a to z předem daného intervalu (konečného nebo nekonečného) – veličiny se mění po skocích. Oproti tomu náhodné spojitě veličiny nabývají všech hodnot z konečného, resp. nekonečného intervalu – tedy tyto veličiny se mění bez skoků. Rozdíl mezi spojitým a diskretním rozdělením náhodných veličin uvádí následující Obrázek 57 a Obrázek 58.



**Obrázek 57** – Spojité rozdělení měřených náhodných veličin.



**Obrázek 58** – Diskretní (nespojité) rozdělení měřených náhodných veličin.

Ve statistice jsou parametry<sup>6</sup> považovány za náhodné veličiny a jsou popsány tzv. hustotou pravděpodobnosti. V případě, kdy se pro konstrukci hustoty pravděpodobnosti použije předběžná (expertní) znalost, nazývá se apriorní. Pokud se pro to dále použijí i naměřená data, jedná se o posteriorní hustotu pravděpodobnosti.

<sup>6</sup> V rámci této kapitoly je pro soulad názvosloví v rámci matematického aparátu použito slovo parametr, které udává pravděpodobnost stavu. Tento význam však platí pouze pro tuto kapitolu, v případě zbylé práce je slovem parametr myšlena veličina definující expozici svodidla.

Výsledný matematický model vychází z Bayesovské statistiky. Bayesovský přístup je oproti klasické statistice odlišný. V případě klasické statistiky se při hledání výsledného parametru vychází z náhodného výběru dat z předem dané množiny. Bayesovský přístup dovoluje celou množinu dat považovat za náhodné veličiny a využívá předem známé apriorní informace. Bližší vlastnosti a detailní popis je uveden níže.

Uvažujme tři náhodné veličiny A, B a C a sdruženou hustotu pravděpodobnosti pro A, B podmíněnou C.

$$f(A, B|C) = \begin{cases} f(A|B, C)f(B|C) \\ f(B|A, C)f(A|C) \end{cases} \quad \text{resp.} \quad (1.1)$$

Při porovnání výrazů pravé strany máme:

$$f(A|B, C)f(B|C) = f(B|A, C)f(A, C) \quad (1.2)$$

Z této rovnice pak lze vyjádřit dle potřeby  $f(A|B, C)$  nebo  $f(B|A, C)$ , z čehož následně Bayesův vzorec:

$$f(B|A, C) = \frac{f(A|B, C)f(B|C)}{f(A|C)} \quad (1.3)$$

Hlavní význam Bayesova vzorce spočívá především v přepočítání apriorní hustoty pravděpodobnosti  $f(B|C)$  na aposteriorní hustotu pravděpodobnosti  $f(B|A, C)$ . Apriorní hustota pravděpodobnosti popisuje pouze náhodnou veličinu B v závislosti na náhodné veličině C. Oproti tomu aposteriorní hustota pravděpodobnosti využívá taktéž informaci z náhodné veličiny A, a to pomocí hustoty pravděpodobnosti  $f(A|B, C)$ .

Pro odhad neznámých parametrů modelu  $f(y_t|\psi_t, \theta)$  je zvoleno:

- A – výstup modelu  $y_t$
- B – odhadované parametry  $\theta$
- C – původní (stará) data  $d(t-1)$  s případným řízením  $u_t$

Po dosazení do vzorce (1.3) dostáváme upravený Bayesův vztah:

$$f(\theta|d(t)) = \frac{f(y_t|\psi_t, \theta)f(\theta|d(t-1))}{f(y_t|d(t-1))} \quad (1.4)$$

Pro vzorec (1.4) platí, že stará data  $d(t-1)$  v modelu lze nahradit regresním vektorem  $\psi_t$ .

V rámci odhadování, kdy je apriorní hustota pravděpodobnosti  $f(\theta)$  s předběžnou (expertní) znalostí, se měří data  $d_t$  v časech  $t = 1, 2, \dots, T$  ( $T$  odpovídá horizontu intervalu odhadování). Nově měřené hodnoty se dále používají pro zpřesnění popisu parametrů  $\Rightarrow$  aposteriorní hodnota pravděpodobnosti.

Úprava hustoty apriorní pravděpodobnosti na základě měřených dat (upřesňování) se provádí na základě Bayesova vztahu:

$$f(\theta|d(t)) \propto f(y_t|\psi_t, \theta)f(\theta|d(t-1)) \quad (1.5)$$

Tento vztah platí pro  $t = 1, 2, \dots, T$  a jeho počátek pracuje s apriorní hodnotou pravděpodobnosti  $f(\theta|d(0)) = f(\theta)$ .

Pro koncový čas  $T$  je možnost rovnici (1.5) upravit na:

$$f(\theta|d(T)) = \prod_{t=1}^T f(y_t|\psi_t, \theta)f(\theta|d(0)) = L_T(\theta)f(\theta|d(0)) \quad (1.6)$$

Pro tuto rovnice pak platí:

$$L_T(\theta) = \prod_{t=1}^T f(y_t|\psi_t, \theta) \quad (2.1)$$

Obecně nejrozšířenější regresní model je lineární regresní model náhodné složky (šumu). Jeho obecná rovnice je:

$$y_t = \psi_t' \theta + e_t \quad (3.1)$$

- Modelovaná veličina –  $y_t$
- Regresní vektor –  $\psi_t$
- Parametr modelu –  $\theta$
- Šum s normálním rozdělením –  $e_t$

Statický regresní model v regresním vektoru obsahuje pouze vstupní veličiny, které jsou ve většině případů měřené v daném časovém okamžiku. Neobsahuje zpožděné hodnoty modelované veličiny. Lze jej tedy zapsat:

$$y_t = c_1 v_{1;t} + c_2 v_{2;t} + \dots + c_m v_{m;t} + k + e_t \quad (3.2)$$

Pro vzorec (3.2) platí, že  $\psi_t' = [v_{1;t}, v_{2;t}, \dots, v_{m;t}, 1]$  je regresní vektor a  $\theta = [c_1, c_2, \dots, c_m, k]$  je vektor regresních koeficientů. Některé z veličin regresního vektoru mohou současně obsahovat řídicí vektory.

Dynamický regresní model, který popisuje vstup a výstup systému, má následující tvar:

$$\psi_t' = [u_t, y_{t-1}, u_{t-1}, \dots, y_{t-n}, u_{t-n}, 1] \quad (3.3)$$

Pro regresní vektor je stanoven vektor parametrů:

$$\theta' = [b_0, a_1, b_1, \dots, a_n, b_n, k] \quad (3.4)$$

Pokud tyto vektory dosadíme do vztahu (3.1), pak platí následující tvar:

$$y_t = b_0 u_t + a_1 y_{t-1} + b_1 u_{t-1} + \dots + a_n y_{t-n} + b_n u_{t-n} + k + e_t \quad (3.5)$$

Diskrétní model obsahuje všechny vstupující veličiny o konečném počtu hodnot. Pokud se seřadí tyto veličiny do vektoru, získá se rozšířený regresní vektor  $\psi_t = [y_t, \psi'_t]'$ . Při výběru náhodných veličin se dostává vždy kombinace těchto vybraných hodnot. Popis diskrétního systému vychází z přiřazení pravděpodobnosti každé možné konfiguraci pro celý rozšířený regresní vektor:

$$f(y_t | \psi_t, \theta) = \theta_{y_t | \psi_t} \quad (4.1)$$

Obecně pak pro nezáporné parametry diskrétního modelu musí platit:

$$\sum_{i \in \Psi^*} \theta_{i|jk} = 1, \quad \forall j, k \quad (4.2)$$

Diskrétní model obsahuje parametry  $\theta_{y|\psi}$ , které nejsou známé a je třeba je odhadnout z měřených dat. Pravděpodobnosti jednotlivých konfigurací jsou v tomto případě vyjádřeny rozšířeným regresním vektorem  $\psi_t = [y_t, \psi'_t]'$ . Pro odhad těchto stavů je použit Bayesův vzorec (1.6), diskrétní model (4.1) a adekvátně zvolený apriorní model (tedy s předchozí nebo expertní znalostí)  $f(\theta | d(0)) = f(\theta)$ . Pro další operace se vzorec pro diskrétní model přepíše do tzv. součinnového tvaru:

$$f(y_t | \psi_t, \theta) = \prod_{y|\psi \in \Psi^*} \theta_{y|\psi}^{\delta(y|\psi, y_t|\psi_t)} \quad (5.1)$$

- Vektorový index (multiindex) –  $y|\psi$
- Množina všech takových konfigurací –  $\Psi^*$
- Kroneckerova funkce (rovná se 1, pokud platí  $y|\psi = y_t|\psi_t$ , jinak je 0) –  $\delta(y|\psi, y_t|\psi_t)$

Úprava diskrétního modelu do součinnového tvaru je pouze jiná podoba vyjádření. Pro všechny  $y|\psi \neq y_t|\psi_t$  vyjde  $\theta^0 = 1$  a pouze pro  $y|\psi = y_t|\psi_t$  je  $\theta^1 = \theta_{y_t|\psi_t}$ . Tento tvar pak dokládá, jakým způsobem se musí volit apriorní model parametrů, který má Dirichletovo rozdělení:

$$f(\theta | d(0)) = \prod_{y|\psi \in \Psi^*} \theta_{y|\psi}^{v_{y|\psi;0}} \quad (5.2)$$

Ve výrazu (5.2) vyjadřuje  $v_{y|\psi;0}$  apriorní statistiku v čase  $t = 0$  pro odhad parametru  $\theta$ . Jde o matici totožných rozměrů, jako je to v případě  $\theta$ . Diskrétní model v tomto případě může být zobrazen v tabulkové formě viz Tabulka 27.



**Tabulka 27** – Tabulkové zobrazení diskrétního modelu. [45]

$v_{y \psi;0}$		
$[u_0, y_{-1}]$	$y_0 = 1$	$y_0 = 2$
1, 1	$v_{1 11}$	$v_{2 11}$
1, 2	$v_{1 12}$	$v_{2 12}$
2, 1	$v_{1 21}$	$v_{2 21}$
2, 2	$v_{1 12}$	$v_{2 12}$

Po dosažení výše uvedených vztahů do Bayesova vzorce (1.6) pro čas  $t = 1$  platí následující tvar:

$$f(\theta|d(1)) \propto \underbrace{\prod_{y|\psi \in \Psi^*} \theta_{y|\psi}^{\delta(y|\psi, y_1|\psi_1)}}_{\text{model}} \underbrace{\prod_{y|\psi \in \Psi^*} \theta_{y|\psi}^{v_{y|\psi;0}}}_{\text{apriorní}} = \underbrace{\prod_{y|\psi \in \Psi^*} \theta_{y|\psi}^{\delta(y|\psi, y_1|\psi_1) + v_{y|\psi;0}}}_{\text{aposteriorní}} = \prod_{y|\psi \in \Psi^*} \theta_{v_{y|\psi;1}}^{\overbrace{\delta(y|\psi, y_1|\psi_1)}^{\text{nová statistika}}} \quad (5.3)$$

Pro tuto rovnici platí, že  $v_{y|\psi;1} = \delta(y|\psi, y_1|\psi_1) + v_{y|\psi;0}$  je statistika modelu parametrů  $f(\theta|d(1))$  pro čas  $t = 1$ . Následně jsou měřena data pro  $t = 2, 3, \dots, N$  a spolu s tím dochází k přepočtu statistiky  $v$  dle vzorce:

$$v_{y|\psi;t} = \delta(y|\psi, y_t|\psi_t) + v_{y|\psi;t-1} \quad (5.4)$$

Aposteriorní hustota pravděpodobnosti parametrů se statistikou  $v_t$  má pak následující tvar:

$$f(\theta|d(t)) \propto \prod_{y|\psi \in \Psi^*} \theta_{y|\psi}^{v_{y|\psi;t}} \quad (5.5)$$

Vzorec pro bodový odhad parametru  $\theta$ :

$$\hat{\theta}_{y|\psi;t} = \frac{v_{y|\psi;t}}{\sum_{y \in y^*} v_{y|\psi;t}} \quad (5.6)$$

Vzorec (5.6) odpovídá statistické definici pravděpodobnosti jevu označeném indexem  $y|\psi$ .

**Tabulka 28** – Tabulkové zobrazení odhadu parametru  $\theta$ . [45]

$\hat{\theta}_t$		
$[u_t, y_{t-1}]$	$y_t = 1$	$y_t = 2$
1, 1	$\hat{\theta}_{1 11;t}$	$\hat{\theta}_{2 11;t}$
1, 2	$\hat{\theta}_{1 12;t}$	$\hat{\theta}_{2 12;t}$
2, 1	$\hat{\theta}_{1 21;t}$	$\hat{\theta}_{2 21;t}$
2, 2	$\hat{\theta}_{1 12;t}$	$\hat{\theta}_{2 12;t}$

Každá možná konfigurace regresního vektoru  $\psi$  obsahuje v čitateli takový počet případů, kolikrát se opakovala tato konkrétní hodnota  $y$  v rámci regresního vektoru. Ve jmenovateli je umístěn celkový počet pokusů. To lze zapsat i tabulkou formou, kdy jednotlivé prvky vycházejí ze vzorce (5.6) viz Tabulka 28.

