



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

ANALÝZA NÁVRHOVÝCH PRVKŮ OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK A JEJICH VLIV NA NEHODOVOST

ANALYSIS OF ROUNDABOUT DESIGN PARAMETERS AND THEIR IMPACT ON ACCIDENTS

DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jan Novák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.

BRNO 2017

ABSTRAKT

Dizertační práce se zabývá analýzou návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vlivem na nehodovost. Cílem analýzy byla identifikace významných prvků okružních křižovatek, které mají vliv na nehodovost. Pro naplnění tohoto cíle byla využita metoda multifaktorového statistického hodnocení nehodovosti na základě výběrového souboru dat, vytvoření několika funkcí bezpečnosti, jejich ověření a interpretace výsledku.

V práci bylo vytipováno několik návrhových prvků, které z pohledu mechanismu dopravní nehody náleží do faktoru infrastruktury, jsou to: roční průměr denních intenzit (RPDI), průměr okružní křižovatky, šířka vjezdu, úhel na vjezdu, úhel na přímém průjezdu, lokalita a mnohé další.

V základním souboru bylo cca 1200 OK. Po kontrole dostupnosti provozních dat klesl počet vybraných OK v souboru na 200. Nehodovost byla sledována v letech 2009 až 2016, tedy za dobu osmi let; celkem se jednalo o 2674 dopravních nehod.

Výstupem této práce je model nehodovosti, který byl sestaven na základě analýzy návrhových prvků vjezdu OK a mapa kritických OK na území ČR dle empirického bayesovského odhadu nehodovosti. Závěrem byly identifikovány tyto významné parametry vjezdu OK: RPDI, úhel na vjezdu, kolizní vzdálenost, odchylka úhlů mezi rameny, výskyt pojížděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu, výskyt přechodu pro chodce a okolní zástavba.

KLÍČOVÁ SLOVA

Okružní křižovatka, bezpečnost, dopravní nehoda, návrhové prvky, rizikový faktor, statistika nehodovosti, statistické modelování dopravní nehodovosti, model nehodovosti, funkce bezpečnosti, ukazatel bezpečnosti, dopravní nehoda se smrtelným/těžkým/lehkým zraněním, dopravní nehoda pouze s hmotnou škodou.

VEDOUCÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.

ŠKOLITEL SPECIALISTA DIZERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Jindřich Frič, Ph.D.



ABSTRACT

The dissertation deals with the analysis of roundabout design elements and their impact on accidents. The analysis objective was to identify the important elements of roundabouts that have impact on accidents. In order to achieve this goal, the multifactorial statistical safety assessment method was used on the basis of a representative sample of data, by developing several safety performance functions, verifying them and interpreting the result.

Several design elements, which from the point of view of the traffic accident mechanism belong to the infrastructure factor, have been identified: AADT, average diameter, entrance width, entry angle, direct passage angle, location and many others.

The original sample contained about 1200 roundabouts, which were reduced to 200 based on data availability. Accident frequencies were monitored between 2009 and 2016, i.e. for eight years, resulting in total 2674 roundabouts accidents.

The result is an accident prediction model, developer based on roundabout approach design elements, and map of critical roundabouts, identified based on empirical Bayes estimate of accident frequency. Following approach parameters were identified: AADT, entry angle, distance between collision points, deviation of angles between approaches, presence of apron, presence of bypass, entry type, presence of pedestrian crossing and surrounding area type.

KEYWORDS

Roundabout, Traffic Safety, Traffic Accident, Optimization of Design Element, risk factor, accident record, statistical road safety modelling, accident model, safety indicators, car accident with fatal/severe/minor injury, car accident with property damage only

SUPERVISOR OF DOCTORAL THESIS

doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.



SPECIALIST SUPERVISOR OF DOCTORAL THESIS

Ing. Jindřich Frič, Ph.D.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK Jan; *Analýza návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vliv na nehodovost*, Analysis of roundabout design parameters and their impact on accidents, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, školitel: doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D., 2017, počet stran 168, počet příloh A až H (strany 119–150).

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané dizertační práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto dizertační práci vypracoval samostatně, dle pokynů vedoucího dizertační práce a školitele specialisty. Všechny podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

K této práci byly vytvořeny Teze dizertační práce. Ty představují její zkrácenou podobu, která je však tématem, cíli a závěry totožná.

V Brně dne: 1. září 2017

Jméno a příjmení autora: Ing. Jan Novák

.....

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi po dobu mého studia pomáhali nebo poskytli jakoukoliv odbornou či morální podporu:

- školiteli doc. Ing. Petru Holcnerovi, Ph.D., za odborné vedení, konzultaci a finalizaci mé práce,
- školiteli-specialistovi Ing. Jindřichu Fričovi, Ph.D., za zpětnou vazbu v oboru bezpečnosti pozemních komunikací,
- kolegovi Ing. Jiřímu Ambrosovi, Ph.D., za odborné konzultace v oblasti modelování a statistického zpracování dat. Především ale také za morální, vědeckou a hlavně přátelskou oporu na cestě mého bádání.
- Kolegyni Ing. Lucii Vyskočilové za podporu a grafické zpracování některých obrázků,
- svému vedoucímu Ing. Radimovi Strieglerovi za vytvoření pracovního prostředí, kde se mohu rozvíjet,
- dalším kolegům z CDV za diskuzi a konstruktivní kritiku,
- doc. Ing. Ivanu Nagy, CSc., za statistické konzultace,
- doc. Ing. Dušanovi Teichmannovi, Ph.D., za konzultace v oblasti bezpečnosti silničního provozu,
- doc. Ing. Josefovi Kocourkovi, Ph.D., za konzultace, jeho připomínky kultivující mé chápání funkce bezpečnosti a hledání závislostí mezi proměnnými,
- také Ing. Veronice Chladné, Ph.D., za zpracování velkého množství dat a pasportizaci křížovatek,
- studentům VUT v Brně, kteří mi na počátku pomáhali s pilotním sběrem dat,
- Centru dopravního výzkumu, v. v. i., a jeho zaměstnancům za poskytnutí jejich znalostí a zkušeností v oblasti bezpečnostního výzkumu dopravních staveb.
- Děkuji poskytovatelům následujících výzkumných projektů, díky jejichž výsledkům jsem byl schopen úspěšně dokončit tuto dizertační práci: Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy (CZ.1.07/2.2.00/15.462 a ED2.1.00/03.0064), Ministerstvu vnitra ČR (VG20112015013) a Technologické agentuře ČR (TA01031303).

Netradičně bych chtěl poděkovat svému vlastnímu učení a poznávání svého já skrze jógu. Jóga přišla do mého života v době zdravotního strádání a zůstala až do teď. Díky ní jsem si byl schopen uvědomit své kvality a přednosti. Děkuji všem lektorům, které jsem poznal, a všem těm, které ještě poznám. Děkuji Mgr. Romaně Klášterecké, Ph.D., z Happyoga studia v Brně, že mi otevřela dveře a pomohla mi v době, kdy jsem pochyboval. Byla to právě ona, kdo ve mně opět zažehl touhu tuto práci dokončit. Romano, děkuji!

V neposlední řadě chci poděkovat své rodině, přátelům a hlavně rodičům. Chtěl bych jim poděkovat za nezlomnou víru ve mě, v mé znalosti a odhodlání dokončit to, co jsem začal. Tatínkovi za vlídnost a pochopení v době, když člověk pochybuje o svých odborných, ale hlavně morálních hodnotách. Svě mamince za její starostlivost a mateřskou lásku, kterou mi věnovala s vírou, že se jednoho dne všechno podaří. Děkuji prarodičům za neustálé připomínání důležitosti vzdělání. Děkuji rodině, že mi umožnila vyrůst a zmoudřet ve skvělém a bezpečném prostředí.

PŘEDMLUVA

V posledních dvaceti letech došlo k významnému navýšení úprav stávajících stykových a průsečných křižovatek na křižovatky okružní (dále jen OK). Jen na území Moravy v posledních pěti letech došlo k výstavbě několika desítek OK.

K užití OK v intravilánu/extravilánu místo průsečných a stykových vedly tvůrce (zadavatele, projektanty aj.) různé důvody. Užití malých OK bylo částečně motivováno zájmem samosprávných orgánů, které chtěly zpomalit dopravní proud před vjezdy do obydlených lokalit (obcí) nebo podlely moderním trendům úpravy komunikací v obcích. K užití středních OK vedla některá dopravně inženýrská zadání, která v podstatě nebylo možné řešit úrovnovými křižovatkami (např. větší počet ramen než čtyři). K užití velkých – rozvinutých OK došlo v ČR jen výjimečně (většinou na dálničních tazích nebo silnicích vyšších kategorií). Avšak užití OK bez předchozích dlouhodobých zkušeností v podmínkách ČR přineslo řadu dopravních problémů, které ovlivnily plynulost a bezpečnost dopravního proudu a následně životní prostředí a kvalitu života obyvatel (dopravní nehody, kongesce, hluk aj.).

Z *Metodiky hodnocení účinnosti opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích* [29.] vyplynulo, že rozhodnutí o realizaci každé úpravy nebo nové křižovatky by mělo být založeno na posouzení očekávaných nákladů a přínosů vyplývajících z jejího budoucího provozu (s ohledem na plynulost a bezpečnost dopravy). Ústředním nástrojem posouzení nově navrhované OK je model nehodovosti (funkce bezpečnosti) při daném zatížení specificky kalibrovaný pro OK (v některé literatuře a výzkumech nazývaný predikční model nehodovosti). Jedná se o matematický regresní model, který dává do souvislosti údaje o nehodovosti s provozními a geometrickými charakteristikami reprezentativního souboru OK.

Na poli vědy a výzkumu se tématem nehodovostních modelů již zabýval projekt VEOBEZ [30.] (možnosti využití statistického modelování v dopravě). Jeho výstupem byl základní model nehodovosti definovaný cca 90 OK. Navazující projekt VEOBEZplus [154.] řešil stejnou tematiku na rozšířeném vzorku 143 OK. Tato dizertační práce pokračuje ve zmiňovaných projektech, rozšiřuje datovou základnu na 200 OK a zavádí do analýzy podrobnější segmentaci vzorku nehod i s ohledem na rok výskytu nehody.

Právě identifikace návrhových prvků (faktorů), které ovlivňují bezpečnost OK, je stěžejní záležitostí modelování dopravní nehodovosti. Modely vycházejí ze statistické analýzy sledovaných prvků. Tyto vzorky jsou silně ovlivněny sběrem a metodou archivace dat. V této práci se jedná o analýzu dat ze *Silniční databanky v Ostravě* [44.], databázi dopravních nehod Policie ČR [114.] a data z vlastního pozorování portálu mapy.cz [48.].

Snahou analýzy jednotlivých návrhových prvků je vyhledání spojitosti mezi jejich nastavením a bezpečností OK zastoupenou četností dopravních nehod (dále jen DN). Účelem této práce je analýza návrhových prvků OK, která povede k identifikaci těch nejméně bezpečných z pohledu bezpečnosti. Práce dospěla k tomu, že složkami geometrie OK ovlivňujícími bezpečnost jsou: RPDl na vjezdu, úhel na vjezdu, kolize, odchylka úhlu mezi rameny, výskyt pojižděného prstence, výskyt BYPASSU, typ vjezdu, dále potom okolní zástavba a výskyt přechodu pro chodce.

OBSAH TEXTOVÉ ČÁSTI

ABSTRAKT.....	3
KLÍČOVÁ SLOVA	3
ABSTRACT.....	4
KEYWORDS	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	5
PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP.....	5
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
PŘEDMLUVA.....	7
OBSAH TEXTOVÉ ČÁSTI.....	8
STRUKTURA DIZERTAČNÍ PRÁCE	12
1. OBLAST VÝZKUMU.....	13
1.1. TÉMA.....	13
1.2. TERMINOLOGIE	14
1.3. HLAVNÍ CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	14
1.4. VEDLEJŠÍ CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	15
1.5. VÝZKUMNÉ OTÁZKY	15
2. ZÁKLADNÍ TEORIE A DATA	17
2.1. POZNATKY Z LITERATURY	17
2.1.1. Domácí literatura	18
2.1.2. Zahraniční literatura.....	23
2.1.3. Shrnutí	26
2.2. POPIS DAT	27
2.2.1. Návrhové prvky okružní křížovaty.....	27
2.2.2. Provozní zatížení.....	35
2.2.3. Ukazatele bezpečnosti.....	36
2.2.4. Shrnutí	42
2.3. SBĚR DAT.....	43
2.3.1. Návrhové prvky okružní křížovaty.....	43
2.3.2. Provozní zatížení.....	46
2.3.3. Bezpečnostní ukazatele	48