Při sledování modelované veličiny v čase (popsané dynamickým modelem), lze v čase  $t$  sledovat její předpověď v čase  $t + k$ , resp. odhadovat (predikovat) její hodnotu  $y_{t+k}$ . Na základě podmíněné hustoty pravděpodobnosti lze vyjádřit popis předpovědi:

$$f(y_{t+k}|y(t)) \quad (6.1)$$

Bodový odhad předpovědi (tedy částečný popis), určuje podmíněná střední hodnota:

$$E[y_{t+k}|y(t)] = \int_{y^*} y_{t+k} f(y_{t+k}|y(t)) dy_{t+k} \quad (6.2)$$

## 9.2. Navržený algoritmus odhadu matematického modelu

Jak bylo v úvodu kapitoly nastíněno, aplikování matematického modelu je realizováno programem Scilab. Syntaxe Scilabu vychází, resp. je velmi podobná konkurenčnímu Matlab jazyku. Matematické, resp. statistické funkce v předchozí kapitole jsou v programu zapsány do podoby algoritmu.

Pro všechny typy dopravně-bezpečnostních deficitů je použit téměř totožný program. Liší se pouze nastavením rozdílného počtu vstupních parametrů, které definují expozici svodidla. Obdobná situace je pro datový soubor korelovaných záznamů, resp. dopravních nehod mimo identifikované závady.

Program se skládá z hlavní části, kde jsou jeho primární části a z pomocných funkcí, které jsou během průběhu algoritmu dle potřeby volány. Níže jsou kódy hlavních funkcí ze základní části programu a taktéž vybraných pomocných funkcí. Celý zdrojový kód algoritmu je součástí Přílohy 3.

```
x=dt(:,1:4);           //dominanty určující expozici svodidla
y=dt(:,5);            // riziko – celospolečenská ztráta
ny=max(y);
b=max(x,'r');         // počty hodnot jednotlivých veličin (dominant)
nd=size(dt,1);       // počet záznamů (nehod)
for t=1:nd
    z(t)=psi2row(x(t,:),b); // kódování všech změřených vektorů x
end
zU=unique(z);         // výběr unikátních kódů
m=length(zU);        // počet unikátních kódů
```

**Zdrojový kód 1 – Načtení dat a jejich kódování.**

```

V=zeros(m,ny);           // informační matice
for t=1:nd
    k=psi2row(x(t,:),b);
    j=find(zU==k);
    V(j,y(t))=V(j,y(t))+1; // matice četností
end

```

### Zdrojový kód 2 – Odhad diskrétního modelu.

```

for t=1:nd
    k=psi2row(x(t,:),b); // kód pro změřené x
    j=find(zU==k);      // příslušný řádek z matice f
    [xxx,yp(t)]=max(f(j,:)); // yp je argument maxima = predikce události
end
[y yp] // porovnání nejpravděpodobnější události z dat a její predikce

```

### Zdrojový kód 3 – Predikce diskrétního modelu.

```

function t=psi2row(x, b) // t=b(nd-1)b(nd-2)...b(1)(x(nd)-1)+...+b(1)(x(2)-1)+x(1)
    nd=length(x);
    if argn(2)<2, b=2*ones(1,nd); end
    bb=b(2:nd);
    bb=bb(:)';
    b=[bb 1];
    t=0;
    for j=1:nd
        t=(t+x(j)-1)*b(j);
    end
    t=t+1;
endfunction

```

### Zdrojový kód 4 – Generování regresního vektoru.

```

function x=row2psi(i, b) // i=b(n-1)b(n-2)...b(1)(x(n)-1)+...+b(1)(x(2)-1)+x(1)
    if isscalar(b),
        n=fix(log(i+1)/(log(b)))+1;
        b=b*ones(1,n);
    else
        n=length(b);
    end
    if i>prod(b)
        disp('ERROR: The row number is too big')
        return
    end
    i=i-1;
    for j=1:n
        i=i/b(n-j+1);
        x(n-j+1)=round((i-fix(i))*b(n-j+1)+1);
        i=fix(i);
    end
    x=x(:)';
endfunction

```

### Zdrojový kód 5 – Generování diskrétního regresního vektoru.

### 9.3. Zjištěné výstupy z modelu

Výstupy algoritmu matematického modelu udávají pravděpodobnost pro jednotlivé expozice svodidla, a to na základě celospolečenské škody z dopravních nehod. Tento výstup je totožný pro oba typy datových souborů (korelované záznamy a DN mimo identifikované deficity) v rámci tří řešených dopravně-bezpečnostních deficitů:

- Krátký výškový náběh svodidla
- Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla
- Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem

Níže jsou uvedeny výstupy matematického modelu zvlášť pro každý typ závady v podobě nenormované pravděpodobnosti a následně i v podobě pravděpodobnosti výsledné míry rizika pro expozice svodidla.

#### 9.3.1. Krátký výškový náběh<sup>7</sup>

Dopravní nehody mimo identifikované dopravně-bezpečnostní závady:

**Tabulka 29** – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.<sup>8</sup>

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nenormovaná pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	10	2	0	41	6	13
3., 4.	1	1	2	11	5	0	30	3	6
5., 6.	1	2	1	12	0	0	24	0	6
7., 8.	1	2	2	6	0	0	8	0	2
9., 10.	2	1	1				8	2	2
11., 12.	2	1	2				11	0	0
13., 14.	2	2	1				9	0	0
15., 16.	2	2	2						

**Tabulka 30** – Výsledná pravděpodobnost jednotlivých expozic svodidla pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	83 %	17 %	0 %	68 %	10 %	22 %
3., 4.	1	1	2	69 %	31 %	0 %	77 %	8 %	15 %
5., 6.	1	2	1	100 %	0 %	0 %	80 %	0 %	20 %
7., 8.	1	2	2	100 %	0 %	0 %	80 %	0 %	20 %
9., 10.	2	1	1				67 %	17 %	17 %
11., 12.	2	1	2				100 %	0 %	0 %
13., 14.	2	2	1				100 %	0 %	0 %
15., 16.	2	2	2						

<sup>7</sup> Prázdné buňky v této a v následujících tabulkách výstupu matematického modelu představují takovou expozici svodidla, pro kterou nebyly evidovány dopravní nehody.

<sup>8</sup> U nenormované pravděpodobnosti jednotlivá čísla znamenají, jaký počet záznamů je pro dané riziko evidováno. V případě malého celkového počtu pro danou kategorii klesá přesnost odhadu.

Dopravní nehody korelované s identifikovanými dopravně-bezpečnostními závadami:

**Tabulka 31 – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nenormovaná pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	2	0	0	4	4	10
3., 4.	1	1	2	2	0	0	6	9	6
5., 6.	1	2	1	1	0	0	11	12	4
7., 8.	1	2	2	5	0	0	6	11	1
9., 10.	2	1	1						
11., 12.	2	1	2				4	2	0
13., 14.	2	2	1						
15., 16.	2	2	2	1	0	0			

**Tabulka 32 – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	100 %	0 %	0 %	22 %	22 %	56 %
3., 4.	1	1	2	100 %	0 %	0 %	29 %	43 %	29 %
5., 6.	1	2	1	100 %	0 %	0 %	41 %	44 %	15 %
7., 8.	1	2	2	100 %	0 %	0 %	33 %	61 %	6 %
9., 10.	2	1	1						
11., 12.	2	1	2				67 %	33 %	0 %
13., 14.	2	2	1						
15., 16.	2	2	2	100 %	0 %	0 %			

### 9.3.2. Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla<sup>9</sup>

Dopravní nehody mimo identifikované dopravně-bezpečnostní závady:

**Tabulka 33 – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nenormovaná pravděpodobnost								
				50 km/h			70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2., 3.	1	1	1	21	0	0	10	2	0	41	6	13
4., 5., 6.	1	1	2	12	0	0	11	5	0	30	3	6
7., 8., 9.	1	2	1	18	0	0	12	0	0	24	0	6
10., 11., 12.	1	2	2	12	0	0	1	0	1	8	0	2
13., 14., 15.	2	1	1	21	0	0				8	2	2
16., 17., 18.	2	1	2							11	0	0
19., 20., 21.	2	2	1							9	0	0
22., 23., 24.	2	2	2									

<sup>9</sup> Pro deficit „Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla“ jsou využity i takové expozice, kde byla nejvyšší dovolená rychlost 50 km/h. Důvod je uveden v podkapitole 7.2.4.

**Tabulka 34 – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Pravděpodobnost								
				50 km/h			70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2., 3.	1	1	1	100 %	0 %	0 %	83 %	17 %	0 %	68 %	10 %	22 %
4., 5., 6.	1	1	2	100 %	0 %	0 %	69 %	31 %	0 %	77 %	8 %	15 %
7., 8., 9.	1	2	1	100 %	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	80 %	0 %	20 %
10., 11., 12.	1	2	2	100 %	0 %	0 %	50 %	0 %	50 %	80 %	0 %	20 %
13., 14., 15.	2	1	1	100 %	0 %	0 %				67 %	17 %	17 %
16., 17., 18.	2	1	2							100 %	0 %	0 %
19., 20., 21.	2	2	1							100 %	0 %	0 %
22., 23., 24.	2	2	2									

Dopravní nehody korelované s identifikovanými dopravně-bezpečnostními závadami:<sup>10</sup>

**Tabulka 35 – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nenormovaná pravděpodobnost								
				50 km/h			70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2., 3.	1	1	1	0	1	0	0	3	6	0	4	16
4., 5., 6.	1	1	2	1	0	0	0	2	6	2	0	10
7., 8., 9.	1	2	1							0	6	12
10., 11., 12.	1	2	2				0	1	0	1	2	2
13., 14., 15.	2	1	1							3	0	0
16., 17., 18.	2	1	2									
19., 20., 21.	2	2	1							1	0	0
22., 23., 24.	2	2	2									

**Tabulka 36 – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Pravděpodobnost								
				50 km/h			70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2., 3.	1	1	1	0 %	100 %	0 %	0 %	33 %	67 %	0 %	20 %	80 %
4., 5., 6.	1	1	2	100 %	0 %	0 %	0 %	25 %	75 %	17 %	0 %	83 %
7., 8., 9.	1	2	1							0 %	33 %	67 %
10., 11., 12.	1	2	2				0 %	100 %	0 %	17 %	33 %	50 %
13., 14., 15.	2	1	1							100 %	0 %	0 %
16., 17., 18.	2	1	2									
19., 20., 21.	2	2	1							100 %	0 %	0 %
22., 23., 24.	2	2	2									

<sup>10</sup> Deficity „Krátký výškový náběh“ a „Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla“ jsou porovnávány s totožným datovým souborem nehodových událostí (mimo dopravně-bezpečnostní deficity). A to z důvodu, že obě závady se týkají začátku, resp. konce svodidla a jsou tedy porovnávány s nehodami, které jsou svou polohou lokalizovány v obdobném místě.

### 9.3.3. Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem<sup>11</sup>

Dopravní nehody mimo identifikované dopravně-bezpečnostní závady:

**Tabulka 37 – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.**

Kombinace	Úroveň zadržení svodidla	Vzdálenost svodidla od pevné překážky	Prostorové vedení PK	Nenormovaná pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	2	0	0	103	9	15
3., 4.	1	1	2	9	0	0	66	1	12
5., 6.	1	2	1	2	0	0	103	9	15
7., 8.	1	2	2	9	0	0	66	1	12
9., 10.	2	1	1	6	0	0	31	0	3
11., 12.	2	1	2	3	0	0	12	2	3
13., 14.	2	2	1	6	0	0	31	0	3
15., 16.	2	2	2	3	0	0	12	2	3
17., 18.	3	1	1	3	0	0	11	3	3
19., 20.	3	1	2	14	0	0	16	2	1
21., 22.	3	2	1	3	0	0	11	3	3
23., 24.	2	2	2	14	0	0	16	2	1

**Tabulka 38 – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.**

Kombinace	Úroveň zadržení svodidla	Vzdálenost svodidla od pevné překážky	Prostorové vedení PK	Pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	100 %	0 %	0 %	81 %	7 %	12 %
3., 4.	1	1	2	100 %	0 %	0 %	84 %	1 %	15 %
5., 6.	1	2	1	100 %	0 %	0 %	81 %	7 %	12 %
7., 8.	1	2	2	100 %	0 %	0 %	84 %	1 %	15 %
9., 10.	2	1	1	100 %	0 %	0 %	91 %	0 %	9 %
11., 12.	2	1	2	100 %	0 %	0 %	71 %	12 %	18 %
13., 14.	2	2	1	100 %	0 %	0 %	91 %	0 %	9 %
15., 16.	2	2	2	100 %	0 %	0 %	71 %	12 %	18 %
17., 18.	3	1	1	100 %	0 %	0 %	65 %	18 %	18 %
19., 20.	3	1	2	100 %	0 %	0 %	84 %	11 %	5 %
21., 22.	3	2	1	100 %	0 %	0 %	65 %	18 %	18 %
23., 24.	2	2	2	100 %	0 %	0 %	84 %	11 %	5 %

<sup>11</sup> Parametr Vzdálenost svodidla od pevné překážky nebyl při výpočtu výsledné pravděpodobnosti v matematickém modelu nakonec uplatněn. Tento parametr specifikuje přímo konkrétní závadu, a proto podle něj nemůže být lokalizována expozice svodidla, kde se žádná závada na silničním zachytném zařízení nevyskytuje. Tzn. nebylo by možné takový datový soubor korelovaných záznamů porovnat s druhým datovým souborem.

Nicméně v rámci závady jako takové, tento parametr představuje důležitou informaci. Proto bylo přistoupeno k řešení, kdy jsou korelovaná data rozdělena do dvou skupin dle parametru Vzdálenost svodidla od pevné překážky (konkrétně dle jeho hodnot (0; ½ pracovní šířky), resp. (½ pracovní šířky; konec pracovní šířky)) a již bez tohoto parametru vstupují do modelu. V této formě je následně možné realizovat porovnání výsledků obou datových souborů (které je uvedeno v následující kapitole) a lze tak zjistit vliv tohoto parametru. Pro lepší přehlednost jsou však výstupy pro obě skupiny modelu, stejně jako jejich následné porovnání, uvedeny vždy v jedné tabulce.

Dopravní nehody korelované s identifikovanými dopravně-bezpečnostními závadami:

**Tabulka 39** – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.

Kombinace	Úroveň zadržení svodidla	Vzdálenost svodidla od pevné překážky	Prostorové vedení PK	Nenormovaná pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	1	0	0	1	3	6
3., 4.	1	1	2				2	2	4
5., 6.	1	2	1				4	6	8
7., 8.	1	2	2				1	3	4
9., 10.	2	1	1				3	1	0
11., 12.	2	1	2	0	1	0	0	2	6
13., 14.	2	2	1	5	0	0			
15., 16.	2	2	2	1	0	0	1	5	0
17., 18.	3	1	1	5	0	0			
19., 20.	3	1	2				1	0	0
21., 22.	3	2	1						
23., 24.	2	2	2						

**Tabulka 40** – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.

Kombinace	Úroveň zadržení svodidla	Vzdálenost svodidla od pevné překážky	Prostorové vedení PK	Pravděpodobnost					
				70 km/h			90 km/h		
				Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko	Nízké riziko	Střední riziko	Vysoké riziko
1., 2.	1	1	1	100 %	0 %	0 %	10 %	30 %	60 %
3., 4.	1	1	2				25 %	25 %	50 %
5., 6.	1	2	1				22 %	33 %	44 %
7., 8.	1	2	2				13 %	38 %	50 %
9., 10.	2	1	1				75 %	25 %	0 %
11., 12.	2	1	2	0 %	100 %	0 %	0 %	25 %	75 %
13., 14.	2	2	1	100 %	0 %	0 %			
15., 16.	2	2	2	100 %	0 %	0 %	17 %	83 %	0 %
17., 18.	3	1	1	100 %	0 %	0 %			
19., 20.	3	1	2				100 %	0 %	0 %
21., 22.	3	2	1						
23., 24.	2	2	2						

#### 9.4. Přesnost predikce modelu

Algoritmus matematického modelu obsahuje ještě jeden zdrojový kód, který určuje přenosnost (spolehlivost) výsledku modelu. Konkrétně porovnává predikované pravděpodobnosti pro jednotlivé kombinace řešených dopravně-bezpečnostních deficitů, a to se vstupní hodnotou celospolečenské ztráty pro každou konkrétní dopravní nehodu.

Obecně nelze předem konstatovat, jaká hodnota přesnosti je správná. Přesnost modelu nemůže za žádných okolností dosáhnout 100 %. V takovém případě by musely všechny nehodové události, resp. jejich celospolečenská ztráta vždy odpovídat predikované míře závažnosti. To však s ohledem na skutečný průběh a následky nehod z reálného prostředí není možné.



Nicméně je žádoucí dosáhnout určité přesnosti. Pro tento typ statistického zpracování dat lze požadovat minimálně 50% přesnost pro každý typ deficitu. Případná nižší přesnost výstupu modelu pak může naznačovat např. nevhodně stanovené parametry definující expozici svodidla.

Jak bylo uvedeno v podkapitole 9.3.3, pro deficit „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“ nebyl využit jeden z parametrů (Vzdálenost svodidla od pevné překážky) a datové soubory byly rozděleny dle tohoto parametru na dvě části. To je důvod, proč jsou u tohoto deficitu uvedeny dvě výsledné přesnosti modelu. Tabulka 41 níže uvádí zjištěné přesnosti pro řešené závady.

**Tabulka 41 – Přesnost (spolehlivost) predikce matematického modelu.**

Dopravně-bezpečnostní deficit	Přesnost predikce	
Krátký výškový náběh	56,4 %	
Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla	76,3 %	
Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem	71,1 % <sup>12</sup>	60,5 % <sup>13</sup>

<sup>12</sup> Jedná se o přesnost predikce pravděpodobnosti pro deficit „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“, jehož parametr Vzdálenost svodidla od pevné překážky je v rozmezí (0; ½ pracovní šířky) vzdálenosti od líce svodidla.

<sup>13</sup> Jedná se o přesnost predikce pravděpodobnosti pro deficit „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“, jehož parametr Vzdálenost svodidla od pevné překážky je v rozmezí (½ pracovní šířky; konec pracovní šířky) vzdálenosti od líce svodidla.

## 10. Verifikace hypotéz

V rámci této kapitoly bude provedena komparace výsledků matematického modelu mezi datovými soubory (nehodové události korelované s deficitem, resp. nehodové události mimo evidované deficitem), a to pro všechny řešené typy dopravně-bezpečnostních deficitů. Na základě tohoto porovnání bude realizována verifikace pracovních hypotéz definovaných v kapitole 8.

Výsledky jsou porovnávány postupně dle jednotlivých deficitů. Na počátku je pro každý typ závady uvedena průměrná celospolečenská ztráta pro každou individuální kombinaci, a to pro lepší názornost. Následně jsou uvedeny tabulky s porovnáním výsledků z matematického modelu pro oba datové soubory. Jedná se o zkrácené tabulky, kde je uvedeno pouze číslo kombinace, které určuje expozici svodidla a následně už výsledky. Prázdné buňky v tabulkách opět reprezentují kombinace, pro které nebyly v rámci obou modelů lokalizovány nehodové události. Podrobná tabulka výsledné hypotézy, kde je uveden současně podrobný textový popis jednotlivých parametrů definujících expozici svodidla, je součástí příloh 4.1 – 4.3.

### 10.1. Pracovní hypotéza I. – Krátký výškový náběh

Pracovní hypotéza I. stanovuje závažnost pro expozice deficitu „Krátký výškový náběh“. Tabulka 43 znázorňuje navýšení celospolečenské ztráty, ke kterému dochází u dopravních nehod v okolí evidovaných závad silničních záchytných systémů. Oba datové soubory potvrzují vhodné seřazení jednotlivých expozic svodidla do tabulky, kdy dochází ke zvyšování míry rizika z levého dolního rohu směrem do pravého horního rohu. Současně je potvrzen vliv dopravně-bezpečnostního deficitu ocelového svodidla na celospolečenské ztráty, kdy je z tabulky jasně patrný výrazný nárůst hodnot. V některých případech (např. 2. a 4. kombinace) je nárůst dvojnásobný.

**Tabulka 42** – Vzájemné porovnání průměrné celospolečenské ztráty pro deficit – Krátký výškový náběh.

Kombinace	Průměrná celospolečenská ztráta			
	DN bez evidované závady		Korelované záznamy	
	70 km/h	90 km/h	70 km/h	90 km/h
1., 2.	105 917	241 622	165 000	501 311
3., 4.	93 438	223 372	95 250	475 967
5., 6.	109 833	208 807	40 000	338 696
7., 8.	78 350	237 340	33 000	287 487
9., 10.		216 683		
11., 12.		84 091		148 700
13., 14.		30 667		
15., 16.			10 000	

Tabulka 43 již popisuje výsledky matematického modelu pro oba datové soubory řešeného dopravně-bezpečnostního deficitu. Tabulka 44 následně vyjadřuje výslednou

změnu hodnot pravděpodobnosti v případě porovnání obou datových souborů. Vyhodnocení porovnání pravděpodobností je rozděleno do skupin na základě výsledku ověření pracovní hypotézy.

**Tabulka 43 – Vzájemné porovnání pravděpodobnosti jednotlivých expozic pro deficit – Krátký výškový náběh.<sup>14</sup>**

Kombinace	DN bez evidované závady						Korelované záznamy					
	70 km/h			90 km/h			70 km/h			90 km/h		
	N	S	V	N	S	V	N	S	V	N	S	V
1., 2.	83 %	17 %	0 %	68 %	10 %	22 %	100 %	0 %	0 %	22 %	22 %	56 %
3., 4.	69 %	31 %	0 %	77 %	8 %	15 %	100 %	0 %	0 %	29 %	43 %	29 %
5., 6.	100 %	0 %	0 %	80 %	0 %	20 %	100 %	0 %	0 %	41 %	44 %	15 %
7., 8.	100 %	0 %	0 %	80 %	0 %	20 %	100 %	0 %	0 %	33 %	61 %	6 %
9., 10.				67 %	17 %	17 %						
11., 12.				100 %	0 %	0 %				67 %	33 %	0 %
13., 14.				100 %	0 %	0 %						
15., 16.							100 %	0 %	0 %			

**Tabulka 44 – Změna výsledné pravděpodobnosti datových souborů pro deficit – Krátký výškový náběh.**

Kombinace	70 km/h			90 km/h		
	N	S	V	N	S	V
1., 2.	17 %	-17 %	0 %	-46 %	12 %	34 %
3., 4.	31 %	-31 %	0 %	-48 %	35 %	13 %
5., 6.	0 %	0 %	0 %	-39 %	44 %	-5 %
7., 8.	0 %	0 %	0 %	-47 %	61 %	-14 %
9., 10.						
11., 12.				-33 %	33 %	0 %
13., 14.						
15., 16.						

A. **Hypotéza byla potvrzena** – Pro kombinace je v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů a současně stanovený předpoklad odpovídá výsledné pravděpodobnosti.

Vysoká závažnost byla v pracovní hypotéze stanovena pro 2. kombinaci, což bylo potvrzeno při porovnání výsledků matematického modelu. Pravděpodobnost pro vysoké riziko se pro tuto expozici zvýšila o 34 %, a to na výsledných 56 %. Současně došlo ke zvýšení pravděpodobnosti středního rizika, které se však zvýšilo pouze o 12 % (na celkových 22 %). Nízké riziko pokleslo o téměř 50 %.

Dále byla potvrzena pracovní hypotéza pro 4. a 6. kombinaci. U těchto expozic svodidla bylo v pracovní hypotéze navrženo střední riziko, které odpovídá i výsledkům modelu.

<sup>14</sup> Pokud je pro expozici deficitu stanovena pravděpodobnost pouze pro jeden z datových souborů, verifikaci pracovní hypotézy nelze realizovat.

Pro 4., resp. 6. kombinaci dochází ke zvýšení pravděpodobnosti středního rizika o 35 % (na výsledných 43 %), resp. 44 % (na výsledných 44 %) a obdobnému poklesu pravděpodobnosti pro nízké riziko.

V poslední řadě došlo k potvrzení 7. a 12. kombinace. V případě první kombinace byly všechny evidované případy ohodnoceny pouze nízkým rizikem. Pro 12. kombinaci nicméně došlo ke zvýšení středního rizika o 33 % (dříve bylo nulové), ale přesto je výsledná pravděpodobnost pro nízké riziko stále dvojnásobná.

**B. Hypotéza byla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů, nicméně výsledná pravděpodobnost malého počtu dat odpovídá stanovenému předpokladu.

Z expozic pro rychlost 70 km/h byla potvrzena 5. kombinace. Obsahuje pouze jeden evidovaný případ v souboru korelovaných záznamů, který však svou pravděpodobností prokazuje správnost stanoveného rizika na základě expertní znalosti.

**C. Hypotéza byla upravena** – Pro kombinace je v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů, nicméně stanovený předpoklad neodpovídá výsledné pravděpodobnosti.

8. kombinace dle výsledků neodpovídá navržené pracovní hypotéze, kde bylo pro tuto kombinaci stanoveno nízké riziko. Na základě výsledků je v případě korelovaných záznamů vyšší pravděpodobnost pro střední riziko o 61 %, a to na výsledných 61 %. Pravděpodobnost pro nízké riziko pak klesá téměř o 50 % na výslednou hodnotu 33 %. Na základě matematického modelu je tedy pro tuto kombinaci nutné upravit pracovní hypotézu na střední riziko.

**D. Hypotéza nebyla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů a současně stanovený předpoklad neodpovídá výsledné pravděpodobnosti.<sup>15</sup>

Pro 1. a 3. kombinaci jsou lokalizovány v korelovaných záznamech pouze dva případy. Výsledné riziko (určené na základě pravděpodobnosti) je pro datový soubor korelovaných záznamů nižší, než je stanoveno v pracovní hypotéze. Toto zkreslení výsledků je zaviněno právě nízkým, a tudíž nedostatečným počtem záznamů.

**E. Hypotéza nebyla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidován žádný záznam, nelze potvrdit stanovený předpoklad.

Zbývající kombinace (9. – 11. a 13. – 16.) nebylo z důvodu nedostatku dat v datových souborech možné ověřit. Samotná skutečnost, že je pro tyto expozice evidováno méně dopravních nehod poukazuje na situaci, že se nejedná o příliš rizikové kombinace.