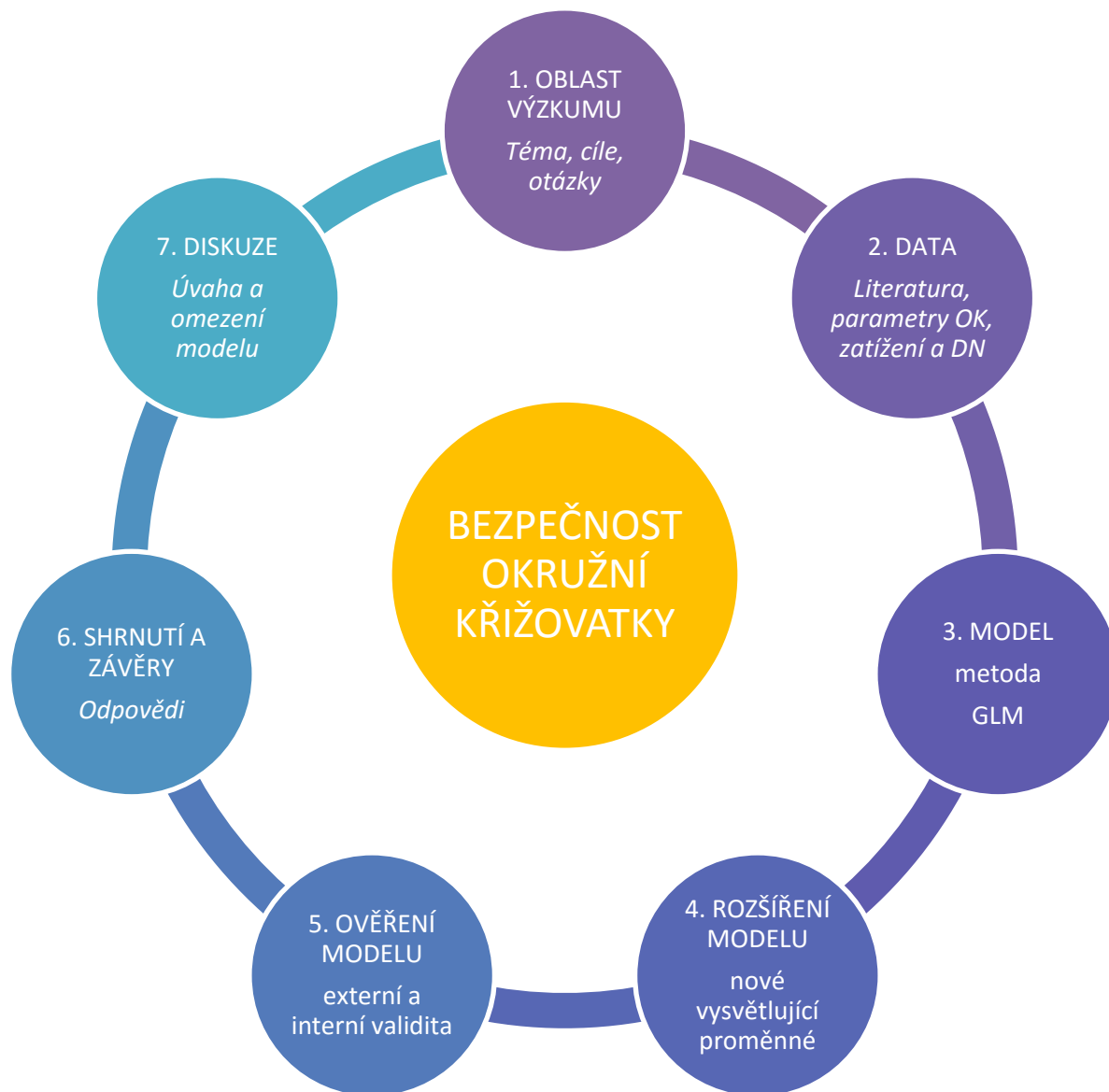
2.3.4. Rozsah výběrového šetření	50
2.3.5. Chyby při měření	51
2.3.6. Shrnutí	52
2.4. PŘÍPRAVA PROMĚNNÝCH	52
2.4.1. Konceptuální rámec	53
2.4.2. Vysvětlovaná proměnná: dopravní nehody (funkce bezpečnosti)	57
2.4.3. Vysvětlující proměnné: rizikové faktory	60
2.4.4. Shrnutí	62
2.5. PRAKTICKÉ POUŽITÍ DAT	63
2.5.1. Příprava dat: kvadranty okružní křižovatky	63
2.5.2. Příprava dat: existence okružní křižovatky	64
2.5.3. Explorační analýza	65
2.5.4. Analýza závislosti: korelace	72
2.5.5. Analýza závislosti: principal component analysis	73
2.5.6. Shrnutí	74
2.6. SHRNUÍ A DÍLČÍ ZÁVĚR	75
3. MODEL NEHODOVOSTI	76
3.1. TEORIE	76
3.1.1. Regresní analýza	76
3.2. ZÁKLADNÍ TVARY MODELŮ NEHODOVOSTI (FUNKCE BEZPEČNOSTI)	78
3.2.1. Základní tvar modelu pro úseky	78
3.2.2. Základní tvar modelu pro křižovatky	78
3.2.3. Upravená forma modelu pro okružní křižovatky	79
3.3. OVĚŘENÍ VHODNOSTI MODELU	79
3.4. PRAKTICKÁ APLIKACE MODELU	80
3.4.1. Obecně	80
3.4.2. Příklad na souboru okružních křižovatek ve střední Evropě	83
3.4.3. Praktická aplikace GLM na model okružních křižovatek v ČR	83
3.5. SHRNUÍ A DÍLČÍ ZÁVĚR	87
4. ROZŠÍŘENÍ MODELU NEHODOVOSTI	88
4.1. ROZŠÍŘENÍ MODELU: KVADRANTY OKRUŽNÍCH KŘIŽOVATEK	88
4.2. ROZŠÍŘENÍ MODELU: JEDNOTLIVÉ ROKY	88
4.2.1. Shrnutí	92
4.3. ROZŠÍŘENÍ MODELU: ZÁVAŽNOST	92
4.4. SROVNÁNÍ MODELŮ: DOPRAVNÍ NEHODY A ZÁVAŽNOST	94
4.5. PRAKTICKÉ VYUŽITÍ	97

4.5.1. Kvadrant 1: Rameno 1	98
4.5.2. Kvadrant 2: Rameno 2	98
4.5.3. Kvadrant 3: Rameno 3	99
4.5.4. Kvadrant 4: Rameno 4	99
4.5.5. Křižovatka	99
4.5.6. Mapa hodnocení bezpečnosti okružních křižovatek v ČR	100
4.6. SHRNUÍ A DÍLČÍ ZÁVĚR.....	100
5. OVĚŘENÍ MODELU NEHODOVOSTI	102
5.1. OMEZENÍ MODELU	102
5.2. VHODNOST VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH V MODELU.....	102
5.2.1. Akaikeho informační kritérium (AIC)	102
5.2.2. Bayesovo informační kritérium (BIC)	103
5.2.3. Disperzní parametr	103
5.2.4. Celková variabilita	103
5.2.5. Hladina významnosti: signifikance proměnné v GLM.....	104
5.3. INTERNÍ VALIDITA	104
5.4. EXTERNÍ VALIDITA.....	104
5.5. PRAKTICKÉ VYUŽITÍ	105
5.5.1. Interní validita	105
5.5.2. Externí validita.....	108
5.6. SHRNUÍ A DÍLČÍ ZÁVĚR.....	109
6. SHRNUÍ A ZÁVĚRY.....	110
6.1. SHRNUÍ AKTIVIT	110
6.2. ODPOVĚDI NA VÝZKUMNÉ OTÁZKY	110
6.3. VÝSLEDKY A VÝSTUPY	112
6.4. ZÁVĚRY PRO DALŠÍ ROZVOJ TEORIE	112
6.5. ZÁVĚRY PRO REALIZACI V PRAXI	113
7. DISKUZE.....	114
7.1. METODA PRÁCE	114
7.2. VOLBA VYSVĚTLOVANÉ PROMĚNNÉ	115
7.2.1. Úroveň kvality geometrie (ÚKG).....	115
7.3. VOLBA VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH	116
7.4. VSTUPNÍ DATA	117
7.4.1. Kvalita.....	117
7.4.2. Rozsah vstupního souboru bezpečnostních ukazatelů	118

7.5. HODNOCENÍ MODELU.....	118
7.5.1. Kvalita.....	118
7.5.2. Validita.....	118
PŘÍLOHA A. DATABÁZE OK	119
PŘÍLOHA B. INFORMAČNÍ LIST.....	121
PŘÍLOHA C. MAPA A SEZNAM OK.....	123
PŘÍLOHA D. TRAJEKTORIE POHYBU VOZIDLA.....	129
PŘÍLOHA E. MĚŘICÍ VOZIDLO.....	141
PŘÍLOHA F. PŘEHLED NEHODOVOSTI DLE STATISTIKY PČR.....	143
PŘÍLOHA G. MATICE KORELAČNÍCH KOEFICIENTŮ VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH.....	148
PŘÍLOHA H. ŽIVOTOPIS AUTORA.....	150
SEZNAM PŘÍLOH	152
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJE.....	153
SEZNAM PUBLIKAČNÍ ČINNOSTI AUTORA	158
SEZNAM REFERENČNÍCH PROJEKTŮ AUTORA.....	159
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	160
SEZNAM TABULEK	163
SEZNAM VZORCŮ	164
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	167

STRUKTURA DIZERTAČNÍ PRÁCE

Práce je členěna do kapitol dle obr. 01. Názvy jednotlivých kapitol jsou uvedeny v obsahu této práce. Každá kapitola je členěna do několika částí, které postupně rozebírají teorii a dopracovávají se přes praxi až k závěru.



obr. 01. Schéma organizace dizertační práce

Jednotlivé kapitoly jsou opatřeny shrnutím a dílčími závěry, kde jsou zopakována ta nejdůležitější sdělení nebo výstupy ověřených teorií. Tato shrnutí lze číst spolu s úvodem a závěrem této práce samostatně.

1. Oblast výzkumu

Síť pozemních komunikací (dále jen PK) se skládá z úseků a křižovatek, jejichž tvorba podléhá normalizovaným postupům. Vzhledem k historickému vývoji, členitosti terénu a hustotě zástavby je velmi obtížné provést návrh a realizaci sítě PK vždy efektivně. Analýza je zaměřena na vztah přímých ukazatelů bezpečnosti (dopravních nehod) a návrhových prvků okružních křižovatek (dále jen OK). Tento typ křižovatky je v obecné rovině považována za velmi bezpečný při vysoké kapacitě. K analýze jsou užity nástroje matematické statistiky ve vazbě na analytické postupy odvozené z práce auditora bezpečnosti PK.

1.1. Téma

Předmětem dizertační práce je analýza návrhových prvků OK. Právě kombinace těchto prvků charakterizuje každou OK jako unikátní dopravní uzel, který navazuje na síť PK a umožňuje tak nejen místní, ale i dálkovou přepravu osob a věcí. Lze usuzovat, že nejen vhodné začlenění, ale i samotný návrh OK má svůj podíl na kvalitě a bezpečnosti tohoto typu křižovatky.

Právě OK se v posledních letech prokázaly být velmi oblíbeným a užitečným typem křižovatky jak v intravilánu,¹ tak i v extravilánu.² OK na rozdíl od jiných typů úrovnových křižovatek již v teoretickém základu vykazují jisté výhody (níže uvedené pořadí neurčuje význam), např.:

- snížení rychlosti vozidel při změně dopravního režimu nebo funkce/třídy komunikace,
- zdůraznění konce komunikace s nižším dopravním zatížením,
- zvýšení rozhledu při nízkém úhlu křížení,
- jednoznačné vymezení přednosti v jízdě vozidel na okružním pásu křižovatky,
- zklidnění dopravy v oblastech, které to vyžadují,
- zamezení přímého průjezdu křižovatkou, kde nelze jinak uplatnit úpravy omezující rychlost vozidel na vedlejších komunikacích,
- realizací OK dojde k zrovnoprávnění všech komunikací na vjezdu do křižovatky, jelikož jsou vjezdy opatřeny svíslou dopravní značkou č. P 4 „*Dej přednost v jízdě*“ a č. C 1 „*Kruhový objezd*“,
- odstranění levého odbočení z křižovatky,
- snížení počtu DN nebo jejich následků,
- snížení počtu dopravních konfliktů aj.

Výše je uveden jen částečný výčet výhod. Předpisy ČR, jako jsou TP 135 [10.], TP 234 [12.], ČSN 73 6101 [4.], ČSN 73 6102 [5.] a ČSN 73 6110 [6.], uvádějí další poznatky a pravidla, která vedou ke standardizaci tohoto typu křižovatek a k jejich efektivnímu a bezpečnému navrhování.

Výchozím předpokladem této dizertační práce je hypotéza, že návrhové prvky OK mají vliv na bezpečnost. Hlavní náplní této práce je shromáždění reprezentativního vzorku charakteristik OK a jejich analyzování z pohledu vlivu na nehodovost. DN představují přímý ukazatel bezpečnosti, který lze kvantifikovat. Stejně tak i jednotlivé parametry OK, které představují rizikové faktory. K účelu identifikace vlivu těchto charakteristik (proměnných) na bezpečnost byl zvolen matematický předpis, který nahrazuje data zjednodušeným modelem. Pro analýzu byla zvolena funkce bezpečnosti (viz kapitolu 2.4.1.).

Poznámka:

¹ Intravilán představuje zastavěné území, kudy prochází komunikace.

² Extravilán představuje nezastavěné území, kde prochází komunikace.

1.2. Terminologie

Bezpečnost (viz publikace [94.]) představuje stav, kdy jsou na nejnižší možnou míru eliminovány hrozby pro referenční objekt a jeho zájmy. Referenční objekt bezpečnosti je takový, který vnímá určitou hrozbu jako hrozbu samotnému přežití jednotky (nebo jeho zájmů). Může se jednat stejně tak o jedince, sociální skupinu, stát nebo mezinárodní systém. V dopravě používáme pojem bezpečnost v následujících úpravách: dopravní bezpečnost, popř. bezpečnost silničního provozu.

Bezpečnost silničního provozu představuje soubor opatření, postupů a zásad, dle kterých se pozemní komunikace (PK) realizují. Účelem je minimalizování konfliktních situací a zabránění vzniku dopravních nehod. Za bezpečnou se považuje taková křižovatka, kde vozidla projíždějí bez omezení a negativního následku.

Dopravní nehoda (viz kapitola 4.5.6. ČSN 73 6100-2 [2.]) je mimořádná událost, při níž vznikne újma na zdraví osob nebo škoda na věcech v přímé souvislosti s provozem dopravního prostředku nebo dopravního zařízení (např.: Následek chování řidiče vozidla, které nedalo přednost v jízdě vozidlu na okruhu OK, představuje právě jednu dopravní nehodu).

Absolutní počet nehod (viz kapitola 4.5.7. ČSN 73 6100-2 [2.]) je celkový počet nehod, ke kterým došlo na daném místě nebo úseku PK za dané časové období (např.: celkový počet nehod na vjezdu OK v roce 2016).

Dopravní nehodovost (viz kapitola 4.5.8. ČSN 73 6100-2 [2.]) je ukazatel vyjadřující počet dopravních nehod připadajících na určitý počet vozidel, nebo obyvatel, nebo určitý dopravní výkon za určité časové období (např.: počet dopravních nehod na OK, které se uskutečnily v jednom roce, vztažený na počet obyvatel ČR).