---

<sup>15</sup> Pracovní hypotéza v tomto případě není potvrzena ani vyvrácena (z důvodu malého počtu záznamů). Pro její ověření je potřeba více měřených dat.

## 10.2. Pracovní hypotéza II. – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla

Pracovní hypotéza II. stanovuje závažnost pro expozice deficitu „Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla“. Tabulka 45 znázorňuje navýšení celospolečenské ztráty, ke které dochází u dopravních nehod v okolí evidovaných závad silničních záchytných systémů. Vzájemným porovnáním této škody je opět potvrzeno, že dochází k postupnému zvyšování rizikivosti jako v předchozím případě, tedy z levého dolního rohu do pravého horního rohu. Současně s tím je prokázán vliv deficitu silničního bezpečnostního zařízení na výši celospolečenské ztráty. V pravé části tabulky pro korelované záznamy je jasně patrný výrazný nárůst průměrných hodnot. Pouze v případě 15. kombinace parametrů svodidla došlo k poklesu, který je primárně způsobem malým počtem dat v korelovaném datovém souboru pro tuto expozici (viz podkapitola 9.3.2).

**Tabulka 45** – Vzájemné porovnání průměrné celospolečenské ztráty pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.

Kombinace	DN bez evidované závady			Korelované záznamy		
	50 km/h	70 km/h	90 km/h	50 km/h	70 km/h	90 km/h
1., 2., 3.	41 714	105 917	241 622	215 000	505 333	805 210
4., 5., 6.	51 300	93 438	223 372	60 000	446 750	586 900
7., 8., 9.	24 000	109 833	208 807			517 667
10., 11., 12.	55 000	78 350	237 340		277 000	480 950
13., 14., 15.	35 429		216 683			57 333
16., 17., 18.			84 091			
19., 20., 21.			30 667			45 000
22., 23., 24.						

Tabulka 46 již popisuje výsledky matematického modelu pro oba datové soubory řešeného dopravně-bezpečnostního deficitu. Tabulka 47 následně vyjadřuje výslednou změnu hodnot pravděpodobnosti v případě porovnání obou datových souborů. Vyhodnocení porovnání pravděpodobností je rozděleno do skupin na základě výsledku ověření pracovní hypotézy.

**Tabulka 46** – Vzájemné porovnání pravděpodobnosti jednotlivých expozic pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.

Kombinace	DN bez evidované závady									DN bez evidované závady								
	50 km/h			70 km/h			90 km/h			50 km/h			70 km/h			90 km/h		
	N	S	V	N	S	V	N	S	V	N	S	V	N	S	V	N	S	V
1., 2., 3.	100 %	0 %	0 %	83 %	17 %	0 %	68 %	10 %	22 %	0 %	100 %	0 %	0 %	33 %	67 %	0 %	20 %	80 %
4., 5., 6.	100 %	0 %	0 %	69 %	31 %	0 %	77 %	8 %	15 %	100 %	0 %	0 %	0 %	25 %	75 %	17 %	0 %	83 %
7., 8., 9.	100 %	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	80 %	0 %	20 %							0 %	33 %	67 %
10., 11., 12.	100 %	0 %	0 %	50 %	0 %	50 %	80 %	0 %	20 %				0 %	100 %	0 %	17 %	33 %	50 %
13., 14., 15.	100 %	0 %	0 %				67 %	17 %	17 %							100 %	0 %	0 %
16., 17., 18.							100 %	0 %	0 %									
19., 20., 21.							100 %	0 %	0 %							100 %	0 %	0 %
22., 23., 24.																		

**Tabulka 47 – Změna výsledné pravděpodobnosti datových souborů pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.**

Kombinace	50 km/h			70 km/h			90 km/h		
	N	S	V	N	S	V	N	S	V
1., 2., 3.	-100 %	100 %	0 %	-83 %	17 %	67 %	-68 %	10 %	58 %
4., 5., 6.	0 %	0 %	0 %	-69 %	-6 %	75 %	-60 %	-8 %	68 %
7., 8., 9.							-80 %	33 %	47 %
10., 11., 12.				-50 %	100 %	-50 %	-63 %	33 %	30 %
13., 14., 15.							33 %	-17 %	-17 %
16., 17., 18.									
19., 20., 21.							0 %	0 %	0 %
22., 23., 24.									

A. **Hypotéza byla potvrzena** – Pro kombinace je v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů a současně stanovený předpoklad odpovídá výsledné pravděpodobnosti.

Vysoká rizikovost byla v 2. pracovní hypotéze potvrzena v případech 3., 6., 9. a 12. kombinace pro rychlost 90 km/h, resp. 2. a 5. kombinace pro rychlost 70 km/h.

Pro první skupinu byla zvýšena pravděpodobnost pro vysoké riziko v průměru téměř o 60 %, kdy současně došlo k obdobnému poklesu nízkého rizika. Pravděpodobnost pro střední riziko v těchto případech se zvýšila jen nepatrně. Výjimku představuje 12. kombinace, kdy došlo ke zvýšení středního rizika, resp. vysokého o 33 %, resp. o 30 %. Oproti této změně však zůstává celková hodnota pravděpodobnosti vysokého rizika výrazně vyšší, a to 50 % – střední riziko dosahuje 33% pravděpodobnosti.

V případě druhé skupiny (rychlost 70 km/h) pro 2., resp. 5. kombinaci došlo ke zvýšení pravděpodobnosti o 67 %, resp. o 75 %. V obou případech byla v datovém souboru mimo evidované nehody nulová pravděpodobnost vysokého rizika.

B. **Hypotéza byla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů, nicméně výsledná pravděpodobnost malého počtu dat odpovídá stanovenému předpokladu.

Přes malý počet evidovaných případů byla potvrzena pracovní hypotéza pro 1. a 11. kombinaci, kdy bylo těmito expozicím navrženo střední riziko. Pravděpodobnost tohoto rizika při porovnání datových souborů vrostla o 100 %, jelikož všechny evidované případy korelovaných dopravních nehod spadaly do této kategorie. Pravděpodobnost určená na základě malého počtu dat odpovídá stanovenému riziku definovanému dle expertní znalosti.

C. **Hypotéza nebyla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů a současně stanovený předpoklad neodpovídá výsledné pravděpodobnosti.

4., 15., a 21. kombinace dle výsledků neodpovídá navržené pracovní hypotéze, kde bylo pro tuto kombinaci stanoveno střední riziko, ale na základě porovnání výsledků

matematického modelu vychází riziko nízké. To je způsobeno malým počtem záznamů pro tyto tři kombinace, kdy pro 15. kombinaci jsou zaznamenány pouze 3 případy a pro zbylé kombinace je evidován pouze jeden případ.

**D. Hypotéza nebyla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidován žádný záznam, nelze potvrdit stanovený předpoklad.

Zbývající kombinace (7., 8., 10., 13., 14., 16. – 20., 22. – 24.) nebylo z důvodu nedostatku dat v datových souborech možné ověřit. Samotná skutečnost, že je pro tyto expozice evidováno méně dopravních nehod, již napovídá, že se nejedná o příliš rizikové kombinace.

### 10.3. Pracovní hypotéza III. – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem

Pracovní hypotéza III. stanovuje závažnost pro expozice deficitu „Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem“. Tabulka 48 znázorňuje rozdíl, o kolik dochází u dopravních nehod v okolí evidovaných závad silničních záchytných systémů ke zvýšení celospolečenské ztráty. Na základě vzájemného porovnání je i zde potvrzen trend rostoucí celospolečenské ztráty ve směru z levého dolního rohu do pravého horního rohu. Současně je patrný vliv dopravně-bezpečnostního deficitu ocelového svodidla na celospolečenské ztráty. Korelované záznamy v levé části tabulky dosahují výrazně vyšší průměrné ztráty.

**Tabulka 48** – Vzájemné porovnání průměrné celospolečenské ztráty pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.

Kombinace	DN bez evidované závady		Korelované záznamy	
	70 km/h	90 km/h	70 km/h	90 km/h
1., 2.	70 000	162 922	50 000	780 550
3., 4.	63 556	247 659		1 598 125
5., 6.	70 000	162 922		577 311
7., 8.	63 556	247 659		580 425
9., 10.	49 029	212 312		95 000
11., 12.	46 083	185 696	200 000	661 000
13., 14.	49 029	212 312	42 000	
15., 16.	46 083	185 696	50 000	219 005
17., 18.	28 333	217 064	28 000	
19., 20.	48 036	136 722		85 000
21., 22.	28 333	217 064		
23., 24.	48 036	136 722		

Tabulka 49 již popisuje výsledky matematického modelu pro oba datové soubory řešeného dopravně-bezpečnostního deficitu. Tabulka 50 následně vyjadřuje výslednou změnu hodnot pravděpodobnosti v případě porovnání obou datových souborů. Vyhodnocení porovnání pravděpodobností je rozděleno do skupin na základě výsledku ověření pracovní hypotézy.

**Tabulka 49 – Vzájemné porovnání pravděpodobnosti jednotlivých expozic pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.**

Kombinace	DN bez evidované závady						Korelované záznamy					
	70 km/h			90 km/h			70 km/h			90 km/h		
	N	S	V	N	S	V	N	S	V	N	S	V
1., 2.	100 %	0 %	0 %	81 %	7 %	12 %	100 %	0 %	0 %	10 %	30 %	60 %
3., 4.	100 %	0 %	0 %	84 %	1 %	15 %				25 %	25 %	50 %
5., 6.	100 %	0 %	0 %	81 %	7 %	12 %				22 %	33 %	44 %
7., 8.	100 %	0 %	0 %	84 %	1 %	15 %				13 %	38 %	50 %
9., 10.	100 %	0 %	0 %	91 %	0 %	9 %				75 %	25 %	0 %
11., 12.	100 %	0 %	0 %	71 %	12 %	18 %	0 %	100 %	0 %	0 %	25 %	75 %
13., 14.	100 %	0 %	0 %	91 %	0 %	9 %	100 %	0 %	0 %			
15., 16.	100 %	0 %	0 %	71 %	12 %	18 %	100 %	0 %	0 %	17 %	83 %	0 %
17., 18.	100 %	0 %	0 %	65 %	18 %	18 %	100 %	0 %	0 %			
19., 20.	100 %	0 %	0 %	84 %	11 %	5 %				100 %	0 %	0 %
21., 22.	100 %	0 %	0 %	65 %	18 %	18 %						
23., 24.	100 %	0 %	0 %	84 %	11 %	5 %						

**Tabulka 50 – Změna výsledné pravděpodobnosti datových souborů pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.**

Kombinace	70 km/h			90 km/h		
	N	S	V	N	S	V
1., 2.	0 %	0 %	0 %	-71 %	23 %	48 %
3., 4.				-59 %	24 %	35 %
5., 6.				-59 %	26 %	33 %
7., 8.				-71 %	36 %	35 %
9., 10.				-16 %	25 %	-9 %
11., 12.	-100 %	100 %	0 %	-71 %	13 %	57 %
13., 14.	0 %	0 %	0 %			
15., 16.	0 %	0 %	0 %	-54 %	72 %	-18 %
17., 18.	0 %	0 %	0 %			
19., 20.				16 %	-11 %	-5 %
21., 22.						
23., 24.						

**A. Hypotéza byla potvrzena** – Pro kombinace je v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů a současně stanovený předpoklad odpovídá výsledné pravděpodobnosti.

Na základě porovnání výsledků matematického modelu byla potvrzena pracovní hypotéza pro 2., 4., 6., 8. a 12. kombinaci s předpokládanou vysokou závažností. V těchto případech dochází k průměrnému zvýšení pravděpodobnosti vysoké závažnosti o 30 % – 60 %, resp. střední závažnosti v průměru o 25 %. Pro tyto kombinace je pak vždy nejvyšší pravděpodobnost pro vysoké riziko, která téměř vždy přesahuje 50 %. V případě 12. kombinace je pravděpodobnost dokonce 75 %. Pravděpodobnost pro střední riziko je výrazně nižší a v žádném z případů nepřesáhne 40 %.

Střední míra závažnosti byla potvrzena pro 16. kombinaci, a to s více než 80% pravděpodobností. Ta se oproti datovému souboru bez evidovaných deficitů bezpečnostních prvků zvýšila o 72 %. Pravděpodobnost u této expozice pro vysoké riziko byla nulová, resp. pro nízké riziko činila 17 %.



Dále byla prokázána pracovní hypotéza pro 13. a 17. kombinaci. Pro tyto expozice byla potvrzena nízká závažnost, kdy pro jinou úroveň závažnosti nebyly identifikovány žádné další případy.

**B. Hypotéza byla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů, nicméně výsledná pravděpodobnost malého počtu dat odpovídá stanovenému předpokladu.

11., resp. 15. kombinace odpovídá úrovni závažnosti pracovní hypotéze, tedy střednímu (11. kombinace) a nízkému (15. kombinace) riziku. Pro každou z těchto expozic byl však evidován pouze jeden případ.

**C. Hypotéza nebyla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidováno dostatečné množství záznamů a současně stanovený předpoklad neodpovídá výsledné pravděpodobnosti.

Následující tři kombinace pak na základě porovnání výstupů z matematického modelu neodpovídají pracovní hypotéze. Jedná se o 1., 10. a 20. kombinaci. V případě 10. kombinace bylo navrženo vysoké riziko, nicméně výstup modelu má nejvyšší pravděpodobnost pro nízké riziko, a to 75 %. Došlo však k mírnému nárůstu středního rizika (o 25 %). Tato situace je způsobena opět malým počtem evidovaných dat – pro tuto expozici jsou zaznamenány pouze čtyři záznamy.

Obdobná situace platí pro 1. a 20. kombinaci, kdy pro každou z expozic je zaznamenán pouze jeden případ. Tyto případy pak nespádají do předpokládané závažnosti, jejich rizikovitost je výrazně nižší.

**D. Hypotéza nebyla potvrzena** – Pro kombinace není v datových souborech evidován žádný záznam, nelze potvrdit stanovený předpoklad.

Zbývající kombinace (3., 5., 7., 9., 14., 18., 19., 21. – 24.) nebylo z důvodu nedostatku dat v datových souborech možné ověřit. Skutečnost, že je pro tyto expozice evidováno méně dopravních nehod, již napovídá, že se nejedná o příliš rizikové kombinace.

#### 10.4. Vliv nejistot na výsledky ověření hypotéz

V případě statistického přístupu k řešené problematice je vždy nutné zahrnout vliv nejistot na výstupy matematického modelu. V rámci tématu disertační práce lze uvažovat celkově o třech typech nejistot, konkrétně se jedná o nejistoty týkající se:

- Dopravních nehod
- Počtu záznamů datových souborů
- Použitých parametrů pro definování expozice svodidla

Tyto skupiny nejistot jsou podrobněji definovány v následujících podkapitolách.

### 10.4.1. Dopravní nehody

Jak bylo popsáno v podkapitole 6.1, vstupní data dopravní nehodovosti pocházejí z databáze „Formuláře evidence nehod v silničním provozu“. Jedná se o základní informace o dopravní nehodě, které obsahují pouze data primárně pro statistické účely. Nejsou zde obsaženy bližší informace o průběhu dopravní nehody, fotodokumentace z místa nehodové události ani výpovědi svědků.

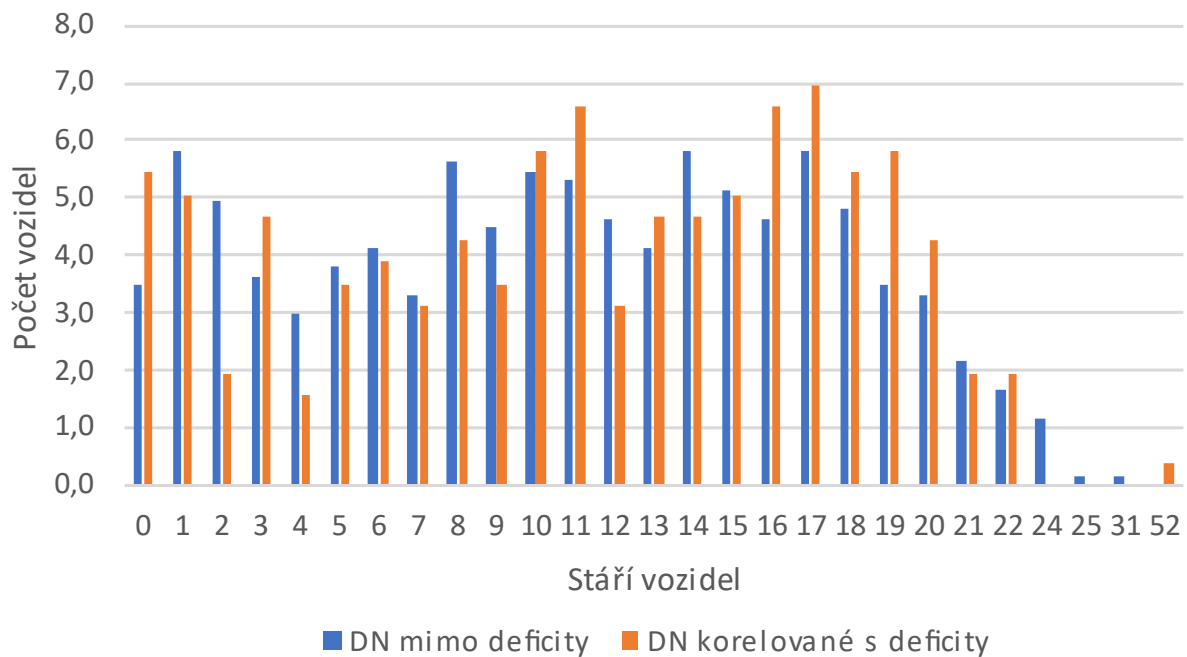
Charakter zranění účastníků dopravních nehody není pro PČR obtížné v rámci zásahu určit, to však již s určitostí nelze říct o stanovení hmotné škody. Z tabulek v podkapitole 10.1, 10.2 a 10.3 je patrné, že výsledná průměrná celospolečenská ztráta u evidovaných dopravních nehod není vysoká, a že z velké části se jedná pouze o hmotnou škodu. Ta je nicméně určována na místě příslušníky PČR na základě odborného odhadu. Ten však nemusí být ve výsledku vždy přesný, resp. může být zkreslen skrytým poškozením dalších částí vozidla nebo okolní infrastruktury, které se při prvotním ohledání DN neprojevily.

V důsledku toho, že velká část dopravních nehod obsahuje pouze hmotnou škodu, lze odůvodněně očekávat kromě nepřesného odhadu škody i další jev. Jelikož se pro porovnání výsledné velikosti využívá celková celospolečenská ztráta, kterou z velké míry ovlivňuje i hmotná škoda, dochází k ovlivnění i na základě typu a stáří vozidla.

Z poskytnutých dat dopravní nehodovosti lze vyčíst pouze stáří vozidla v době vzniku nehodové události a jeho značku. Pokud by došlo k porovnávání výsledků, kde jeden datový soubor obsahuje pouze vozidla starší výroby, a oproti tomu druhý soubor obsahuje pouze relativně nová vozidla, lze odůvodněně předpokládat vyšší hmotnou škodu právě u nových vozidel. To ve výsledku nemusí odrážet skutečnou rizikovitost deficitu.

Podobná situace nastává v případě výrobce vozidla. Prémiová vozidla (např. Porsche, Rolls-Royce) jsou obecně dražší a při dopravní nehodě následně generují výrazně vyšší hmotnou škodu. Taková vozidla nebyla v žádném datovém souboru v rámci DN evidována. Nicméně rozdílná cena může mít vliv i u běžných výrobců osobních vozidel. Pro jednotlivé nehody nelze určit, zda došlo ke srážce levného, resp. drahého vozidla – lze očekávat rozdílnou hmotnou škodu pro základní verzi automobilu Škoda Fabia a pro nejvyšší verzi automobilu Škoda Kodiaq, a to při totožné dopravní nehodě.

Statistický přístup řešení dané problematiky umožňuje tento jev částečně zohlednit. Oba datové soubory obsahují stovky záznamů dopravních nehod, kde se vyskytují jak levné i drahé automobily od různých výrobců, tak i nové a staré automobily. To dokazuje Graf 7, kde je zobrazeno stáří vozidel pro oba datové soubory a je z něj patrné, že stáří vozového parku je u obou souborů podobné. Pro lepší názornost jsou hodnoty z obou datových souborů přepočítány na 100 dopravních nehod, aby byl eliminován vliv rozdílného počtu vozidel.



**Graf 7 – Počet dopravních nehod (kolize se záchytným zařízením) ve sledovaném období 2015–2019. [14]**

Průměrné stáří vozidel v době vzniku nehodové události je pro datový soubor nehod evidovaných mimo deficity 10,8 let, resp. 11,5 let pro korelované záznamy. Kromě této podobnosti je v rámci verifikace pracovních hypotéz ověřováno, zda pro jednotlivé kombinace nedochází mezi porovnávanými datovými soubory k výraznému rozdílu stáří automobilu. Pokud by taková situace nastala, bylo by to zahrnuto do kalkulace výsledné závažnosti.

#### 10.4.2. Počet záznamů datových souborů

Významný vliv na přesnost výsledků a jejich správnou interpretaci má i celkový počet záznamů pro oba typy datových souborů. Jak bylo několikrát naznačeno v textu výše, pro správné ověření hypotézy je nutné mít pro každou kombinaci deficitu dostatečný počet dat, a to jak pro datový soubor dopravních nehod mimo evidované deficity, tak i pro korelované záznamy. Obecně lze říct, že minimální počet případů, který zajistí přijatelnou vypovídající hodnotu, je pět záznamů. [43] Nicméně je žádoucí identifikovat pro každou expozici svodidla více záznamů, čímž bude docíleno vyšší přesnosti a zároveň tím budou eliminovány různé excesy řidičů, které mohou negativně ovlivňovat výstupy modelu. Jedná se o závažné nehodové události, které v důsledku hrubého porušení předpisů, resp. fatální chyby řidiče, vedly k velmi závažným zraněním, resp. k usmrcení. Pokud bude obdobná nehoda zaznamenána v případě kombinace deficitu, kde je očekávána nízká rizikovost, dojde k výraznému zkreslení. Proto bylo v případě verifikace hypotézy nutné přihlížet taktéž k počtu evidovaných případů pro každou expozici svodidla.

### 10.4.3. Použité parametry pro definování expozice svodidla

Mezi další neurčitost lze zařadit samotné definování jednotlivých parametrů charakterizujících vlastnosti předmětného svodidla a jeho okolí. Jen samotné definování těchto parametrů je zatíženo určitou nejistotou. Mohlo dojít k opomenutí důležité veličiny, které výrazně ovlivňuje výslednou rizikovitost. Obdobnou problematiku je možné spatřovat v případě stanovení veličin, jakých může každý parametr nabývat.

Aby autor práce zajistil minimalizaci vlivu nejistoty pro výběr parametrů (a definování jejich hodnot, jakých mohou nabývat), nestanovoval tyto vlastnosti samostatně, ale v rámci širšího týmu odborníků v dané problematice. Současně byl opakovaně testován vliv vybraných parametrů v rámci kalibrace matematického modelu. Podrobný postup pro definování těchto parametrů je uveden v podkapitole 7.2.

### 10.5. Výsledky verifikace hypotéz

Pro každý typ deficitu bylo provedeno porovnání pracovní hypotézy s výstupy z matematického modelu (viz podkapitola 10.1, 10.2 a 10.3). V rámci verifikace došlo k ověření platnosti definovaných rizik pro jednotlivé expozice v každé pracovní hypotéze. Napříč všemi řešenými dopravně-bezpečnostními deficity bylo celkem stanoveno 64 kombinací. Z toho bylo na základě matematického modelu verifikováno 26 kombinací, tedy přibližně 41 %. Pro zbylých 38 případů nebyl evidován dostatečně vypovídající datový vzorek.

Níže uvedené tabulky obsahují potvrzené kombinace jednotlivých pracovních hypotéz. V těchto případech, kdy je rizikovitost pro konkrétní kombinaci (expozici) ověřena, se již nejedná o pracovní hypotézu, ale o hypotézu.

#### **Hypotéza I. – Krátký výškový náběh**

Pracovní hypotéza I. byla potvrzena z 16 kombinací v 8 případech. Nepotvrzeno bylo dohromady 8 expozic svodidla. Níže uvedená Tabulka 51 obsahuje výsledné potvrzené kombinace. Hypotéza I. je tímto ověřena a je platná pro kombinace 2., 4. – 8., 12. a 15.

**Tabulka 51 – Hypotéza I. – Krátký výškový náběh svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nejvyšší dovolená rychlost	
				70 km/h	90 km/h
1., 2.	1	1	1	Nepotvrzeno	Vysoké riziko
3., 4.	1	1	2	Nepotvrzeno	Střední riziko
5., 6.	1	2	1	Nízké riziko	Střední riziko
7., 8.	1	2	2	Nízké riziko	Střední riziko
9., 10.	2	1	1	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
11., 12.	2	1	2	Nepotvrzeno	Nízké riziko
13., 14.	2	2	1	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
15., 16.	2	2	2	Nízké riziko	Nepotvrzeno

### **Hypotéza II. – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla**

Pracovní hypotéza II. byla potvrzena z 24 kombinací v 8 případech. Nepotvrzeno bylo dohromady 16 expozičních svodidla. Níže uvedená Tabulka 52 obsahuje výsledné potvrzené kombinace. Hypotéza II. je tímto ověřena a je platná pro kombinace 1., 3., 5., 6., 9., 11., 12.

**Tabulka 52 – Hypotéza II. – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.**

Kombinace	Směrové vychýlení začátku svodidla	Poloha deficitu vůči směru jízdy	Prostorové vedení PK	Nejvyšší dovolená rychlost		
				50 km/h	70 km/h	90 km/h
1., 2., 3.	1	1	1	Střední riziko	Vysoké riziko	Vysoké riziko
4., 5., 6.	1	1	2	Nepotvrzeno	Vysoké riziko	Vysoké riziko
7., 8., 9.	1	2	1	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno	Vysoké riziko
10., 11., 12.	1	2	2	Nepotvrzeno	Střední riziko	Vysoké riziko
13., 14., 15.	2	1	1	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
16., 17., 18.	2	1	2	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
19., 20., 21.	2	2	1	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
22., 23., 24.	2	2	2	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno

### **Hypotéza III. – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem**

Pracovní hypotéza III. byla potvrzena z 24 kombinací v 10 případech. Nepotvrzeno bylo dohromady 14 expozičních svodidla. Níže uvedená Tabulka 53 obsahuje výsledné potvrzené kombinace. Hypotéza III. je tímto ověřena a je platná pro kombinace 2., 4., 6., 8., 11. – 13., 15. – 18.