Nehodovost je v této práci chápána jako celkový počet nehod vyskytujících se na vjezdech OK za období jednoho roku. Pojem bezpečnost je používán ve smyslu vnímání nebo i očekávání nějakého rizika spojeného s provozem na OK. Za bezpečnou se považuje ta OK, na které nevnímáme žádná rizika, jelikož nevykazuje nehody ani konflikty.

Relativní nehodovost (viz kapitola 4.5.9. ČSN 73 6100-2 [2.]) je počet nehod vztažený na určitý dopravní výkon v daném místě nebo úseku za určité časové období (např.: představuje podíl počtu dopravních nehod za období a délky úseku).

1.3. Hlavní cíle dizertační práce

Hlavním cílem dizertační práce je provést analýzu návrhových prvků OK ve vazbě na nehodovost. Analýza těchto prvků by mohla přispět k optimalizaci nebo úpravě parametrů OK, které zvýší bezpečnost silničního provozu na OK.

Tato práce využívá model nehodovosti jako nástroj pro prokázání závislosti mezi návrhovými prvky a bezpečností křižovatky. Model je v této práci chápán jako matematický předpis (funkce bezpečnosti) popisující vztah mezi návrhovými prvky (vysvětlujícími proměnnými) a nehodovostí prezentovanou počtem DN (vysvětlovanou proměnnou). Pomocí modelu nehodovosti budou postupně analyzovány jednotlivé návrhové prvky OK. Ty, u kterých se prokáže statistická významnost (na hladině významnosti pravděpodobně nižší jak 5 %), budou v modelu ponechány pro následující interpretaci bezpečnosti.

Výběr sledovaných návrhových prvků (vysvětlujících proměnných) byl prováděn na základě rešerše platných zákonů, norem a technických předpisů v ČR (viz kapitulu 2.2.). Výběr byl rozšířen o rešerši dostupné zahraniční literatury (např. HCM 2010 [50.] aj.). Podrobněji viz kapitulu 2.1.2.

Hlavní výstupy dizertační práce:

- statistická multifaktorová analýza nehodovosti na OK v prostředí ČR,
- model (modely) nehodovosti OK v ČR,
- identifikace významných návrhových prvků OK s ohledem na nehodovost.

1.4. Vedlejší cíle dizertační práce

Vedlejšími cíli dizertační práce jsou výstupy, které shrnují dílčí aktivity výzkumu. Jsou to zejména: vlastní databáze OK, tabulky shrnující statistiku nehodovosti, přehled a charakteristika návrhových prvků OK, způsoby analýzy bezpečnosti OK, vliv prvků na kapacitu OK aj.

Pomocí modelu nehodovosti vznikla mapa OK na území ČR, které je vhodné upravit pro zvýšení jejich bezpečnosti (viz kapitulu 4.5.6. a PŘÍLOHA C.).

Díky sběru dat vznikl rozsáhlý archiv, který by mohl sloužit jako podklad pro zavedení pasportu OK v ČR. Na základě tohoto pasportu by mohl vzniknout další praktický manuál bezpečného navrhování OK pro projekci a výstavbu OK, založený na historických datech. Projektantům OK by se tak nabídl užitečný nástroj pro návrh OK, který by byl filtrovatelný a poskytoval by náhled na již realizované OK, včetně seznamu DN a jejich následků.

Vedlejší výstupy dizertační práce:

- podklad, který by mohl být součástí posuzování návrhu OK, tak jako kapacitní posudek (ÚKG – úroveň kvality geometrie),
- mapa nehodových OK v ČR,
- částečná pasportizace OK v ČR,
- podklad pro projekční manuál OK v prostředí ČR v návaznosti na databázi DN Policie ČR.

1.5. Výzkumné otázky

Při navrhování pozemních komunikací lze celou strukturu definovat křižovatkami (body/uzly) a mezikřižovatkovými úseky (spojnicemi). Jejich uspořádání podléhá poptávce po přepravě. Podstatné je, aby návrh byl efektivní a technicky proveditelný.

Z pohledu efektivity návrhu PK lze analyzovat kapacitu, bezpečnost a ekonomickou návratnost komunikací. **Kapacita** sítě PK je vždy definována jejím nejslabším článkem. Tímto článkem jsou téměř vždy křižovatky nebo místa, kde dochází k častému narušení jinak klidného dopravního proudu (dopravní konflikty, nehody, místa ovlivněná bezpečnostními riziky). **Bezpečnost** je dalším kritériem efektivního návrhu komunikace. Dle četných studií jí je možné kvantifikovat dle ukazatelů bezpečnosti (viz kapitulu 2.2.3.). **Ekonomiku** návrhu komunikace lze odvodit z nákladu na realizaci a návratnosti (například z výše uspořené nákladů z nehod, které by jinak vznikly na stávajícím stavu PK – není předmětem této práce, jinak viz metodiku stanovení celospolečenských ztrát z dopravní nehodovosti [77.]).

Tato práce je zaměřena na analýzu návrhových prvků OK. Jedná se o typ křižovatky, který je často zmiňován nejen ve sdělovacích prostředcích, ale i aktivními inženýry ve výstavbě jako jeden z nejbezpečnějších dopravních uzlů na síti vůbec. *Je tomu ovšem tak?* S ohledem na širokou škálu návrhových prvků je velmi pravděpodobné, že při návrhu OK dochází k častému překombinování těchto parametrů. Na druhé straně díky kombinaci těchto prvků je každá OK originálem. Je tedy velmi obtížné

vysledovat na síti PK větší vzorek křižovatek stejného typu, který bychom byli schopni vzájemně porovnat. Proto je nutné sledovat vzorek křižovatek s poměrně omezeným zorným polem.

Záměrem práce je vysledovat vliv návrhových prvků OK v kombinaci s provozním zatížením na přímé ukazatele bezpečnosti (DN). Ověřit dostupné metody a závěry výzkumných a vývojových projektů, které se touto problematikou zabývají, a pokusit se nalézt odpovědi (nebo je alespoň odvodit) na nejzákladnější otázky:

Jsou OK jedním z nejbezpečnějších typů uzlů na síti PK?

Zaručují vždy OK bezpečnost lokality na PK z principu, nebo se jedná pouze o mylně interpretovaný závěr převzatý ze zahraničí nebo z doslechu?

Je vhodné umožňovat přímý průjezd vozidlům na okružním pásu OK?

Stávají se na OK charakteristické nehody?

Vede vyšší hodnota RPD1 na vjezdu OK k vyšší nehodovosti?

Mají OK nalézající se v intravilánu nižší nehodovost než OK v extravilánu?

Jsou OK se dvěma pruhy na okruhu nebezpečnější než OK s jedním pruhem?

Vedou větší průměry OK k vyšší nehodovosti?

2. Základní teorie a data

V této kapitole jsou shrnuty poznatky z prostudované literatury na téma bezpečnost dopravy a navrhování OK. Práce je zaměřena na analýzu návrhových prvků OK v závislosti na ukazatelích bezpečnosti. Předmětem rešerše literatury byly: metody navrhování OK, analýza již stávajících křižovatek, dopravní zatížení a analýza dopravních událostí (nerušený průjezd, DN, konfliktní situace). V textu celé práce jsou uvedeny další odkazy a literatura, která byla citována, použita nebo komentována.

2.1. Poznatky z literatury

V úvodu je vhodné osvětlit pojem **návrhový prvek komunikace**, který představuje předmět zájmu této práce. Dle § 17 odst. 1 vyhlášky č. 104/1997 Sb. [24.] **musí být prvek volen tak, aby poskytoval všem uživatelům silničního provozu patřičné podmínky pro plynulou a bezpečnou jízdu se zřetelem k požadované funkci komunikace a při zohlednění zatížení území**. Z toho vyplývá, že se jedná o prvky, kterým se podřizuje návrh geometrie OK s ohledem na průjezd jednotlivých vozidel. Jsou to zejména ty prvky, které mají přímý vliv na způsob jízdy vozidla (např. směrové úhly, poloměry, šířka, ale i návrhová rychlost, která je spojena s kapacitou).

V běžné praxi se také setkáváme s pojmem „**kruhový objezd**“. Ten představuje název dopravní značky č. C 1, která přikazuje jízdu po křižovatce s kruhovým objezdem ve směru šípek na značce zobrazených. Jedná se tedy o dopravní značku, která přikazuje směr jízdy, nespécifikuje typ křižovatky a je definovaná v § 10, odst. 1., písmena a) vyhlášky č. 30/2001 Sb. [25.].

Odstavec 1 v § 20 vyhlášky č. 104/1997 Sb. [24.] definuje volbu tvaru křižovatky na PK na základě intenzity křižujících se komunikací, kategorie komunikací a umístění křižovatky v terénu. Druh a typ křižovatky a její návrhové prvky stanovuje závazná ČSN 73 6102 [5.], kde je v kapitole 6. *Okružní křižovatky* definována jako úroňová křižovatka uspořádaná tak, že vozidla vjíždějící do ní odbočují vpravo a pohybují se po okružním pásu k požadovanému výjezdu, kterým křižovatku opouštějí rovněž odbočením vpravo.

Dále se v zákoně č. 361/2000 Sb. [20.] v § 22, odst. 5 a § 30, odst. 5 hovoří o úpravě přednosti v jízdě při vjíždění na kruhový objezd a nedání znamení o změně směru jízdy při vjíždění na kruhový objezd. Více termín „**kruhový objezd**“ zákon č. 361/2000 Sb. [20.] nestanovuje.

Dále bylo vhodné analyzovat platné normy (ČSN) a technické podmínky (TP), dle kterých se v ČR okružní křižovatky navrhují. TP 234 *Posuzování kapacity okružních křižovatek* [11.] se zabývá výpočtem a posuzováním kapacity všech druhů OK s předností v jízdě na okružním pásu. Navazují na normu ČSN 73 6102 [5.], kterou rozpracovávají do podoby jednotného postupu při posuzování kapacity OK. Nahrazují kapitolu 6 a přílohu 1 TP 135 *Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích* [10.]. Platí pro posuzování nových, stávajících i rekonstruovaných neřízených úroňových křižovatek.

Názvosloví pozemních komunikací ČSN 73 6100-1 až 3 [1.], [2.], [3.] bylo využito pro základní členění a definice technických a odborných výrazů v oblasti návrhových prvků OK. Předpis upřesňuje terminologii běžně užívanou v projekci a výstavbě PK (slouží ke koordinaci stavebního díla). V této práci byly normy použity pro základní orientaci v prostředí dopravních staveb a dopravního inženýrství.

Konkrétně se jedná o výrazy: OK, úroňová křižovatka, intenzita, kapacita, dopravní proud, DN, dopravní konflikt aj.

ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic* [4.], ČSN 73 6102 *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích* [5.] a ČSN 73 6110 *Projektování místních komunikací* [6.] jsou české státní normy řešící problematiku navrhování a posuzování dopravních staveb. V normách jsou uvedena doporučení (některá závazná) upravující jednotnost sítě PK. Jedná se o zásady, které stanovují kategorizaci PK, normalizaci šířky jízdních pruhů v závislosti na kategorii a dopravním zatížení, předepisují podélné a příčné sklony a na ně navazující směrové a výškové vedení trasy, dále pak postup a posouzení intenzity dopravy v závislosti na kategorii komunikace. V práci jsou uvedené normy využity zejména pro identifikaci návrhových prvků OK (viz kapitolu 2.2.1.). Termín OK pochází z předpisů určených pro technickou realizaci, nikoliv ze zákona.

2.1.1. Domácí literatura

Obecně lze konstatovat, že se v ČR jeví zájem o výzkum spojitosti mezi návrhovými prvky a jejich bezpečností již několik let. Z důvodu časových nároků na délku sledovaného období nehodovosti (obvykle tři roky a více) se uvažuje o alternativě dopravních nehod, tj. o dopravních konfliktech.

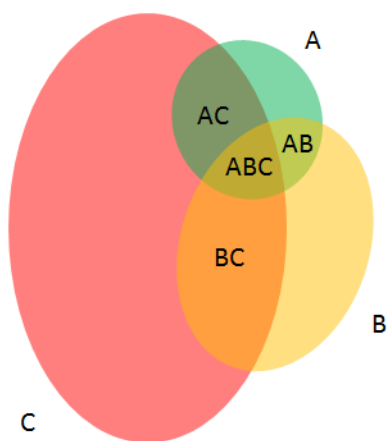
Josef Kocourek se ve svém článku *Sledování dopravních konfliktů jako ukazatelů bezpečnosti dopravy* [33.] zabývá především definováním způsobu monitoringu dopravních konfliktů za provozu. Dopravní konflikt je zde definován jako dynamická aktivita vozidla, která vede k ovlivnění dopravního proudu, nikoliv však k nehodě, která je definována dle zákona č. 361/2000 Sb. [20.]. V praxi to znamená, že i dopravní konflikt na křižovatce vede k narušení plynulosti dopravního proudu. Jeho průzkumy spočívají ve shromažďování potřebného množství dopravních a inženýrských dat a stanovení počtu dopravních konfliktů. V dalším článku *Analyza bezpečnosti na okružních křižovatkách* [34.] pan Kocourek na tuto tematiku navazuje a upozorňuje na analýzu bezpečnosti silničního provozu z hlediska nehodovosti a z hlediska dopravních konfliktů na OK. Článek nastiňuje problematiku teorie efektivity křižovatek v závislosti na nehodovosti. Upozorňuje, že ve vektorové mapě Policie ČR jsou zaznamenány jen některé nehody a že v žádném případě analýza pouze této mapy nevystihuje charakter křižovatky. Pro komplexní přehled o nehodovosti na daném uzlu je potřebné provést i průzkum dopravních konfliktů (viz kapitolu 2.2.3.), tedy všech situací vzniklých v dopravním proudu.

Metodika sledování dopravních konfliktů (Kocourek, 2006 [66.]) a *Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů* (Ambros a spol., 2013 [117.]) umožňují odhalit některé dopravní problémy na silniční síti dříve, než by se mohly stát. Vedle sledování DN jakožto nejznámějšího ukazatele bezpečnosti provozu je sledování dopravních konfliktů dalším přístupem, který může odhalit problémy stavebního uspořádání na PK. Dopravní konflikt, také známý jako skoronehoda, je definován jako pozorovatelná situace, ve které se dva nebo více účastníků silničního provozu k sobě přiblíží v takovém prostoru a čase, že hrozí bezprostřední nebezpečí kolize, pokud jejich pohyb zůstane nezměněn. DN je mimořádná událost, při níž vznikne újma na zdraví osob nebo škoda na věcech v přímé souvislosti s provozem dopravního prostředku nebo dopravního zařízení.

Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod (Havránek a spol., 2014 [61.]) upřesňuje definice základních pojmů z oblasti nehodovosti: DN, nehodové místo, nehodová lokalita, místo

častých DN aj. Dále nastiňuje příčiny DN z hlediska právního (chyba řidiče, špatný technický stav vozidla nebo komunikace, nebo kombinace všech uvedených), psychologického nebo jiného. Je zde popsána typologie DN, která se zabývá hledáním účinných opatření a třídění DN podle specifických průvodních vlastností (příčin), které je vzájemně odlišují. Také popisuje ukazatele dopravní nehodovosti, které slouží ke srovnání a vytváření kritérií. Pomocí nich můžeme porovnávat nehodovost z různých hledisek (výběr ukazatelů: ukazatel relativní nehodovosti, ukazatel hustoty nehod, vyčíslení celospolečenských ztrát z dopravní nehodovosti, integrální ukazatele, střední závažnost nehod, relativní stupeň bezpečnosti). Závěrem metodika prokazuje, že **abychom mohli účinně snižovat dopravní nehodovost, je nejprve zapotřebí místa častých DN na silniční síti s maximální přesností identifikovat** (věcně a polohově). Následně je možné přistoupit k řešení těchto míst.

Hlubková analýza dopravních nehod: Metodika uplatnění výsledků výzkumu (Andres a spol., 2009 [57.]) je publikace která se zabývá objektivní identifikací, analýzou a řešením míst častých DN. Metodika definuje klíčové události: přímé a nepřímé rizikové faktory a místa DN. Velkým přínosem do analýzy DN bylo zavedení psychologické analýzy a vyšetření účastníka DN. Dále metodika poskytuje náhled na formu záznamu DN z místa nehody. Článek (Andres a spol., 2015 [84.]) na téma hlavní příčiny DN (viz obr. 02 z publikace [84.]) pojednává o výsledcích národního šetření DN přímo v místě nehody. Národní tým HASDN³ zpracoval poznatky z vlastního výzkumu. Hodnoty jsou uvedeny v posledním sloupci tab. 01. tab. 01. (uvedeno v %). Národní tým analyzoval i studie a výsledky zahraničních týmů, které také přímo navštěvují místa DN. Hodnoty jsou téměř shodné (viz předposlední sloupec v tab. 01.). Nepatrné rozdíly jsou způsobeny rozdílnou metodologií záznamu a subjektivním přístupem hodnocení především faktoru řidiče. Z těchto studií však vyplývá, že **faktor prostředí** (infrastruktura, geometrie komunikace, ale i počasí) **má na mechanismus DN 35% vliv**. Současně se také jedná o jediný faktor mechanismu DN, který je stabilní. To znamená, že zůstává v případě dopravního zatížení a vůči uživateli PK (řidiči) stále stejný. S výjimkou počasí a plánovaných úprav PK.



obr. 02. Faktory mechanismu DN

tab. 01. Faktory mechanismu DN

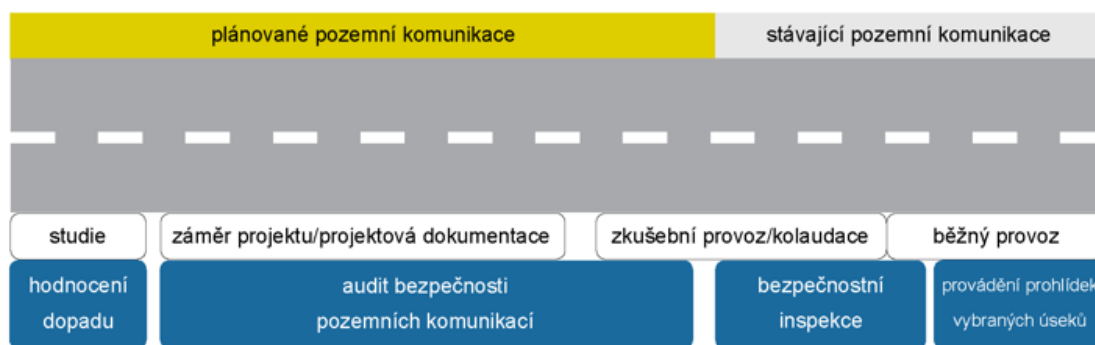
Faktor (%)		Zahraničí	HASDN
A	Vozidlo	3	1
AC	Vozidlo a řidič	4 – 6	6
ABC	Vozidlo, prostředí a řidič	1 – 3	2
AB	Vozidlo a prostředí	1 – 2	1
B	Prostředí	3	1
BC	Prostředí a řidič	24 – 27	32
C	Řidič	57 – 65	57

Poznámka:

³ HASDN = Hlubková analýza silničních dopravních nehod.

Multifaktorová analýza dopravní nehodovosti: metodika provádění (Ambros a spol., 2014 [58.]) poskytuje teoretický i praktický podklad pro provádění analýzy dopravní nehodovosti. Cílem této analýzy je identifikace kritických vlivů a kvantifikace míry jejich působení na vznik DN. Bezpečnost na PK je ovlivněna řadou faktorů, které lze dělit do skupin: účastník provozu, dopravní prostředek a dopravní infrastruktura a její okolí (viz tab. 01.). V teoretické části metodiky je analyzován koncepční rámec identifikace kritických vlivů, explorační analýza dat, analýza závislostí (regresní analýzy), korelace, lineární regrese, logistická regrese, zobecněný lineární model, aplikace v kontextu nehodovosti aj. V metodice lze za podstatný považovat vzorový příklad modelu nehodovosti na křižovatkách a mezikřižovatkových úsecích. Tato metodika představuje významný zdroj pro postup v této dizertační práci.

Manuál bezpečnosti dvoupruhových pozemních komunikací v extravilánu (Adesiyun a spol., 2012 [55.]) je publikace vydaná v rámci projektu Pilot4Safety [133.], na kterém CDV participovalo. Manuál shrnuje poznatky ze *Směrnice 2008/96/ES* [52.], kterou Evropský parlament vydal dne 19. 11. 2008. Oba dokumenty se zabývají bezpečnostními nástroji (schéma jejich aplikace viz na obr. 03.), procedurami a požadavky na školení a certifikaci bezpečnostních auditorů PK. Požadavky směrnice jsou povinné pro PK transevropské silniční sítě TEN-T.⁴



obr. 03. Nástroje bezpečného utváření pozemních komunikací

Výše zmíněný projekt byl zaměřen na řešení míst právě mimo síť TEN-T, kde dochází častěji k DN. Jde o rozsáhlejší síť, která propojuje jednotlivé regiony. Projekt měl dokázat, že nástroje definované směrnici (viz obr. 03., zdroj přímo z metodiky) lze využít s drobnou úpravou i pro ostatní typy komunikací mimo TEN-T. Postupy jsou uvedené např. v publikacích *Audit bezpečnosti pozemních komunikací: metodika provádění* (Pokorný a spol., 2012 [63.]), *Metodika bezpečnostní inspekce pozemních komunikací* (CDV, 2012 [56.]), *Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu* (Striegler a spol., 2012 [59.]) a *Řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu* (Striegler a spol., 2013 [60.]). Všechny výše uvedené metodiky jsou založeny na osobní zkušenosti a na vlastní návštěvě lokality. Obsahují příklady rizik a jejich opatření, která by mohla lokálně, ale i celoplošně zvýšit bezpečnost na PK.

Metodika stanovení délky a rozsahu průzkumů chování účastníků silničního provozu s ohledem na efektivní vynakládání finančních prostředků (Havránek a spol., 2014 [61.]) je v rešerši literatury pro tuto práci uvedena pouze jako příklad náročnosti rozsáhlého podrobného sběru dat. Obdobně jako charakteristiky OK je možné sbírat nepřímé ukazatele bezpečnosti (dále jen NUB) pro stanovení trendu

Poznámka:

⁴ TEN-T = Transevropská dopravní síť (Trans-European transport networks) je síť silničních a železničních koridorů, mezinárodních letišť a vodních cest v Evropské unii.

vývoje bezpečnosti dopravy v ČR. Metodika deklaruje náročnost takto rozsáhlého a podrobného sběru dat a umožňuje náhled na jednu z možných variant minimalizace nákladu na jejich sběr. Dále jsou zde uvedeny aktuální definice NUB.

Metodický pokyn Velké okružní křižovatky (Andres a spol., 2005 [54.]) se zabývá výhradně řešením velkých OK. Jedná se o křižovatky, které jsou nadstandardní nebo se vyskytují pouze na síti PK v malém počtu, a to pouze na vyšších kategoriích komunikací. V této práci se klade důraz na směrovou odchylku dráhy (forma podélné deflexe) vozidla projíždějícího OK a na způsob řazení vozidel na okružním pásu.

Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek (Striegler a spol., 2014 [64.]) přináší nový přístup k postupu hodnocení efektivity úprav křižovatek s ohledem na jejich ekonomickou návratnost ve vztahu k ušetřeným celospolečenským ztrátám. V postupu uvedeném v metodice je zahrnut model nehodovosti na křižovatkách v ČR dle jejich charakteristik (návrhových parametrů). V tomto případě se jedná např. o zalomenou přednost,⁵ lokalitu, RPD1 aj. Jedná se o jeden z příkladů využívání modelu nehodovosti na území ČR.

Článek *Okružní křižovatky v Německu – situační zpráva* (Rücker, 2008 [72.]) shrnuje německé zkušenosti z řady výzkumných projektů. Zabývá se otázkou bezpečnosti, kapacity a kvality dopravy. Nevynechává ani problematiku projektování OK. V současné době se Německo ohlíží za dvacetiletou zkušeností s různými typy moderních OK. Navíc mají v Německu i dřívější zkušenost se starším typem velkých OK, které jsou v provozu již více než 70 let. Mezi moderní OK jsou v tomto článku zařazeny: miniokružní, jednopruhé, dvoupruhové a velké. Většina OK prokázala svoji funkčnost, a to jak z hlediska bezpečnosti provozu, tak z hlediska kapacity. Na druhé straně však nedostatky z hlediska bezpečnosti provozu vykazují starší velké dvoupruhové OK.

V článku *Porovnání vybraných okružních křižovatek v ČR se standardy USA* (Cihlářská a spol., 2010 [71.]) je pojednáno o realizaci OK, kterou můžeme dosáhnout zvýšení kapacity a snížení počtu kolizních bodů. Z článku vyplývá, že u správně navržené OK by skutečná rychlost dopravního proudu na okružním pásu a na vjezdech a výjezdech měla odpovídat návrhové rychlosti. Tím eliminujeme nežádoucí křižování jízdních drah na okruhu (platí pro neukázněné řidiče) a dosáhneme rovnoměrného vytížení jízdních pruhů. Značný nárůst výstavby OK v posledních letech v ČR poukazuje na drobné nedostatky v platných předpisech pro jejich návrh, tj. TP 135 [10.], ČSN 73 6102 [5.].

Tým pracovníků Centra dopravního výzkumu, v. v. i., se ve svých člancích *Predikce ekonomických škod z dopravních nehod na okružních křižovatkách* (Šenk a spol., 2011 [37.]) a *Odhad počtu dopravních nehod na nově budovaných okružních křižovatkách* (Šenk a spol., 2011 [38.]) zabývá výzkumem vlivu stavební úpravy křižovatky (stykové, průsečné) na OK. Výzkum využívá pozitivních vlastností OK (zklidnění dopravy), a tím i snížení nehodovosti po přestavbě křižovatky. Vstupním vzorkem pro analýzu bylo 90 předmětných OK. Projekt VEOBEZ [30.] byl založen na statistické analýze nehodovosti na konkrétních stávajících křižovatkách a následné výhledové aplikaci nehodovosti na navrhovanou OK s prognostickým výhledem 40 let. Výpočet modelu nehodovosti je dán kombinací geometrických a provozních charakteristik a počtem nehod na OK. Do modelu dle výsledku projektu VEOBEZ vstupuje jako

Poznámka:

⁵ Na křižovatkách je zpravidla jedna komunikace označena jako hlavní. Většinou je touto prioritou označena ta komunikace, která křižovatkou prochází přímo. Výjimečně je za hlavní komunikaci označen nejvíce vytížený dopravní směr, který nemusí křižovatkou procházet přímo (př.: jedno z pravých nebo levých odbočení). Hlavní směr je tady „zalomený“, není přímý.

nejlépe statisticky hodnocený faktor RPDI, lokalita (intravilán/extravilán) a počet jízdnic pruhů na vjezdu. V závěru lze konstatovat, že největším úskalím modelu nehodovosti je rozsah výběrového souboru sledovaných OK v závislosti na počtu DN.

Z vyhodnocení nehodovosti OK v projektu VEOBEZplus [154.] vyplynulo, že relativně nízká nehodovost na OK je způsobena malým vzorkem, který ovlivňuje kvalitu modelu nehodovosti. V souboru dat OK shromážděném v projektu VEOBEZplus je průměrný počet nehod 1,8 nehody na pozorovaných 200 OK (sledované období 4,5 roku). Podle americké studie (Lord, 2006 [39.]) odpovídají průměrnému počtu nehod 2 nehody na 500 pozorování (OK). Konzervativnější odhady (např. Turner, 2009 [40.]) však doporučují 100 záznamů. Belgičtí autoři Daniels a spol., 2010 [41.] a 2011 [42.], podobně zvýšili počet z 90 na 148 OK. Všechny tyto výzkumy jen potvrzují nároky kladené na rozsah souboru dat pro kvalitní model.