**Tabulka 53 – Hypotéza III. – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.**

Kombinace	Úroveň zadržení svodidla	Vzdálenost svodidla od pevné překážky	Prostorové vedení PK	Nejvyšší dovolená rychlost	
				70 km/h	90 km/h
1., 2.	1	1	1	Nepotvrzeno	Vysoké riziko
3., 4.	1	1	2	Nepotvrzeno	Vysoké riziko
5., 6.	1	2	1	Nepotvrzeno	Vysoké riziko
7., 8.	1	2	2	Nepotvrzeno	Vysoké riziko
9., 10.	2	1	1	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
11., 12.	2	1	2	Střední riziko	Vysoké riziko
13., 14.	2	2	1	Nízké riziko	Nepotvrzeno
15., 16.	2	2	2	Nízké riziko	Střední riziko
17., 18.	3	1	1	Nízké riziko	Nepotvrzeno
19., 20.	3	1	2	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
21., 22.	3	2	1	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno
23., 24.	3	2	2	Nepotvrzeno	Nepotvrzeno

## 11. Závěr

Hlavní myšlenkou disertační práce bylo vytvoření metodického postupu, který bude zpřesňovat výstupy z BI PK, konkrétně závad týkajících se záchytných systémů. Při dodržení tohoto postupu bude zajištěno dosažení vždy identických výsledků BI PK od různých řešitelů, a to v rámci hodnocení úrovně závažnosti identifikovaných deficitů týkajících se svodidel, tlumičů nárazů a dalších bezpečnostních prvků PK. Nebude docházet k situacím, kdy různé týmy auditorů bezpečnosti PK přiřazují odlišné riziko shodné závadě. Tímto bude správci PK vždy umožněno zaměřit se na eliminaci skutečně těch nejrizikovějších závad, a tak efektivněji využít ekonomické a lidské zdroje.

U těchto bezpečnostních zařízení z kategorie silničních záchytných systémů PK jsou kladeny zvýšené nároky na adekvátní technický stav, správnou funkci a jejich vhodné umístění. V případě ztráty kontroly nad vozidlem představují hlavní záchytnou, resp. tlumící bariéru, a to v případě vybočení z PK, resp. nárazu do pevné překážky. Současně je u této kategorie v závislosti na jednotlivých typech závad podstatně obtížnější ohodnotit deficity správným rizikem.

Tato skutečnost v důsledku znamená, že nelze míru rizikovosti kalkulovat pouze na základě evidovaných dopravních nehod v místě identifikovaných deficitů záchytných zařízení. Stanovení závažnosti bylo proto realizováno na základě porovnání výsledků matematického modelu pro dva datové soubory. V prvním případě model vycházel z dat dopravních nehod korelovaných s evidovanými deficity silničních záchytných systémů. V druhém případě se pak jednalo o nehodové události se svodidly, kde v rámci BI PK nebyla lokalizována žádná závada.

Pro každý z těchto datových souborů byla vyfiltrována a zpracována data silniční nehodovosti (v programu QGIS). Pro první typ matematického modelu byla použita vstupní data na základě vzájemné korelace dopravních nehod a závad silničních záchytných zařízení (dle postupu definovaném v kapitole 7). Dohromady bylo identifikováno 328 korelovaných záznamů. Druhý datový soubor obsahuje pouze dopravní nehody, které se staly v místě správně realizovaného silničního záchytného systému. V okolí těchto nehodových událostí tedy nesměly být evidovány jiné deficity, které by mohly mít vliv na výslednou závažnost dopravní nehody. V tomto datovém souboru bylo zaznamenáno 627 dopravních nehod.

Pro statistické zpracování naměřených dat je zapotřebí dostatečné množství vzorků pro každý typ deficitu. Na základě evidovaných počtů pro jednotlivé typy závad (viz podkapitola 7.1, Tabulka 16) byla disertační práce dále zaměřena na stanovení a ověření rizikovosti pouze pro následující tři typy deficitů:

- Krátký výškový náběh svodidla,
- Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla,
- Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.

Závažnost dopravních nehod byla hodnocena na základě celospolečenské ztráty z dopravní nehodovosti. Ta představuje průměrné finanční dopady na ekonomiku v důsledku evidovaných nehodových událostí v rámci jednoho roku. Nehody byly rozčleněny celkem do tří skupin, a to právě podle výše způsobené celospolečenské ztráty. Výsledná podoba tohoto rozdělení dopravních nehod vychází z datového souboru nehodových událostí korelovaných záznamů. A to z důvodu, že celospolečenská ztráta nehod v tomto datovém souboru je právě deficity ovlivněna.

Pro stanovení rizika pro konkrétní závadu silničního záchytného systému bylo nutné definovat charakteristické prvky jeho okolí a vlastnosti daného svodidla, které ovlivňují výslednou rizikovitost – tzv. parametry. Dohromady bylo stanoveno šest typů parametrů, které adekvátně definují expozici bezpečnostního zařízení:

- Úroveň zadržení svodidla,
- Směrové vychýlení začátku svodidla,
- Vzdálenost svodidla od pevné překážky,
- Nejvyšší dovolená rychlost,
- Prostorové vedení PK,
- Poloha deficitu vůči směru jízdy.

Tyto parametry mají rozdílný vliv na dopravní nehody. Proto vybrané parametry nebyly aplikovány pro všechny typy řešených závad. Přiřazení parametrů konkrétním deficitům je uvedeno v podkapitole 7.2, Tabulka 17.

Pro jednotlivé expozice charakterizované parametry závad je navržena konkrétní míra rizika. Tento postup byl aplikován pro všechny řešené dopravně-bezpečnostní deficity. Tím byly definovány tzv. pracovní hypotézy I. – III.

Ověření pracovních hypotéz bylo realizováno na základě porovnání výsledků matematického modelu. Aplikovaný matematický postup funguje na principu klasifikace dat diskrétním modelem a následné predikci (odhadu). Výstupem modelu byla pravděpodobnost rizika pro jednotlivé expozice svodidla, a to dle celospolečenské ztráty z dopravních nehod.

Na základě komparace výsledků matematického modelu, resp. stanovených pravděpodobností pro jednotlivé kombinace deficitů (pro oba datové soubory) byla provedena verifikace hypotéz (viz kapitola 10). V rámci tří řešených závad silničních záchytných systémů bylo celkem stanoveno 64 kombinací. Z toho bylo matematickým modelem verifikováno 26 kombinací, tedy přibližně 41 % všech expozic (viz Tabulka 51, Tabulka 52 a Tabulka 53). Pro zbylých 38 případů nebyl evidován dostatečně vypovídající datový vzorek. Přestože se nejedná ani o polovinu potvrzených kombinací, nachází se v těchto expozicích s modelem potvrzenou závažností více než 90 % všech korelovaných záznamů. Jedná se tedy o nejčastěji se vyskytující expozice dopravně-bezpečnostních deficitů na silniční síti. Zjištěné výsledky jednoznačně prokázaly správnost a vhodnost zvoleného metodického postupu při verifikaci hypotéz.

V rámci činnosti na Ústavu soudního znalectví v dopravě (Fakulta dopravní ČVUT v Praze) budou pokračovat práce na ověření zbývajících expozic, které v průběhu disertační práce nebyly prokázány. Dále, po zpracování dalších BI PK a na základě silniční nehodovosti z novějšího období, bude obdobný postup aplikován na zbývající deficity z kategorie silničních záchytných systémů. Bude tak pokračovat snaha na vytvoření ucelené a ověřené metodiky pro stanovování míry závažnosti pro dopravně-bezpečnostní deficity bezpečnostních zařízení, kterou budou využívat ABPK.

Dalším výstupem disertační práce jsou katalogové listy svodidel. V rámci disertační práce byly použity pro určení typu svodidla a zjištění jeho základních návrhových parametrů. Aktuálně katalogové listy obsahují 41 typů svodidel, kdy jsou obsažena svodidla od úrovně zadržení N2 až do úrovně H4 (používané úrovně zadržení na primární silniční síti). Uplatnění tohoto výstupu lze předpokládat i mimo disertační práci. Katalogové listy budou kromě uplatnění na pracovišti autora představeny i v rámci pravidelného školení ABPK, které je každoročně organizováno panem doc. Ing. Josefem Kocourkem, Ph.D. na pracovišti ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Současně s tím bude pokračovat intenzivní práce na rozšíření katalogových listů nejen o další typy svodidel, ale současně budou doplněny o jiné bezpečnostní prvky (např. tlumiče nárazu). Kromě výše uvedeného je možné uvažovat o transformaci databáze svodidel do oblasti BIM. Vytvořená databáze nejčastěji se vyskytujícími svodidly by mohla vhodně posloužit jako podpůrný nástroj, a to při modelování jednotlivých prvků záchytných systémů v BIM prostředí. [36]



## 12. Zdroje

- [1] Vision Zero Network 2018 – 2021. *What is Vision Zero [online]*. [cit. 2021-08-09]. Dostupné z WWW: <<https://visionzeronetwork.org/about/what-is-vision-zero/>>
- [2] PIARC. *Road Safety Manual [online]*. [cit. 2021-08-09]. Dostupné z WWW: <<https://roadsafety.piarc.org/en>>
- [3] Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky. *Novela zákona o řízení motorových vozidel – návrh [online]*. 2020. [cit. 2021-08-09]. Dostupné z WWW: <<https://www.psp.cz/sqw/text/tiskt.sqw?O=8&CT=837&CT1=0>>
- [4] ELVIK R., VAA T. *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier. 2004. ISBN 0-08-044091-6.
- [5] Metodika provádění. *Bezpečnostní inspekce pozemních komunikací*. Brno. CDV, v.v.i.. 2013. ISBN 978-80-86502-49-6.
- [6] Vyhláška č. 317/2011 Sb., kterou se mění vyhláška č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. *Sbírka zákonů*. 2011. ISSN 1211 - 1244.
- [7] SAFESIDE. *A Computer-Aided Procedure For Integrating Benefits And Costs In Roadside Safety Intervention Decision Making. Safety Science [online]*. Elsevier. 2015(74). ISSN 0925-7535. [cit. 2021-10-10] Dostupné z WWW: <[www.elsevier.com/locate/ssci](http://www.elsevier.com/locate/ssci)>
- [8] SAVeRS – Selection of Appropriate Vehicle Restraint Systems. *Guideline for the selection of the most appropriate Roadside Vehicle Restraint System [online]*. červen 2015. [cit. 2021-10-10] Dostupné z WWW: <[https://www.cedr.eu/download/other\\_public\\_files/research\\_programme/call\\_2012/safety/save\\_rs/SAVeRS\\_Guideline.pdf](https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/call_2012/safety/save_rs/SAVeRS_Guideline.pdf)>
- [9] IRDES – Improving Roadside Design to Forgive Human Errors. *Forgiving Roadside Design Guide [online]*. listopad 2011. [cit. 2021-10-11] Dostupné z WWW: <<https://www.cedr.eu/strategic-plan-tasks/research/era-net-road/call-2009-safety/irdes-project-results/>>
- [10] EuroRAP. *European Road Assessment Programme [online]*. 2021. [cit. 2021-11-11] Dostupné z WWW: <<https://www.eurorap.org>>
- [11] KOCIÁN, K. *Návrh metodiky pro tvorbu nehodových map*. Disertační práce. Praha. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. 2019.
- [12] Seznam.cz. *Mapy.cz [online]*. [cit. 2021-05-06]. Dostupné z WWW: <[mapy.cz/](http://mapy.cz/)>
- [13] Transevropské dopravní síť (TEN-T). *Nová politika transevropské dopravní sítě (TEN-T) [online]*. [cit. 2021-11-11] Dostupné z WWW: <[https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/Transevropske-dopravni-site-\(TEN-T\)](https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Strategie/Transevropske-dopravni-site-(TEN-T))>
- [14] CDV. *Dopravní nehody v ČR [online]*. Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. 2020. [cit. 2021-09-09] Dostupné z WWW: <<https://nehody.cdv.cz>>
- [15] Policejní prezidium ČR. *Ředitelství dopravní policie – Ročenka nehodovosti [Online]*. [cit. 2021-06-30]. Přístupné z WWW: <<https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mg%3D%3D>>
- [16] ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic*. Praha. Český normalizační institut. 2018.
- [17] TP 114 *Svodidla na pozemních komunikacích – konsolidované znění, 2020*.