Článek *Analýza dopravní nehodovosti na okružních křižovatkách ČR* (Mahdalová a spol., 2010 [35.]) shrnuje obsah řešeného projektu Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod [36.]. Ve zprávě jsou poskytnuty základní zdroje informací pro předmětný výzkum. Ze závěru vyplývá, že geometrické prvky jsou v zahraničí velice podrobně analyzovány a zapracovány do příslušných norem. Zpráva zaznamenává tři mezinárodně známé modely pro predikci DN na OK: britský model (Maycock – Hall), australský model (Arndt – Troutbeck) a švédský model (Brüde – Larsson). Zpráva v sobě zahrnuje analýzu souboru 639 OK, z nichž do modelu nehodovosti vstoupilo cca 70 OK. Výzkum zaznamenal jisté nesrovnalosti v metodice provádění záznamů o nehodách (některé záznamy byly provedeny chybně nebo zcela chyběly). Ve většině případů se jednalo o chybovost v GPS souřadnicích nehody (souřadnice nehody nekorespondovaly s textem popisujícím nehodu). Tato skutečnost je velmi podstatná pro model nehodovosti, jelikož přímo ovlivní soubor dat, který model definuje. V závěru článku je konstatováno, že nehodovost na OK nesouvisí s počtem jízdnic pruhů okružního pásu a žádným způsobem nesouvisí s vnějším poloměrem OK. Z uvedeného výzkumu nevyplývá, že velké OK vedou automaticky k vyšší nehodovosti. Ukazuje se větší závislost na vjezdových parametrech ramene OK.

Článek *Omezení rozhledu a tvar úrovně křižovatky* (Čárská a spol., 2010 [75.]) hovoří o vlivu stavebního tvaru úrovně křižovatky v kombinaci s omezeným výhledem řidiče z vozidla (vliv nosných sloupků střechy) na bezpečnost křižovatky. Článek shrnuje problematiku nosných sloupků ve vozidle jako nezbytné součásti konstrukce vozidla. Tyto sloupky jsou nezbytné, jelikož zatěžovací testy modelů vozidel vyžadují v případě převržení vozidla na střechu při nehodě (kolizi) jejich plnou interakci. Nelze připustit jejich rozdrčení a omezení vnitřních prostor vozidla. Došlo by tak k přímému ohrožení jeho posádky. Sloupky jsou děleny do několika skupin, přičemž ty v přední části vozidla jsou jedny z nejpodstatnějších. Při kolizi vozidla musejí přenést podstatnou část energie vzniklé při nehodě a ochránit nejen řidiče, ale i ostatní cestující. Jejich vedlejším aspektem je však omezení výhledu řidiče, které v některých případech může zavinit nehodu. Řidič vlivem sloupku nemusí zaznamenat blížící se vozidlo. Technicky je tato skutečnost jen velice obtížně odstranitelná. Většina automobilek provádí zevrubnou analýzu výhledu řidiče z kabiny vozidla a pokouší se tvar a umístění sloupku navrhnout tak, aby negativní dopad na rozhled řidiče z vozidla byl minimální. V projekci se lze těmto problémům vyvarovat navrhováním křižovatek bez ostrého úhlu křížení. Ke snížení nehodovosti však může přispět také samotný řidič, který se nespolehá na statickou

polohu za volantem vozidla a v prostoru křižovatky se přiměřeně dle okolností rozhlédne (pohne celým svým tělem).

Mezi zkoumané druhy křižovatek v současnosti patří i speciální úroňové turbo-OK. Publikace *Příručka pro navrhování okružních křižovatek* (CityPlan s.r.o., 2009 [76.]) je založena na pozorování vývoje těchto křižovatek v zahraničí (USA, Nizozemí, Německo). Příručka charakterizuje tento druh křižovatky jako velice přínosný s ohledem na jejich kapacitu a bezpečnost. Turbo-OK dosahuje vyšších kapacit, její bezpečnostní vlastnosti odpovídají jednopruhovému OK. Na tomto typu křižovatky jsou řidiči přímo vedeni ve vymezených jízdních pružích, které jsou přímo určeny pro výměnu směru dopravního pohybu.

Z domácí literatury vyplývá, že je nutné posoudit vhodný počet pozorovaných OK, který bude mít přímý vliv na model nehodovosti. Pravděpodobně bude nutné provést kategorizaci dle jednotlivých typů OK (s jedním pruhem na okruhu, se dvěma pruhy na okruhu, miniokružní křižovatka, spirálovitá OK aj.).

Kromě zvyšování počtu pozorovaných OK lze také prodloužit období sledování DN. Tento přístup však naráží na skutečnost, že během doby sledování dochází k průběžným změnám provozně-geometrických parametrů (běžná údržba, zřízení sjezdu, srpovitá krajnice aj). U modelu vycházejícího z dlouhodobých dat tak vzniká problém se stabilitou.

2.1.2. Zahraniční literatura

Publikace *Traffic and Highway Engineering* (Garber a spol., 2017 [115.]) doporučuje pro zajištění bezpečného provozu křižovatky zohledňovat pět následujících faktorů: návrh křižovatky, její umístění, správný výběr řízení, údržbu křižovatky a jednotnost. V publikaci je taktéž upozorněno na způsoby řízení dopravy na úroňové křižovatce („Yield signal“, „Stop signal“, „Multiway Stop Signs“).

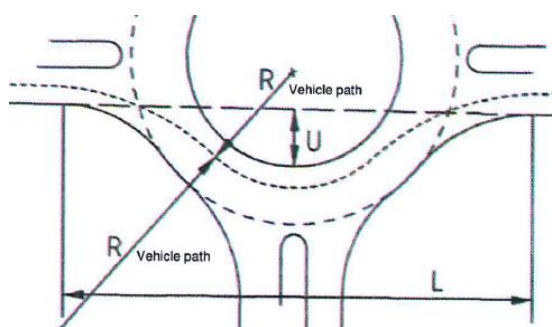
Článek *Effects on Road Safety of Converting Intersections to Roundabouts* (Elvik a spol., 2007 [31.]) shrnuje zjištění studie problematiky úpravy úroňové na okružní křižovatku pomocí meta-analýzy (zpracování primárních dat původních studií). V jeho studii bylo hodnoceno 28 křižovatek s ohledem na jejich geometrické vlastnosti. Výsledky vykazují, že OK jsou spojeny s 30% až 50% snížením počtu zraněných na PK, dále se snížením smrtelných nehod o 50 % až 70 %. Podíl nehod na škodách na majetku studie uvádí jako velmi nejistý. Dále studie uvádí shrnutí ostatních dostupných výzkumů OK, které se zabývaly vyhodnocením závislosti návrhových parametrů OK ve vazbě na bezpečnost provozu. Většina studií poukazuje na to, že malé OK (malý průměr centrálního dopravního ostrůvku) jsou bezpečnější než velké OK (velký průměr centrálního dopravního ostrova).

Článek *Studie na kruhových objezdech v Německu: Získané zkušenosti* (Brilon, 2011 [32.]) shrnuje 25 let zkušeností s různými druhy OK. Do výzkumu zahrnul zkušenosti z praxe a z dlouhé řady výzkumných projektů v oblasti bezpečnosti silničního provozu, kapacity, odhadů dopravních výkonů a geometrických prvků. Výzkum dále zohledňoval jednopruhovému OK s průměrem 26 až 40 m, mini-OK s pojížděným středovým ostrovem o průměru mezi 13 a 25 m, větší OK (40–60 m) se dvěma pruhy na okruhu. Turbo-OK se dle prof. Brilona prokázaly jako velmi úspěšné z hlediska bezpečnosti silničního provozu a dopravního výkonu. Na druhé straně dvoupruhové OK mají významné bezpečnostní problémy. Velké OK, které mají v Německu tradici od 70. let, se dle prof. Brilona jeví jako nevyhovující.

Highway capacity manual 2010 [50.] je americká publikace zabývající se podrobnou analýzou návrhových prvků komunikací a jejich křižovatek. V jednotlivých kapitolách jsou podrobně rozebrány

technické a dopravně inženýrské vlastnosti křižovatek. Publikace je doplněna názornými příklady a výpočty, které jsou podloženy vědeckými postupy. Pro příklad jsou zde řešeny tzv. Two-Way stop – controlled intersection, All-Way stop – controlled intersection, Roundabouts a mnohé další případy kritických prvků na komunikacích. HCM je jedna z předních analytických publikací v oboru dopravních staveb.

Roundabouts – Application and design (2009 [53.]) je publikace zabývající se navrhováním OK na PK. V jednotlivých kapitolách jsou rozebrány postupy a doporučení při umísťování OK na silniční síti s ohledem na lokalitu, kategorii PK a dopravní zatížení. Publikace dále nastiňuje řešení kapacitního výpočtu obdobným způsobem jako v ČR. Z pohledu bezpečnosti je zde doloženo, že OK eliminují DN při levém odbočení. Z pohledu návrhových prvků jsou preferované paprsky OK, které vedou do středu OK.



obr. 04. Závislost rychlosti na podélné deflexi (Roundabouts – Application and design)

(01) Poloměr na vjezdu – trajektorie

$$R_{vehicle\ path} = \frac{(0,25 \cdot L)^2 + (0,5 \cdot (U + 2))^2}{U + 2} \quad [m]$$

(02) Rychlost

$$V = 7,4 \cdot \sqrt{R_{vehicle\ path}} \quad [m/s]$$

Kde platí:

- L vzdálenost změny trasy (m)
- U odchylka od přímého směru vjezdu (m)
- $R_{vehicle\ path}$ poloměr vjezdu (m)
- V rychlost na vjezdu (m/s)

V kapitole *Speed control* je prezentována deflexe přímého průjezdu (U , viz obr. 04.). Deflexe přímo ovlivňuje rychlost vozidel na průjezdu, která by se měla pohybovat max. mezi 30–35 km/h. Jinak dochází ke zvýšení počtu DN nebo jejich závažnějším následkům (podrobněji viz kapitolu 2.3.4. a PŘÍLOHA D.). V této dizertační práci je testována proměnná s názvem odsunutí paprsku vjezdu (viz kapitolu 2.2.1., odstavec i.). Tato proměnná je podobná jako u prezentovaného příkladu na obr. 04. Jako její alternativa je testován úhel na vjezdu α (viz kapitolu 2.2.1., odstavec a.).

Návrh OK dle této publikace je správný, pokud poloměr $R_{vehicle\ path}$ trajektorie vozidla na průjezdu je mezi 22–23 m. Vztah mezi rychlostí a trajektorií vozidla a poloměrem oblouku na průjezdu je dán vztahem (01). Pokud je vypočtena rychlost vyšší než 35 km/h, pak musí být návrh OK přepracován. Publikace se dále zabývá návrhem turbo-okružních křižovatek, které však nejsou předmětem této práce.

Roundabout crash prediction models (Turner a spol., 2009 [40.]) je publikace, která se přímo zabývá tvorbou predikčních modelů nehodovosti na OK. V publikaci jsou analyzovány trendy dopravní nehodovosti, sběr a analýza dat. V kapitole 5. *Crash prediction modelling* je rozebrán výběr vhodné formy funkce (matematického předpisu), který vyjadřuje vhodný tvar křivky nehodovostního modelu. Jedná se o mocninnou funkci (podrobněji viz kapitolu 2.4.2.), polynomickou funkci a Hoerlovu funkci. V dalších kapitolách jsou podrobně popsány vlivy různých charakteristik na model. Tato publikace je v této dizertační práci využívána.

Článek *At-Grade Intersection/Worldwide review* (Cinneide a spol., 1995 [68.]) shrnuje současné mezinárodní poznatky o bezpečnosti jednotlivých typů úrovnových křižovatek a jejich hlavních návrhových

prvcích. Byly zaznamenány zásadní shody mezi výsledky studií nehodovosti v různých zemích. OK prokázaly své značné bezpečnostní výhody oproti jiným typům úrovnových křižovatek. To vedlo k širokému užití v mnoha zemích. Je však nutné konstatovat, že jen málo kvantitativních informací je k dispozici pro vztah mezi křižovatkovými parametry a její bezpečností. Mezinárodní srovnání a kvalitní postupy návrhu křižovatk se zabývají jednoduchými základními prvky křižovatk a rychlými změnami dráhy vozidla na okružním pásu. V důsledku rozdílných předpokladů a skutečného stavu předmětné lokality existují značné rozdíly mezi praxí a návrhem. Z rešerší dostupné literatury provedených v této práci vyplynulo, že nebyla zachycena analýza OK jako systému. Vždy jsou analyzovány vybrané návrhové prvky, které jsou maximálně porovnány s jinou lokalitou. Komplexní analýza v podobě celkového posouzení OK, která by poskytla jednoznačný náhled na efektivitu nebo ekonomickou návratnost tohoto uzlu, nebyla zatím nalezena.

Analýza efektivit křižovatek je v současné době velice aktuální záležitostí. Z ekonomických důvodů je velice žádoucí provádět zevrubnou analýzu efektivnosti stávajícího stavu nebo úpravy křižovatk. Pro správnost a kvalitu výsledku je však nutné, aby analýza byla provedena z pohledu statistiky DN, ekonomiky, dopravního inženýrství a sociologie. Tyto analýzy jsou velice podstatné pro budoucí využití již tak omezených prostor pro PK. Účelem systémové analýzy je provést posouzení stávajícího stavu a doporučit nejvhodnější možný postup. Pro omezený počet znalých subjektů a pro zvýšení efektivnosti posuzování se doporučuje automatizace tohoto procesu. Tento proces je v poměrně pokročilém stadiu vývoje v Anglii (UK). Ve výzkumném ústavu Transport Research Laboratory bylo vyvinuto hned několik nástrojů pro posuzování křižovatek (HDM4, ARCADY, OSCADY, PICADY). Každý z těchto nástrojů má své výhody a nedostatky, ale principiálně jsou založeny na jedné myšlence, a to poskytnout co nejširší podklady k provedení analýzy křižovatk dopravním inženýrem. Rovněž je nezbytné umožnit alespoň základní náhled do světa dopravního inženýrství okruhu osob, jako jsou například zaměstnanci odborů dopravy nebo správy a údržby PK. Na těchto základech se následně mohou rozhodovat a podnikat příslušné kroky pro zachování nebo zlepšení stávajícího stavu. V poměrech ČR je prvním uceleným postupem *Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek* (Striegler a spol., 2014 [64.]).