- [18] ŘSD ČR. *Výkresy opakovaného řešení [Online]*. [cit. 2022-02-02]. Přístupné z WWW: <<https://www.rsd.cz/wps/portal/web/technicke-predpisy/PPK-a-dopravni-znaceni>>
- [19] TP 158 *Tlumiče nárazu*. 2014.
- [20] ČSN EN 1317-1 *Silniční záchytné systémy – Část 1: Terminologie a obecná kritéria pro zkušební metody*. Praha. Český normalizační institut. 2011.
- [21] ČSN EN 1317-2 *Silniční záchytné systémy – Část 2: Svodidla a mostní svodidla – Funkční třídy, kritéria přijatelnosti nárazových zkoušek a zkušební metody*. Praha. Český normalizační institut. 2011.
- [22] ČSN EN 1317-5+A2 *Silniční záchytné systémy – Část 5: Požadavky na výrovky a posuzování shody záchytných systémů pro vozidla*. Praha. Český normalizační institut. 2012.
- [23] ČSN 73 6110 *Projektování místních komunikací*. Praha. Český normalizační institut. 2006.
- [24] ČSN 73 6201 *Projektování mostních objektů*. Praha. Český normalizační institut. 2008.
- [25] Svodidla s.r.o. *Svodidla ocelová VOEST – ALPINE [online]*. [cit. 2022-01-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.svodidla.cz/>>
- [26] Evropská asociace bezpečnosti silnic. *Bezpečnější silnice – Dřevocelová svodidla zmírní nárazy cyklistů a chodců [online]*. [cit. 2021-09-20]. Dostupné z WWW: <<https://bezpecnejsilnice.cz/project/drevo-ocelova-svodidla-zmirni-narazy-cyklistu-chodcu/>>
- [27] TP 139 *Betonové svodidlo*. 2015.
- [28] TP 203 *Ocelová svodidla (svodnicového typu)*. 2015.
- [29] Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. *Sbírka zákonů*. 1997. ISSN 1211 - 1244.
- [30] Vyhláška č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o PK, ve znění pozdějších předpisů. *Sbírka zákonů*. 1997. ISSN 1211 - 1244.
- [31] Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. *Sbírka zákonů*. 2020. ISSN 1211 - 1244.
- [32] Vyhláška č. 30/2001 Sb., kterou se provádí pravidla provozu na PK, ve znění pozdějších předpisů. *Sbírka zákonů*. 2001. ISSN 1211 - 1244.
- [33] KOCOUREK, J. *Posuzování závažnosti dopravních konfliktů a rizik při provádění bezpečnostních inspekcí PK*. Habilitační práce. Praha. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. 2010.
- [34] CEBASS. *Centrální Evidence Bezpečnostních Analýz Silniční Sítě [online]*. Praha. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. [cit. 2021-07-12]. Dostupné z WWW: <<https://cebass.rsd.cz>>
- [35] SAFEROAD Czech Republic. *Tlumiče a ochranné prvky [online]*. [cit. 2022-08-03]. Dostupné z WWW: <<https://www.saferoad.cz/produkty-a-sluzby/tlumice-a-ochranne-prvky/>>
- [36] NOVÁČEK, J., KOHOUT, T., VRTAL, P., SVATÝ, Z., KOCIÁN, K. *Application Of RSA Principles To Improve The BIM In The Road Design Process With Focus On The Road Restraint Systems [online]*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 2022. [cit. 2022-04-04] Dostupné z WWW: <<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-159-2022, 2022>>

- [37] MORENO BAZÁN, Á., ALBERTI, M., G., ARCOS ÁLVAREZ A., TRIGUEROS, J., A. *New Perspectives for BIM Usage in Transportation Infrastructure Projects [online]*. Applied Sciences. 2020. 10(20):7072. [cit. 2022-01-01] Dostupné z WWW: <<https://doi.org/10.3390/app10207072>>
- [38] Eurostat: Data Browser. *Victims in road accidents by NUTS 2 regions [online]*. [cit. 2021-08-19]. Dostupné z WWW: <[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tran\\_r\\_acci/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tran_r_acci/default/table?lang=en)>
- [39] Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. *Celkové ztráty z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích v roce 2019 opět překročily 80 mld. Kč. [online]*. [cit. 2021-08-09]. Dostupné z WWW: <<https://www.cdv.cz/tisk/celkove-ztraty-z-dopravni-nehodovosti-na-pozemnich-komunikacich-v-roce-2019-opet-prekrocily-80-mld-kc/>>
- [40] Požáry.cz. *Fotografie z dopravních nehod [online]*. [cit. 2021-08-19]. Dostupné z WWW: <<https://www.pozary.cz>>
- [41] Idnes.cz. *Kamion narazil do pilíře mostu, řidiče vyprošťovali hasiči [online]*. [cit. 2022-03-09]. Dostupné z WWW: <[https://www.idnes.cz/olomouc/zpravy/mostni-konstrukce-d35-olympia-olomouc-kamion-zaklineny-ridic.A211202\\_141515\\_olomouc-zpravy\\_dmk](https://www.idnes.cz/olomouc/zpravy/mostni-konstrukce-d35-olympia-olomouc-kamion-zaklineny-ridic.A211202_141515_olomouc-zpravy_dmk)>
- [42] Google.com. *Mapy Google [online]*. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z WWW: <<https://www.google.com/maps>>
- [43] NOVOVIČOVÁ, J. *Pravděpodobnost a matematická statistika*. Praha. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2002. ISBN 80-01-01980-2
- [44] NAGY, I. *Pravděpodobnost a matematická statistika*. Praha. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2002, ISBN 80-01-02454-7
- [45] NAGY, I. *Stochastické Systémy*. Katedra Aplikované matematiky. ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Praha, 2013.
- [46] NAGY, I. *Základy bayesovského odhadování a řízení*. Praha. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2003. ISBN 80-01-02748-1
- [47] KÁRNÝ, M. - BOHM, J. - GUY, T.V. - JIRSA, L. - NAGY, I. - NEDOMA, P., - TESAŘ, L. *Optimized Bayesian Dynamic Advising – Theory and Algorithms*. London. Springer. 2005. ISBN 1-85233-928-4
- [48] Scholarpedia. *Bayesian statistics [online]*. [cit. 2022-01-10]. Dostupné z WWW: <[http://www.scholarpedia.org/article/Bayesian\\_statistics](http://www.scholarpedia.org/article/Bayesian_statistics)>
- [49] MIČUNEK, T. *Možnosti snížení následků dopravních nehod technickými opatřeními a opatřeními po nehodě*. Disertační práce. Praha. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. 2010.
- [50] ŠACHL, J., ŠACHL, J.(ml.), SCHMIDT, D., MIČUNEK, T., FRYDRÝN, M. *Analýza nehod v silničním provozu 2*. Praha. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2010. ISBN 978-80-01-04638-8
- [51] Metodika provádění. *Audit bezpečnosti pozemních komunikací*. Brno. CDV, v.v.i.. 2013. ISBN 978-80-86502-44-1

## Seznam obrázků

<b>Obrázek 1</b> – Rozsah realizovaných BI PK ve vybraných krajích. [12].....	13
<b>Obrázek 2</b> – Dálnice a silnice I. třídy zahrnuté v TEN-T síti v roce 2015. [12] .....	14
<b>Obrázek 3</b> – Základní pilíře dopravního provozu a vliv jednotlivých částí na DN. [2] ....	15
<b>Obrázek 4</b> – Bezpečnostní zóna v okolí komunikace. [2] .....	15
<b>Obrázek 5</b> – Ocelové svodidlo umístěné v extravilánu. ....	16
<b>Obrázek 6</b> – Ocelové svodidlo v intravilánu. ....	16
<b>Obrázek 7</b> – Tlumič nárazu v místě dopravního ostrůvku.....	16
<b>Obrázek 8</b> – Další ukázka tlumiče nárazu nacházejícího se v intravilánovém úseku. ...	16
<b>Obrázek 9</b> – Zábradlí oddělující PK a chodník.....	17
<b>Obrázek 10</b> – Zábradlí ochraňující hlubinu před pádem chodce.....	17
<b>Obrázek 11</b> – Model ocelového svodidla KB 1 RH 1 V. [25] .....	18
<b>Obrázek 12</b> – Ocelové svodidlo typu NH4 na dálnici D0. ....	18
<b>Obrázek 13</b> – Ocelové svodidlo na silnici I. třídy č. 16. ....	18
<b>Obrázek 14</b> – Lanové svodidlo ve středním dělicím pásu (dále jen „SDP“) na dálnici D0. .....	19
<b>Obrázek 15</b> – Lanové svodidlo v SDP na dálnici D8.....	19
<b>Obrázek 16</b> – Betonová svodidla po obou stranách dálnice D10.....	19
<b>Obrázek 17</b> – Betonové svodidlo v SDP (MK Štěrboholská spojka). ....	19
<b>Obrázek 18</b> – Detail provedení dřevoocelového svodidla. [26].....	19
<b>Obrázek 19</b> – Dřevoocelové svodidlo na silnici III. třídy. [26].....	19
<b>Obrázek 20</b> – Ukázka záznamu evidence deficitů v aplikaci CEBASS. [34] .....	27
<b>Obrázek 21</b> – Ukázka formuláře pro zadávání deficitů. [34].....	28
<b>Obrázek 22</b> – Prezentace deficitů na mapovém podkladu. [34] .....	29
<b>Obrázek 23</b> – Portálová konstrukce se nachází v pracovní šířce svodidla   TEN-T   D1   ID 22 535.....	32
<b>Obrázek 24</b> – Mostní pilíř nacházející se v pracovní šířce ocelového svodidla   TEN-T   D1   ID 22 238. ....	32
<b>Obrázek 25</b> – Krátký výškový náběh ocelového svodidla o délce 2 m   TEN-T   I/35   ID 13 013.....	32
<b>Obrázek 26</b> – Ukázka svodidla s krátkým výškovým náběhem (o délce 4 m)   TEN-T   I/35   ID 38 511. ....	32

<b>Obrázek 27</b> – Alternativní ukončení svodidla (terminál) Primus P2. [35].....	33
<b>Obrázek 28</b> – Alternativa k výškovému náběhu s možností absorbování energie kolidujících vozidel SafeEnd. [35].....	33
<b>Obrázek 29</b> – Neadekvátní přechod mezi ocelovým a betonovým svodidlem   TEN-T   D0   ID 211.....	33
<b>Obrázek 30</b> – Vzájemně nepropojená ocelová svodidla před mostem   TEN-T   I/3   ID 13 675.....	33
<b>Obrázek 31</b> – Krátké svodidlo před nosným pilířem mostní konstrukce   TENT-T   D6   ID 1 031.....	34
<b>Obrázek 32</b> – Krátké ocelové svodidlo před pevnou překážkou (stromem)   TEN-T   I/35   ID 35 163.....	34
<b>Obrázek 33</b> – Absence výškového náběhu ocelového svodidla v místě sjezdu   TEN-T   I/49   ID 8 194.....	34
<b>Obrázek 34</b> – Pohled na začátek ocelového svodidla bez výškového náběhu   BI UK   I/27   ID 1 432.....	34
<b>Obrázek 35</b> – Ukázka katalogového listu svodidel typu OSNH4/H1. ....	36
<b>Obrázek 36</b> – Čelní náraz do svodidla s krátkým výškovým náběhem. [40].....	41
<b>Obrázek 37</b> – Náraz do ocelového svodidla bez výškového náběhu. [40].....	41
<b>Obrázek 38</b> – Podjetí ocelového svodidla na hrázi vodní nádrže. [40].....	41
<b>Obrázek 39</b> – Stromy v pracovní šířce svodidla ve směrovém oblouku. [40].....	41
<b>Obrázek 40</b> – Ukázka DN po střetu kabiny TNA s mostním pilířem. [41].....	42
<b>Obrázek 41</b> – Zobrazení rizikového náklonu TNA při nárazu do svodidla .....	42
<b>Obrázek 42</b> – Převrácený těžký nákladní automobil na sjezdu z dálnice D10. [40] .....	42
<b>Obrázek 43</b> – Další pohled na převrácený těžký nákladní automobil. [40].....	42
<b>Obrázek 44</b> – Proražená ocelová svodidla s úrovní zadržetí H1. [40].....	43
<b>Obrázek 45</b> – Pohled na linkový autobus, který prorazil svodidla na mostě. [40].....	43
<b>Obrázek 46</b> – Schematické uspořádání dvoupruhové komunikace. [16].....	48
<b>Obrázek 47</b> – Směrově nevychýlené svodidlo bez výškového náběhu   BI UK   I/62   ID 9 126.....	50
<b>Obrázek 48</b> – Směrově nevychýlené svodidlo s krátkým výškovým náběhem   TEN-T   I/3   ID 10 351. ....	50
<b>Obrázek 49</b> – Částečně směrově vychýlené svodidlo bez výškového náběhu   BI UK   I/62   ID 9 021.....	51

<b>Obrázek 50</b> – Částečně směrově vychýlené svodidlo s krátkým výškovým náběhem   BI UK   I/15   ID 1 500. ....	51
<b>Obrázek 51</b> – Mostní pilíře umístěn v intervalu $(0; \frac{1}{2} P\check{S})$   TEN-T   I/16   ID 30 112. ....	52
<b>Obrázek 52</b> – Sloup VO umístěn v druhé části intervalu   TEN-T   I/52   ID 33 381. ....	52
<b>Obrázek 53</b> – Evidovaná závada v místě s nejvyšší dovolenou rychlostí 50 km/h   TEN-T   I/16   ID 16 283. ....	53
<b>Obrázek 54</b> – Deficit v extravilánu v místě s nejvyšší dovolenou rychlostí 70 km/h   TEN-T   I/33   ID 30 877. ....	53
<b>Obrázek 55</b> – Krátký výškový náběh ocelového svodidla na pravé straně PK   TEN-T   I/3   ID 22 202. ....	55
<b>Obrázek 56</b> – Absence výškového náběhu ocelového svodidla na levé straně PK   BI JCK   I/19   ID 7 373. ....	55
<b>Obrázek 57</b> – Spojité rozdělení měřených náhodných veličin. ....	61
<b>Obrázek 58</b> – Diskrétní (nespojité) rozdělení měřených náhodných veličin. ....	61