Jedním z dalších témat bezpečnostního výzkumu je věk samotného řidiče. S prodlužující se dobou aktivního života přibývá na PK řidičů ze skupiny starších. U této skupiny se vyskytují problémy se snížením stupně reakce, sníženými schopnostmi zraku nebo zvýšením stresového stavu subjektu. Studie *Intersection design for older drivers* (Oxley a spol., 2006 [67.]) prokazuje nemalý podíl starších řidičů na vzniku DN. Hovoří o negativních projevech vyššího věku řidiče. Problematiky se týká i obecně známý fakt, že starší řidič absolvoval testy řidičské licence v době, kdy byly platné jiné předpisy o provozu na PK. I když jsou ve vyšším věku řidiče povinné lékařské prohlídky, které mají nezpůsobilým řidičům zabránit řídit vozidla, nejsou povinné aktualizací testy pro pravidla provozu na PK.

V dokumentu *Effects of Intersection Geometrics on Driver Performance* (Tarawneh a spol., 1995 [73.]) jsou uvedeny výsledky studie pro určení vlivu geometrie křižovatk na řidiče. Tato studie analyzuje křižovatk se světelným signalizačním zařízením. Jsou hodnoceny specifické geometrické vlastnosti: vzdálenost mezi sousedními levotočivými pruhy (šířka pruhů), stupeň kanalizování pruhu pro pravé odbočení a poloměr obrubníkové hrany pro pravé odbočení. Ve studii bylo pozorováno 200 osob při levotočivých a pravotočivých manévrech na 11 křižovatkách řízených SSZ s rozdílným uspořádáním

geometrických prvků. 200 osob bylo reprezentováno stejným počtem mužů a žen. Řidiči se nacházeli ve třech věkových kategoriích: 25 až 45 let, 65 až 74 let a více než 75 let. Výsledky výzkumu ukázaly, že pruhy pro levotočivé rozšířené oblouky jsou výhodné zejména pro starší řidiče. Také pruh pro pravé odbočení a účinky pravého odbočení na poloměr obrubníku byly podobné pro všechny věkové skupiny. Výsledky skupiny starších řidičů jsou podobné skupině, která tráví řízením vozidla delší čas (může se projevit únava).

Článek *Three-Dimensional Stop-Control Intersection Sight Distance: General Model* (Said a spol., 2005 [74.]) analyzuje rozhled na křižovatce, který je důležitým návrhovým prvkem. Řidič vozidla na vedlejší komunikaci potřebuje dostatečný výhled na vozidla na hlavní komunikaci, aby mohl bezpečně projet (rovně, vlevo, vpravo). Z článku vyplývá, že aktuální AASHTO⁶ politika preferuje křížení komunikací v pravém úhlu.

Ze zahraničního výzkumu vyplývá, že jsou realizovány vědecké projekty z pohledu bezpečnosti a kapacity OK. Jsou prováděny analýzy OK, které mají za cíl nalézt spojitost mezi nehodovostí a charakteristikami OK. V současné době je pozornost většiny ekonomicky vyspělých zemí Evropy zaměřena na analýzu vývoje OK po třiceti letech jejich provozu po výstavbě. Účelem této rešerše je shrnout stávající zahraniční výzkum v oblasti efektivity vhodných úprav s ohledem na jejich bezpečnost. Jsou prováděny výzkumy návrhových rychlostí a směrodatných rychlostí v přilehlých nebo mezikřižovatkových úsecích. Dále jsou prováděny výzkumy zaznamenávání trajektorie pohybu vozidla v prostoru křižovatky (obalové křivky). V Číně a Austrálii je prováděn výzkum bezpečnosti úrovnových křižovatek za použití infračervených závor nebo sítě laserových paprsků, které zaznamenávají projetí vozidla křižovatkou na červený signál a srovnávají výsledky s cyklem signálního plánu křižovatky. V jednotlivých zprávách a metodikách jsou závěry často omezeny pouze na geometrické návrhové prvky. Z provedené rešerše tedy lze vyvodit, že výzkumná aktivita v této oblasti není malá. Většinou je však uskutečňována ve specifických lokacích a bez širšího srovnání.

Na americkém kontinentu je postup obdobný. Většina z amerických států nebo geografických či správních celků zajišťuje standard geometrického návrhu křižovatky svým vlastním technickým předpisem (Kalifornie, Texas, Florida aj.). Tyto předpisy doporučují postup při návrhu křižovatky, při údržbě a provozu. Opět zde nebyl zaznamenán jednotný systém politiky jakosti úrovnových křižovatek. V důsledku toho je velice obtížné jednoznačně určit převažující nejlépe fungující směr návrhových prvků. Existuje však mnoho amerických publikací, které se zabývají geometrickým návrhem a posouzením charakteristik křižovatek. Většina těchto publikací se neliší od českých standardů. Pokud se jedná o členění druhů křižovatek dle tvaru a počtu jejich úrovní, je princip stejný. Stejně tak publikace přistupují k návrhovým prvkům křižovatek.

2.1.3. Shrnutí

Na území ČR, ale i v zahraničí je výzkum a vývoj OK chápán velice pozitivně. Většina vyspělých zemí se o vývoj tohoto typu křižovatek na PK zajímá a věnuje nemalé úsilí k jeho zdokonalení. Dostupná literatura se však zabývá analýzou pouze jednotlivých návrhových prvků OK. Nejvíce diskutované návrhové prvky jsou: průměr OK, výskyt nebo šířka pojížděného prstence, počet pruhů na okruhu/vjezdu, poloměr vjezdu a výjezdu OK, úhel na vjezdu nebo na přímém průjezdu a rychlost vozidla na průjezdu

Poznámka:

⁶ *American Association of State Highway and Transportation Officials*

křižovatkou. Veškerý výzkum OK je založen na sběru dat, který lze rozdělit na geometrické prvky OK, provozní hodnoty OK a dopravní události (konfliktní situace, DN).

Pro identifikaci významných prvků sítě PK je vhodné použít multifaktorovou analýzu dopravní nehodovosti, která je založena na obecném regresním modelování. Identifikuje vztah nebo vliv sledovaných parametrů infrastruktury na bezpečnostní ukazatele silničního provozu (viz publikace Hauer a Elvik).

Pro správnou a efektivní statistickou analýzu vybraných prvků OK je nezbytné prověřit statisticky významný soubor dat. Za nejpodstatnější lze považovat získání významného souboru dat.

Z tuzemských i zahraničních studií vyplývá, že **faktor prostředí** (infrastruktura, geometrie komunikace, ale i počasí) **má na mechanismus DN 35% vliv**.

Další literatura je zapracována do následujícího textu k příslušné problematice. Výčet kompletní literatury a podkladů je uveden v seznamu referenční literatury na konci práce (strana 153).

2.2. Popis dat

Sledované návrhové prvky OK (charakteristiky/indikátory/proměnné) byly vybrány ve vazbě na výsledky dosavadního domácího a zahraničního výzkumu (viz kapitulu 2.1.) se zaměřením na české předpisy návrhu a kapacitního posouzení OK (TP 135 [10.], TP 234 [12.], ČSN 73 6101 [1.], ČSN 73 6102 [5.]). Jednotlivé parametry OK bylo nutné vybírat s ohledem na jejich dostupnost z pohledu plošného sběru dat pro celý soubor sledovaných křižovatek. Nelze analyzovat jen část souboru, jelikož pak dochází ke snížení přesnosti, a tím i věrohodnosti modelu nehodovosti.

Základní členění sledovaných parametrů (indikátorů):

- návrhové prvky OK,
- provozní zatížení,
- ukazatele bezpečnosti.

V následujících kapitolách jsou uvedeny rozборы a analýzy jednotlivých parametrů, včetně vybraných otázek mají za úkol ověřit či naplnit hypotézy práce.

2.2.1. Návrhové prvky okružní křižovatky

Návrhové prvky představují geometrické (konstrukční) charakteristiky PK odvozené zpravidla z návrhové/směrodatné rychlosti a dopravního zatížení. Jedná se o tzv. silniční data. V ČSN 73 6102 [5.] jsou uvedena doporučení a pravidla pro navrhování OK. Jedním z uvedených doporučení týkajících se návrhových prvků je **odchylka dráhy vozidla od přímé** (podélná deflexe) pro vozidla projíždějící OK mezi dvěma protilehlými rameny, která by neměla umožnit vyšší rychlost než 50 km/h (30 km/h u jednopruhových OK). Dále by poloměr kružnice na průjezdu měl být menší než 100 m a vzdálenost trajektorie pohybu vozidla od okraje okružního pásu by neměla klesnout pod 1,5 m (viz kapitolu 6.2.9. v ČSN 73 6102 [5.]). V této práci problematiku přímého průjezdu vozidla OK reprezentuje návrhový prvek úhel na přímém průjezdu α (viz bod b. v kapitole 2.2.1.).

Parametry návrhových prvků OK, zejména těch geometrických, se navrhuje dle požadavku na kategorii komunikací, dopravní zatížení a zklidňování dopravy (bezpečnost a kvalita pobytového prostoru). Z tohoto také vyplývá návrhová a směrodatná rychlost (viz článek [145.]), která spolu s rozměrem vozidla ovlivňuje trajektorii jeho pohybu v prostoru křižovatky. **Návrhová rychlost** je rychlost pro stanovení

nejmenších nebo největších návrhových prvků pozemní komunikace (viz ČSN 73 6100 [1.]). **Směrodatná rychlost** je očekávaná rychlost osobních vozidel umožněná dopravně-technickým stavem určitého úseku PK, kterou nepřekračuje 85 % jinak neomezených řidičů na mokré vozovce (viz ČSN 73 6100 [1.]).

Publikace *Traffic and Highway Engineering* [115.] rozděluje křižovatky na čtyřramenné a víceramenné. O jednotlivých ramenech je zde pojednáno z hlediska jejich obecných charakteristik a významu vzhledem k přednosti v jízdě. Víceramenné křižovatky tato publikace nedoporučuje. Křižovatky s pěti a více rameny předepisuje transformovat na úvarovou odsunutou křižovatku. Dále publikace pojednává o OK a způsobu uspořádání okružního pásu. Z toho vyplývá, že je podstatné sledovat počet ramen OK, výskyt nebo šířku okružního pásu, uspořádání vjezdu aj.

Článek *Vliv úhlu křížení křižovatky na bezpečnost manévru vozidla při pravém odbočení* (Čárská [116.]) se zabývá výzkumem vlivu úhlu křížení křižovatky na bezpečnost vozidel a řidičů v prostoru křižovatky a na ekonomiku samotného návrhu. Výzkum je zaměřen na alternativní geometrické úpravy, které nemají rozsáhlé finanční náklady a požadavky na zábor pozemku. Z toho vyplývá nutnost sledování úhlu na vjezdu, nebo úhlu, kde se kříží směr pohybu vozidel při výměně směru jízdy.

Přehled geometrických prvků (parametrů) je uveden na obr. 16. Sledované parametry byly shromážděny do databáze OK (viz PŘÍLOHA A.). Následující část práce se zabývá popisem sledovaných návrhových prvků OK, u kterých se předpokládá souvislost s nehodovostí.

a. Úhel na vjezdu do křižovatky α

Úhel na vjezdu do křižovatky α (viz obr. 05.) představuje změnu směru jízdy od jinak přímého směru příjezdu vozidla ke křižovatce. Jedná se o změnu směru jízdy vozidla při vjezdu na okružní pás. V modelu je tento parametr zastoupen úhlovými stupni od 0 do n . Z kanadské studie [119.] vyplynulo, že s rostoucím úhlem na vjezdu počet nehod klesá. Britský manuál pro navrhování OK [122.] doporučuje hodnotu úhlu na vjezdu mezi 20 a 60 stupni. Nejvhodnější hodnota je 30 stupňů. Hodnotou úhlu na vjezdu se zabývá i národní výzkum geometrie komunikací v Americe [129.]. Také potvrdil, že s rostoucí hodnotou úhlu na vjezdu se nehodovost snižuje.

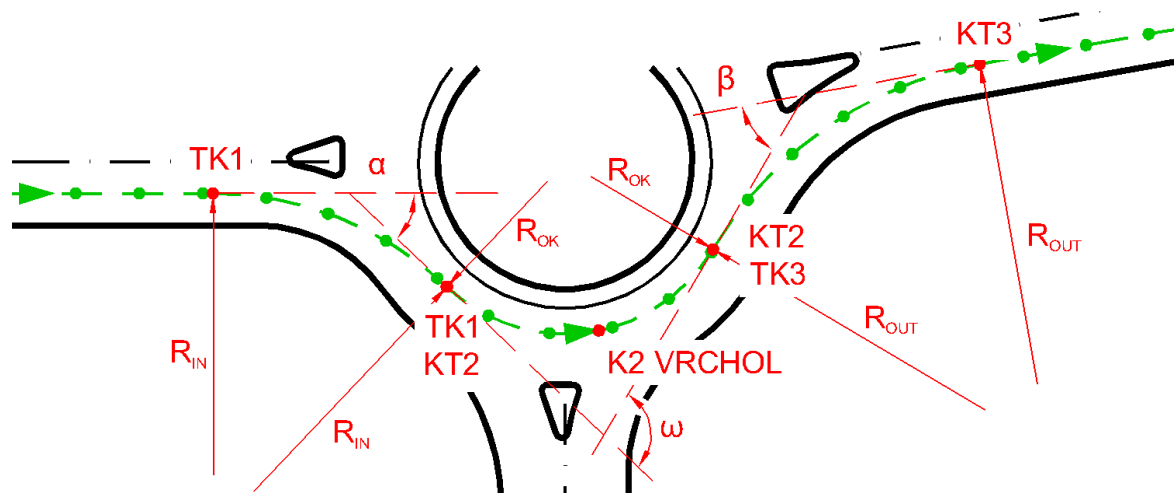
b. Úhel na přímém průjezdu křižovatkou ω

Úhel na přímém průjezdu ω (viz obr. 05.) představuje změnu směru pohybu vozidla, kterou musí vozidlo vykonat mezi vjezdem do OK a výjezdem z ní. Při skutečném průjezdu vozidla OK lze sledovat jeho manévr, kdy se na přímém průjezdu křižovatkou (z ramene do protilehlého ramene) musí vyhýbat středovému ostrovu. V některých případech řidiči nemusejí téměř pohnout volantem (úhel ω nabývá malých nebo nulových hodnot). Vozidlo tedy projíždí po přímce. Nedochozí k redukci rychlosti. Vozidlo křižovatkou projíždí bez ovlivnění geometrie OK. A přitom se změnou rychlosti upravují odstupy vozidel, které napomáhají propustnosti křižovatky. Dochází taktéž k ovlivnění závažnosti dopravních konfliktů a následků při DN.

Na obr. 05. je zobrazen úhel na přímém průjezdu ω v přímé návaznosti na další návrhové parametry OK (α , β , R_{in} , R_{OK} , R_{out}). Pohyb vozidla je na obrázku prezentován zelenou přerušovanou čarou (zelené body představují souřadnice GPS). Tato práce předpokládá, že existuje vztah mezi úhlem na přímém průjezdu ω , průměrem středového ostrova, průměrem křižovatky, včetně šířky jízdního pásu, vjezdovým

(α) a výjezdovém úhlu (β) a rychlosti (případně i poloměru). V modelu je tento parametr zastoupen úhlovými stupni od 0 do n.

Z americké studie [120.] vyplynulo, že podélná deflexe na průjezdu OK je z pohledu bezpečnosti významná. Má vliv na snížení rychlosti a počet nehod. Dle vzoru francouzského manuálu pro OK [121.] však přímý průjezd řeší přes jeho poloměr. Dle další americké studie [124.] bylo prokázáno, že výskyt podélné deflexe vede k nižšímu počtu DN. Obdobné výsledky lze dohledat i v nizozemské zprávě (Turner a spol., 2009 [128.]).



obr. 05. Parametry průjezdu vozidla OK

c. Úhel na výjezdu z křižovatky β

Úhel na výjezdu z křižovatky β (viz obr. 05.) představuje změnu směru jízdy, kterou vozidlo musí vykonat, aby mohlo pokračovat ve směru jízdy výjezdového ramene. Existují případy, kdy jsou protilehlá ramena orientována ve stejném směru jízdy (přímce). V takovém případě nedochází k podélnému vychýlení (deflexi) trajektorie vozidla v oblasti křižovatky. Úhel na výjezdu může nabývat obdobných hodnot jako úhel na vjezdu α . V modelu je tento parametr zastoupen úhlovými stupni od 0 do n.

d. Poloměry na vjezdu/průjezdu/výjezdu OK (R_{in} , R_{OK} , R_{out})

Traffic and Highway Engineering [115.] je publikace, která se zabývá zpracováním parametrů potřebných pro návrh zakružení vjezdu (výjezdu) křižovatek. Tyto parametry odpovídají dle kapitoly 7.2.3. obalovým křivkám jednotlivých typů vozidel. Jsou zde uvedeny i jednotlivé parametry vozidel (délka, šířka, rejdivý úhel). Minimální poloměry zakružení nároží křižovatek jsou uvedeny také v závislosti na rychlosti odbočujících vozidel. Dále se této problematice věnuje kapitola 7.2.5. *Minimum Pavement Widths of Turning Roadways at At-grade Intersection* [115.].

Požadavky na hodnotu poloměru na průjezdu po okružním pásu OK vycházejí také z ČSN 736102 [5.]. Tato práce předpokládá, že poloměr průjezdu souvisí hlavně s úhlem na průjezdu (ω), dále pak s průměrem OK, do kterého lze započítat: šířku okružního pásu, šířku pojížděného prstence a poloměr středového ostrova. Také lze předpokládat závislost poloměru vjezdu (R_{in}) a výjezdu (R_{out}) na úhlu vjezdu (α) a výjezdu (β). Z technických důvodů je pro model nehodovosti vhodnější parametr poloměru (R) vynechat a nahradit ho úhly na vjezdu (α), výjezdu (β) a na přímém průjezdu (ω). Podrobněji viz PŘÍLOHA D. a kapitolu 2.5.4. V modelu tento prvek (R) není zastoupen.

e. Kruhový tvar okruhu křižovatky

Tvar okružního pásu je také předmětem některých výzkumů (viz [115.]). Obvykle se tvar okružního pásu křižovatky navrhuje dle tvaru kružnice. Existují však případy, kdy je okruh navržen ve tvaru elipsy, oválu nebo jiných složených křivek. Nekružnicové tvary mají speciální vliv na pohyb vozidel. Většinou upřednostňují pohyb vozidel z jednoho nebo dvou dopravních směrů. V ČSN 73 6101 [4.] je v kapitole 6.2.4 uvedeno doporučení nejvhodnějšího tvaru OK, kterým je kružnice nebo jí podobný tvar. V modelu je tento parametr zastoupen výskytem kruhového tvaru OK.

f. Průměr křižovatky $R_{křižovatka}$

Otázku, zda rozlehlé OK vedou k vyšší nehodovosti, se pravděpodobně nepodaří zodpovědět, jelikož rozlehlé OK nebudou mít dostatečné zastoupení v souboru dat z důvodu absence RPDÍ. Je ale pravděpodobné, že bude možné zodpovědět otázku, zda OK s průměrem větším než cca 40 m vedou k vyšší nehodovosti. V modelu je tento parametr zastoupen jako spojitá veličina uváděná v metrech. Dle švédské studie [118.] a kanadské studie [119.] lze očekávat vyšší počet nehod s rostoucí hodnotou průměru křižovatky.

g. Průměr ního ostrova R_{ostrov}

Průměr středového ostrova souvisí s průměrem křižovatky, také s jejím typem a počtem pruhů na okruhu. Výskyt křižovatek bez středového ostrova se nepředpokládá ani nebyl průzkumem v této práci zaznamenán. V modelu je zastoupen hodnotou v metrech s přesností na půlmetry. Britská příručka pro navrhování OK [122.] doporučuje kruhový tvar středového ostrova s průměrem, který zohledňuje rychlost vozidel (intra/extravilán) a počet zaústěných ramen.

h. Úhel mezi rameny

Publikace *Příručka pro navrhování okružních křižovatek* [76.] doporučuje specifickou vzájemnou polohu jednotlivých vjezdových ramen do křižovatky. Nejvhodnější rozložení je pravidelné umístění ramen po celém obvodu OK. Z toho vyplývá nutnost sledovat úhel mezi jednotlivými paprsky komunikací vstupujících do křižovatky. Pro model bylo nezbytné charakterizovat tuto proměnnou právě jednou hodnotou, kterou je *směrodatná odchylka stanovená od střední hodnoty všech mezilehlých úhlů*. Z indické studie [127.] vyplývá, že s rostoucí hodnotou úhlu na vjezdu do následujícího ramene nehodovost klesá.

i. Odsunutí paprsku vjezdu

Výskyt odsunutí paprsku vjezdu (ramene křižovatky) představuje odsun osy komunikace ramene křižovatky od jejího středu. Dle tuzemských norem mají být paprsky vjezdu orientovány do středu křižovatky. V některých případech však dochází k jejich odsunu. V modelu je tato proměnná zastoupena pomocí výskytu odsunutí. Francouzský manuál pro OK [121.] preferuje paprsek vjezdu orientovat přímo do středu OK. Britské [122.] a australské [123.] příručky preferují odsunutí středu. Zde není praxe ustálená, ani závěry bezpečnostního výzkumu.

j. Kolizní vzdálenost

Kolizní vzdálenost představuje vzdálenost mezi kolizním bodem na výjezdu a vjezdu téhož ramene křižovatky. Tato vzdálenost vstupuje i do kapacitního výpočtu vjezdu OK (viz TP 234 [12.]). Je také spojena s reakční dobou řidiče a rozhledem pro zastavení. V modelu je zastoupena pomocí proměnné uváděné

v metrech. Dle indické studie [127.] je potvrzen vliv vzdálenosti mezi kolizními body výjezdu a vjezdu téhož ramene. S jeho rostoucí hodnotou lze očekávat snížení počtu nehod.

k. Počet pruhů na okruhu a jeho šířka

Počet pruhů na okruhu udává počet jízdních pruhů, které jsou na okruhu OK. Obvykle se jedná o jeden jízdní pruh, do kterého je umožněno přímé najetí vozidel z vjezdu OK. V případě dvou pruhů na okruhu se obvykle najíždí do vnějšího a vnitřní pruh slouží k manévrování. Vzniká tak průpletový úsek v oblasti křižovatky. V mnohých zahraničních studiích se toto uspořádání jeví jako nebezpečné. Nasvědčují tomu časté DN. Zkušenosti ze zahraniční literatury potvrzují, že na OK se dvěma pruhy na okruhu dochází k vyššímu počtu DN (viz Brilon, 2011 [32.]).

Šířka okružního pásu je spojena s počtem pruhů na okruhu. V modelu je zastoupena dělením na jednopruhé a dvoupruhové okružní pásy. Šířka samotného okružního pásu s jedním pruhem může odpovídat celkové šířce dvoupruhových okružních pásů. Současným trendem je úprava dvoupruhových na spirálovité křižovatky. V modelu je tato proměnná zastoupena pomocí počtu pruhů na okruhu. Dle švédské studie [118.] lze očekávat, že jeden pruh na okruhu je bezpečnější než dva pruhy. Z kanadské studie [119.] vyplynulo, že s rostoucí šířkou okružního pásu roste i počet DN.

l. Počet pruhů na vjezdu a jeho šířka

Počet pruhů na vjezdu obvykle souvisí s kategorií komunikace a s jejím dopravním zatížením. Je také spojena s typem OK. Většinou jsou realizovány jednopruhé vjezdy, max. dvoupruhové. Šířka vjezdu pro jednopruhé vjezdy může odpovídat celkové šířce dvoupruhových vjezdů. Z kanadské studie [119.] vyplynulo, že s rostoucí šířkou vjezdu roste i počet nehod.

m. Počet pruhů na výjezdu a jeho šířka

Šířka a počet pruhů na výjezdu se řídí obdobnými podmínkami jako vjezd.

n. Výskyt a šířka pojížděného prstence

Šířka pojížděného prstence je jedním z nejdiskutovanějších atributů na OK. Jedná se o zpevněnou plochu kolem středového ostrova OK, která je vyhrazena pro nadrozměrná vozidla při průjezdu OK. Povrchová úprava pojížděného prstence není předmětem této analýzy. Výskyt pojížděného prstence na OK je pro model chápán jako hodnota jeho šířky. Pokud je uvedena 0, pak se předpokládá, že se pojížděný prstenec na OK nevyskytuje. Britská příručka pro navrhování OK [122.] doporučuje šířku pojížděného prstence 1,5 až 2,0 m s ohledem na skladbu vozového parku. Vliv na nehodovost není specifikován.

o. Výskyt bypassu a jeho šířka

Bypass představuje přidruženou větev vjezdu OK, která vyčleňuje samostatný dopravní směr na OK. Většinou se jedná o větev, která je napojena do sousedního následujícího ramene křižovatky. Bypass má přímý vliv na dopravní zatížení okružního pásu. Snižuje expozici vzájemného kontaktu vozidel.

p. Počet ramen OK

Počet ramen OK odpovídá počtu paprsků komunikací, které umožňují výměnu směru jízdy vozidel v oblasti křižovatek. Počet ramen OK je v modelu zastoupen jako kategoriální proměnná nabývající hodnot 1 až 6.

q. Typ křižovatky

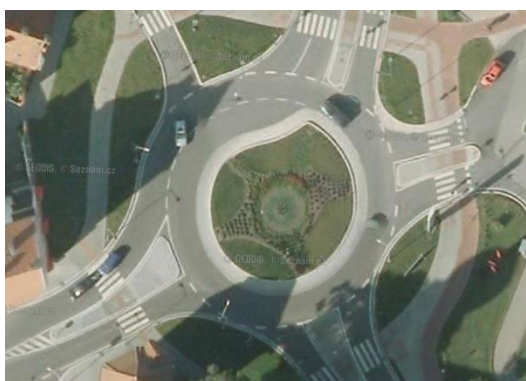
Typ OK (viz obr. 06.) vstupuje do modelu dle uspořádání jízdních pruhů na okruhu křižovatky a uspořádání vjezdu: s jedním pruhem na okruhu, se dvěma pruhy na okruhu, spirálovitá, miniokružní (průměr do 23 m) a mimoúrovňová (jen výjimečně).



s jedním pruhem na okruhu



se dvěma pruhy na okruhu



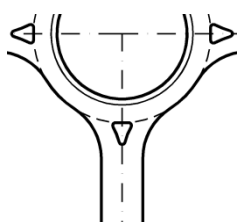
spirálovitá



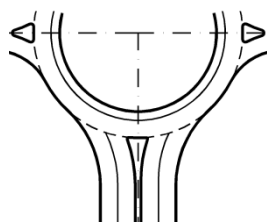
miniokružní

obr. 06. Typy okružní křižovatky

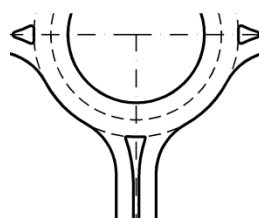
Pro účely této práce byla provedena transformace charakteristiky typu křižovatky na typ vjezdu do křižovatky, který je spojen s počtem pruhů na okruhu a na vjezdu (viz kapitolu 2.5.1.). Následuje obr. 07. až obr. 10., které prezentují jednotlivé typy vjezdu.