## Seznam tabulek

<b>Tabulka 1</b> – Úroveň zatížení svodidel z kategorie schválených. [17].....	20
<b>Tabulka 2</b> – Úroveň zadržení svodidel. [17] .....	21
<b>Tabulka 3</b> – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska ochrany jejich okolí a z hlediska nebezpečných úseků silnic. [17].....	21
<b>Tabulka 4</b> – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska typu silnice. [17] .....	22
<b>Tabulka 5</b> – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska typu silnice. [18] .....	22
<b>Tabulka 6</b> – Minimální úroveň zadržení na PK z hlediska typu silnice. [18] .....	22
<b>Tabulka 7</b> – Úroveň pracovních šířek svodidel. [17].....	23
<b>Tabulka 8</b> – Minimální délka betonového svodidla včetně výškových náběhů. [27] .....	23
<b>Tabulka 9</b> – Minimální délka ocelového svodidla před a za pevnou překážkou. [28] ....	24
<b>Tabulka 10</b> – Minimální výška svodidel pro dálnice, silnice I. třídy a místní rychlostní komunikace. [17].....	24
<b>Tabulka 11</b> – Závažnost rizika a jeho charakteristika. [5].....	26
<b>Tabulka 12</b> – Náročnost sanačních opatření a jejich charakteristika. [33].....	26
<b>Tabulka 13</b> – Typy deficitů zachytných systémů a jejich závažnost. [34].....	31
<b>Tabulka 14</b> – Výše ekonomických ztrát dle typu nehody pro rok 2019. [39].....	39
<b>Tabulka 15</b> – Celkové počty evidovaných deficitů v oblasti zachytných systémů a související deficity korelované s dopravními nehodami dle jednotlivých krajů.....	45
<b>Tabulka 16</b> – Počty korelovaných záznamů dle typu deficitu.....	46
<b>Tabulka 17</b> – Přiřazené parametry dle typu deficitu.....	47
<b>Tabulka 18</b> – Návrhové kategorie dvoupruhových silnic. [16] .....	48
<b>Tabulka 19</b> – Úrovně zadržení svodidel a jejich parametry. [17].....	49
<b>Tabulka 20</b> – Úroveň pracovních šířek svodidel. [17].....	52
<b>Tabulka 21</b> – Ukázka porovnání vhodných a nevhodných řešení vedení PK – H.4. [16] .....	54
<b>Tabulka 22</b> – Číselné označení (zakódování) hodnoty vybraných parametrů. ....	56
<b>Tabulka 23</b> – Rozdělení dopravních nehod do vybraných skupin v závislosti na celospolečenské ztrátě.....	58
<b>Tabulka 24</b> – Predikovaná míra rizikovosti jednotlivých expozic pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.....	59
<b>Tabulka 25</b> – Predikovaná míra rizikovosti jednotlivých expozic pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.....	59

<b>Tabulka 26</b> – Predikovaná míra rizikivosti jednotlivých expozic pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.....	60
<b>Tabulka 27</b> – Tabulkové zobrazení diskrétního modelu. [45].....	65
<b>Tabulka 28</b> – Tabulkové zobrazení odhadu parametru $\theta$ . [45].....	65
<b>Tabulka 29</b> – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.....	68
<b>Tabulka 30</b> – Výsledná pravděpodobnost jednotlivých expozic svodidla pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.....	68
<b>Tabulka 31</b> – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla.....	69
<b>Tabulka 32</b> – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Krátký výškový náběh svodidla. ....	69
<b>Tabulka 33</b> – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.....	69
<b>Tabulka 34</b> – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla. ....	70
<b>Tabulka 35</b> – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.....	70
<b>Tabulka 36</b> – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla. ....	70
<b>Tabulka 37</b> – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem. ....	71
<b>Tabulka 38</b> – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.....	71
<b>Tabulka 39</b> – Nenormovaná pravděpodobnost pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem. ....	72
<b>Tabulka 40</b> – Výsledná pravděpodobnost expozic svodidla pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.....	72
<b>Tabulka 41</b> – Přesnost (spolehlivost) predikce matematického modelu.....	73
<b>Tabulka 42</b> – Vzájemné porovnání průměrné celospolečenské ztráty pro deficit – Krátký výškový náběh.....	74
<b>Tabulka 43</b> – Vzájemné porovnání pravděpodobnosti jednotlivých expozic pro deficit – Krátký výškový náběh. ....	75
<b>Tabulka 44</b> – Změna výsledné pravděpodobnosti datových souborů pro deficit – Krátký výškový náběh.....	75



<b>Tabulka 45</b> – Vzájemné porovnání průměrné celospolečenské ztráty pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.....	77
<b>Tabulka 46</b> – Vzájemné porovnání pravděpodobnosti jednotlivých expozičních pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.....	77
<b>Tabulka 47</b> – Změna výsledné pravděpodobnosti datových souborů pro deficit – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla.....	78
<b>Tabulka 48</b> – Vzájemné porovnání průměrné celospolečenské ztráty pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.....	79
<b>Tabulka 49</b> – Vzájemné porovnání pravděpodobnosti jednotlivých expozičních pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.....	80
<b>Tabulka 50</b> – Změna výsledné pravděpodobnosti datových souborů pro deficit – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem.....	80
<b>Tabulka 51</b> – Hypotéza I. – Krátký výškový náběh svodidla.....	84
<b>Tabulka 52</b> – Hypotéza II. – Neadekvátně realizovaný začátek / konec svodidla. ....	85
<b>Tabulka 53</b> – Hypotéza III. – Nedodržení minimální vzdálenosti za svodidlem. ....	85

## Seznam grafů

<b>Graf 1</b> – Počet DN na milion obyvatel ve státech EU za rok 2016. [38].....	38
<b>Graf 2</b> – Vývoj ekonomických ztrát ze silniční nehodovosti v ČR v letech 2010–2019. [39] .....	38
<b>Graf 3</b> – Vývoj celkového počtu dopravní nehodovosti za období 2015–2019. [14].....	39
<b>Graf 4</b> – Detailní přehled počtu typů zranění za období 2015–2019. [14].....	39
<b>Graf 5</b> – Počet dopravních nehod (kolize se záchytným zařízením) ve sledovaném období 2015–2019. [14].....	40
<b>Graf 6</b> – Rozložení celospolečenské ztráty v Kč pro korelované záznamy dopravních nehod. ....	57
<b>Graf 7</b> – Počet dopravních nehod (kolize se záchytným zařízením) ve sledovaném období 2015–2019. [14].....	83

## Seznam zdrojových kódů

<b>Zdrojový kód 1</b> – Načtení dat a jejich kódování. ....	66
<b>Zdrojový kód 2</b> – Odhad diskrétního modelu. ....	67
<b>Zdrojový kód 3</b> – Predikce diskrétního modelu.....	67
<b>Zdrojový kód 4</b> – Generování regresního vektoru.....	67
<b>Zdrojový kód 5</b> – Generování diskrétního regresního vektoru.....	67

## Publikační činnost doktoranda

### Seznam publikací vztahující se k tématu disertace

KOCOUREK, J. - NOVÁČEK, J. - TESAŘ, J. - NOVÁK, T. **Základní souhrn principů Metodiky provádění noční bezpečnostní inspekce pozemních komunikací.** Silniční obzor. 2020, 81(5), 124-129. ISSN 0322-7154.

ŠIMKOVÁ, T. - KOHOUT, T. - VRTAL, P. - NOVÁČEK, J. **Analysis of Passive Safety of the Road Safety Systems on I. Class Roads.** In: Young Transportation Engineers Conference 2020. Praha: CTU. Faculty of Transportation Sciences, 2020. p. 158-163. ISBN 978-80-01-06793-2.

KOHOUT, T. - NOVÁČEK, J. - VRTAL, P. **Evaluation of Traffic Safety at the Through Roads Within Built-up Areas.** In: Young Transportation Engineers Conference 2020. Praha: CTU. Faculty of Transportation Sciences, 2020. p. 151-157. ISBN 978-80-01-06793-2.

NOVÁČEK, J. - VRTAL, P. - KOHOUT, T. - ŠIMKOVÁ, T. **Verification of the Severity of Safety Deficits Identified on the Road Restraint Systems.** In: Young Transportation Engineers Conference 2020. Praha: CTU. Faculty of Transportation Sciences, 2020. p. 164-170. ISBN 978-80-01-06793-2.

NOVÁČEK, J. - KOHOUT, T. **Night Road Safety Inspection.** In: Transport for Today's Society - Proceedings. Bitola: University St Kliment Ohridski Bitola, 2021.

VRTAL, P. - NOVÁČEK, J. **Traffic Accident Prediction Based on Comprehensive Data Comparison.** In: Transport for Today's Society - Proceedings. Bitola: University St Kliment Ohridski Bitola, 2021.

NOVÁČEK, J. - KOHOUT, T. - VRTAL, P. - SVATÝ, Z. - KOCIÁN, K. **Application of RSA Principles to Improve the BIM in the Road Design Process with Focus on the Road Restraint Systems.** In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVI-5/W1-2022, 159–164, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-159-2022>, 2022.

### Seznam projektů vztahující se k tématu disertace

Nováček, J. **Katalog zádržných zařízení vyskytujících se na primární silniční síti ČR.** Grant Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/199/OHK2/3T/16. Roky řešení: 2020 – 2022.

## Seznam publikací bez bližšího vztahu k tématu disertace

KOCIÁN, K. - KUMPOŠT, P. - NOVÁČEK, J. - KOŠTÁLOVÁ, J. **Bezpečnostní inspekce křižovatky silnic II/283 x III/28311 na území obce Libštát.** [Research Report] Libštát: Městys Libštát, 2016. Report no. 1.

KOCIÁN, K. - KOCOUREK, J. - KOUBEK, M. - NOVÁČEK, J. - NOUZOVSKÝ, L. **Bezpečnostní inspekce křižovatky silnice III. třídy č. 24623 ve staničení km 7,330 a variantní návrh situace řešení v místě obce Ledčice.** [Research Report] Praha 5: Středočeský kraj, 2016. Report no. 1.

NOUZOVSKÝ, L. - FRYDRÝN, M. - MIČUNEK, T. - SVATÝ, Z. - NOVÁČEK, J. **Vývoj inovativní metody k odhalování trestných činů v silniční dopravě s využitím elektronických nehodových dat.** In: 2019 Konference - 25 let Fakulty dopravní. Praha: Czech Technical University in Prague, 2019. p. 122-126. ISBN 978-80-01-06545-7.

SVATÝ, Z. - MIČUNEK, T. - NOVÁČEK, J. **Využití prostorových dat pro účely simulace nehodového děje.** In: ExFoS - Expert Forensic Science XXIX. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Ústav soudního inženýrství, 2020. p. 228-237. ISBN 978-80-214-5829-1.

SVATÝ, Z. - MIČUNEK, T. - NOVÁČEK, J. **Využití prostorových dat pro účely simulace nehodového děje.** Soudní inženýrství. 2020, 31(1), 9-16. ISSN 1211-443X.

KOSTĚNCOVÁ, V. - NOUZOVSKÝ, L. - NOVÁČEK, J. **Funkce EDR a systémy pro čtení nehodových dat.** In: Technika moderních vozidel ve vztahu k objasňování dopravních nehod. PROPERUS s.r.o., 2020. p. 353-396. ISBN 978-80-904944-3-5.

VRTAL, P. - ŠIMKOVÁ, T. - KOHOUT, T. - NOVÁČEK, J. **Verification of the Transit of Fire-fighting Vehicles in Relation to the Servicing of a Specific Territory.** In: Young Transportation Engineers Conference 2020. Praha: CTU. Faculty of Transportation Sciences, 2020. p. 195-201. ISBN 978-80-01-06793-2.

VRTAL, P. - KOHOUT, T. - NOVÁČEK, J. - SVATÝ, Z. **Comprehensive Analysis of Housing Estate Infrastructure in Relation to the Passability of Firefighting Equipment.** Applied Sciences. 2021, 11(20), ISSN 2076-3417.

## Seznam projektů bez bližšího vztahu k tématu disertace

Kohout, T. **Unifikovaný přístup k hodnocení rizik na železničních přejezdech.** Grant Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS21/137/OHK2/2T/16. Roky řešení: 2021 – 2022.

Vrtal, P. **Prognóza výskytu dopravních nehod na základě komplexního datového hodnocení.** Grant Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS21/138/OHK2/2T/16. Roky řešení: 2021 – 2022.

## **Seznam příloh**

**Příloha 1 – Katalogové listy svodidel**

**Příloha 2 – Příklady prostorového vedení pozemní komunikace**

**Příloha 3 – Zdrojový kód algoritmu matematického modelu**

**Příloha 4.1 – Výsledná ověřená hypotéza I.**

**Příloha 4.2 – Výsledná ověřená hypotéza II.**

**Příloha 4.3 – Výsledná ověřená hypotéza III.**