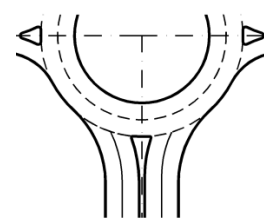
obr. 07. Vjezd: typ 1



obr. 08. Vjezd: typ 2



obr. 09. Vjezd: typ 3



obr. 10. Vjezd: typ 4

Studie z Ománu [125.] opět potvrzuje vliv počtu jízdních pruhů na vstupu do OK a šířky okružního pásu spolu s 85. percentilem rychlosti na vjezdu.

r. Lokalita

Lokalita (extravilán, intravilán) představuje popis typu urbanizace (zástavby) v okolí místa, kde se OK nalézá. Obvykle je charakterizována objemem dopravního proudu. V intravilánu se předpokládá nižší rychlost vozidel a menší následky nehod. Lze očekávat větší počet DN se zraněnými účastníky dopravy (chodci, cyklisté aj.). V extravilánu je vyšší rychlost, se kterou přímo souvisí následky nehod. V modelu je tato proměnná kategoriální, nabývající hodnot 1 (extravilán) a 2 (intravilán). Dle americké studie [124.] byla prokázána OK v extravilánu jako nebezpečnější.



obr. 11. Lokalita

Obecné charakteristiky okružních křižovatek:

V prostoru nebo v blízkosti křižovatek se vyskytují další prvky, u kterých lze předpokládat vliv nebo spojitost s ukazateli bezpečnosti, např. tramvajové pásy, přechody pro chodce, přejezdy pro cyklisty, chodníkové pásy, pruhy pro cyklisty, travnaté pásy, zastávky MHD, sloupy nadzemního energetického vedení, zpomalovací prahy, vodorovné a svislé dopravní značení, parkování. Každý z těchto prvků svým způsobem ovlivňuje bezpečnost na křižovatce a chování řidičů.

Jednotlivé výzkumy a analýzy těchto prvků byly rešerší taktéž zaznamenány. Obvykle však tyto prvky bývají zahrnuty ve větších ucelenějších zprávách (v jednotlivých kapitolách). Věnují se jim odborné publikace o navrhování geometrie silnic a dálnic a dopravním inženýrství.

V této práci byl proveden pouze částečný sběr dat vztahující se k těmto proměnným. Následuje výčet a popis proměnných, které bylo možné z technického hlediska a rozsahu práce získat.

s. Nejvyšší kategorie komunikace na vjezdu do křižovatky

V českých standardech jsou popsány podmínky, za kterých lze osadit OK na silnice I. třídy a na mezinárodní tahy (př.: E55). Jejich realizace může vést ke snížení kapacity komunikace a komfortu jízdy (cestovní čas). V modelu je kategorie komunikace zastoupena dle nadřazenosti (pořadí: D, I., II., III., MK a úk).

t. Konzistence kategorie na vjezdu do křižovatky

Z pohledu kategorie komunikace na vjezdu do OK je také vhodné posoudit, zda jsou všechny vjezdové komunikace stejné kategorie, tedy konzistentní. V modelu je zohledněna stejnorodost kategorie komunikací na vjezdu do OK.

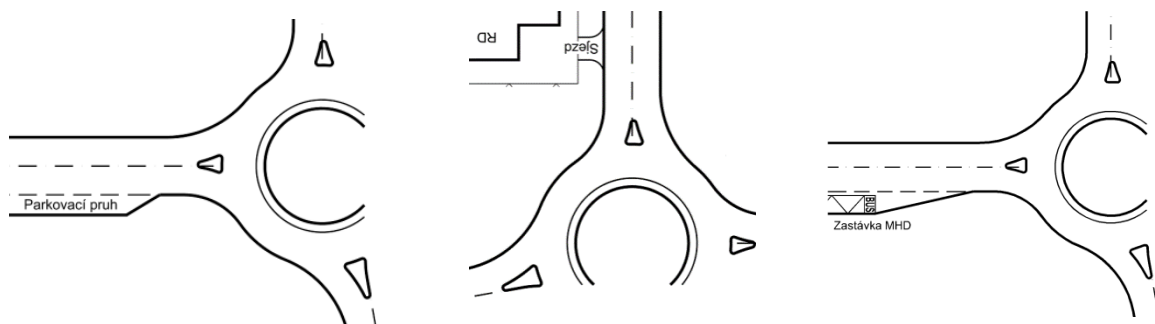
u. Výskyt zastávky HD na vjezdu do křižovatky

Hromadná doprava (HD) obvykle má zastávku alespoň na jednom z ramen OK. Umožňuje se tak vhodnější pohyb chodců (využívají se přechody v místě křižovatky) a obracení vozidel HD. Nevznikají tak další rizika na komunikaci (kolizní nebo křížné body). Pohyb vozidla HD na komunikaci před vjezdem na

okružní pás křižovatky může negativně ovlivnit dopravní proud. Jedná se však spíše o organizaci dopravy při zastávce, nikoliv v prostoru křižovatky. V modelu je tento parametr zastoupen výskytem alespoň jedné zastávky v oblasti křižovatky.

v. Výskyt parkování na vjezdu do křižovatky

Parkování na rameni OK se většinou vyskytuje na místních komunikacích a řeší se formou parkovacího pruhu nebo parkoviště. Stání mohou být kolmá, šikmá, většinou však podélná. Při parkovacím manévru vozidla může stejně jako u sjezdu docházet k ovlivnění dopravního proudu, tj. vzniká zde riziko. Rozmanitost organizace parkování je však tak rozsáhlá, že nelze předpokládat přímý vliv na bezpečnost OK. V modelu je tento parametr zastoupen pouhým výskytem v oblasti křižovatky.



obr. 12. Speciální pohyby na ramenech OK

w. Výskyt sjezdu na vjezdu do křižovatky

Sjezdy reprezentují napojení objektů a pozemků na síť PK. Vozidla jsou zde vystavena riziku kolize nebo dopravního konfliktu. Ovlivnění dopravního proudu lze opět očekávat před vjezdem do OK nebo za jeho výjezdem. V modelu je tento parametr zastoupen pouhým výskytem v oblasti křižovatky.

x. Vliv jiného charakteru provozu

Jedná se o parametr, který reprezentuje charakter provozu na vjezdu do křižovatky z pohledu extravilánu nebo intravilánu. Např. v případě lokalizace křižovatky na okraji obce lze předpokládat vyšší rychlost vozidel alespoň na jednom vjezdu křižovatky (příjezd z nezastavěného území). V modelu je tento parametr prezentován výskytem takového jevu (pokud má alespoň jeden vjezd jiný charakter, může dojít k narušení).

y. Změna směru provozu na rameni křižovatky

V praxi se často realizují ramena OK s omezeným pohybem vozidel (jednosměrná ramena). Tato ramena se realizují často u obchodních center, ČSPH⁷ nebo na rampách mimoúrovňových křižovatek. V modelu je tento parametr zastoupen pouhým výskytem v oblasti křižovatky.

z. Změna typu křižovatky v okolí

Jednou z dalších otázek spojených s nehodovostí OK je, jestli jsou řidiči ovlivňováni střídáním různých typů křižovatek při průjezdu danou lokalitou. V praxi to znamená, zda je vhodné průtahy obcí realizovat se stejným typem křižovatky nebo je vhodné typy střídat. V modelu je tento parametr

Poznámka:

⁷ ČSPH = Čerpací stanice pohonných hmot

prezentován výskytem takového jevu (pokud je v okolí zaznamenán výskyt alespoň jednoho jiného typu navazujícího uzlu, tak dochází k ovlivnění).

aa. Výskyt přechodu pro chodce

Chodec je jedním z nejzranitelnějších účastníků dopravního provozu. Kolize vozidla s chodcem obvykle vede k nejtěžším následkům DN (viz metodiky [146.] a [147.]). Přechody pro chodce se osazují na vjezdy/výjezdy a často bývají osazeny v nevhodných rozhledových podmínkách. Jejich technické provedení bývá různorodé. Z důvodu nedostupnosti údajů o intenzitě chodců na přechodech je v modelu tento parametr zastoupen pouhým výskytem v oblasti křižovatky. Dle americké studie [124.] vykazují vjezdy s přechodem pro chodce vyšší počet DN.

2.2.2. Provozní zatížení

Provozní zatížení je charakteristika dopravního proudu, která se neustále mění. Jedná se o parametr v modelu nehodovosti, který přímo souvisí s bezpečností, a to v tom smyslu, že pokud by křižovatka nebyla zatížena, nemohla by se stát ani jedna DN. V modelu nehodovosti ji představuje především intenzita vozidel (konkrétně RPDI, ale lze zohlednit i její skladbu).

Právě s ohledem na intenzitu se navrhuje jednotlivé parametry OK. Na vysoce zatížené dopravní uzly se navrhne typ OK se zvláštním ohledem na skladbu dopravního proudu, kategorii komunikace, lokalitu a lokální podmínky. I když se na OK nenachází hlavní komunikace, z pohledu dopravního zatížení tomu tak není. Např. v místě křižovatky silnice I. třídy a III. třídy budou parametry vjezdu a výjezdu nižší třídy komunikace splňovat minimální hodnoty příslušné normy. Naopak na vjezdu vyšší třídy se bude předpokládat návrh vhodnějších (maximálních) parametrů, které podpoří průjezd těžké nákladní dopravy (TNV). Vjezdy budou tedy upraveny pro vozidla větších rozměrů. Lze předpokládat i jiný povrch a skladbu vozovky na vjezdu do křižovatky atd. Intenzita tedy souvisí i s jednotlivými parametry geometrie OK.

Intenzita dopravy

Intenzita je jednou z mála spojitých proměnných charakteristik. Jedná se o součet vozidel na vjezdu do OK za jednotku v čase. Tato hodnota je pro účely tohoto výzkumu odvozena z ročního průměru denních intenzit (RPDI) z celostátního sčítání dopravy. Dalším zdrojem by mohl být vlastní průzkum, který však nebyl realizován z důvodu náročnosti plošného sběru dat v potřebném měřítku.

Roční průměr denních intenzit (RPDI)

Roční průměr denních intenzit dopravy (dále jen RPDI) je aritmetický průměr denních intenzit dopravy všech dnů v roce. Udává se v jednotkách vozidel za dvacet čtyři hodiny (voz/24 hodin). RPDI je předmětem plošného průzkumu dopravy prováděného jako celostátní sčítání dopravy (dále jako CSD). Toto sčítání se provádí v pravidelných pětiletých intervalech. Jeho účelem je získat informace o provozu na dopravní síti ČR, tj. základní data potřebná pro navrhování a posuzování kapacity PK a hodnocení vývoje intenzit automobilové dopravy.

RPDI představuje směrodatnou hodnotu a informaci o zatížení předmětné komunikace. Ve funkci bezpečnosti se jedná o hodnotu expozice vysvětlovaného jevu (počet DN, závažnost). Lze ji využít jako jednu ze vstupních hodnot do modelu bezpečnosti OK. Představuje spojitou veličinu. Může nabývat hodnot

od 0 do „nekonečna“ (reálného celého čísla 0 až např. 50 000 vozidel/24 hodin). Pro účely modelu nehodovosti je hodnota upravena, viz kapitolu 2.3.2.

V této práci byl proveden přepočítání RPDÍ na vjezdech do OK dle metodiky uvedené v TP 189 [9.] a TP 225 [11.]. Přepočítání měl za cíl doplnit zatížení na vjezdu v jednotlivých letech 2009 až 2016. Zatížení vjezdu je stanoveno jako polovina hodnoty RPDÍ na příslušné komunikaci zaústěné do kruhového objezdu.

Trajektorie průjezdu vozidla

Z dalšího pohledu dopravního zatížení je vhodné uvažovat i samotný pohyb jinak neovlivněného vozidla, které by samo projíždělo křižovatkou. OK sama o sobě tvoří svým uspořádáním překážku na PK (středový ostrov křižovatky). Pokud je vhodně navržena, dochází k pozitivnímu ovlivnění dopravního proudu, většinou k regulaci rychlosti projíždějícího vozidla a odstranění levého odbočení. Tím dochází k ovlivnění počtu kolizních bodů. OK lze chápat jako soustavu po sobě jdoucích stykových křižovatek bez levého odbočení. Právě trajektorie pohybu vozidla může poskytnout potřebné informace o průjezdu vozidla křižovatkou.

Trajektorie pohybu vozidla (v případě této práce inspekčního vozidla) je skupina po sobě jdoucích bodů, které definují polohu vozidla vůči počátku souřadnicového systému (GPS, S-JTSK). Trajektorie je vytvořena odečítáním charakteristik polohy vozidla za pohybu v reálném čase. Výstupem jsou reálné hodnoty úhlů na vjezdu/průjezdu/výjezdu, taktéž poloměru a rychlosti v různých místech na průjezdu křižovatkou (postup viz v PŘÍLOHA D.).

2.2.3. Ukazatele bezpečnosti

Ukazatele bezpečnosti představují skupinu informací popisujících následky dopravního zatížení PK nebo křižovatky. Jejich analýzou můžeme dospět k identifikaci bezpečnostních rizik, DN nebo i samotných příčin nebezpečných situací. Základní dělení ukazatelů: přímé a nepřímé.

Přímý ukazatel bezpečnosti silničního provozu (PUB) dává jednoznačnou informaci o následku dopravního zatížení. V kratším časovém období však nemusí vypovídat přesnou informaci o trendu vývoje bezpečnosti. Toto souvisí např. s realizovanou úpravou na křižovatce. K analýze efektivity úpravy z pohledu bezpečnosti potřebujeme minimálně stejné období monitoringu před i po úpravě, abychom mohli srovnat indikátory bezpečnosti, viz *Metodiku úprav neřízených křižovatek* (Striegler a spol., 2013 [64.]). Pro zkrácení intervalu monitoringu lze využít analýzu dopravních konfliktů, kde je možné provádět analýzu na velmi krátkém časovém úseku a stanovit tak bezpečnostní rizika téměř ihned.

Z dlouhodobého hlediska je však vhodné k posouzení bezpečnosti silniční dopravy využívat nepřímé ukazatele bezpečnosti silničního provozu, které nejsou ovlivněny obdobím monitoringu, ale jsou výsledkem skutečných změn stavebních nebo dopravních podmínek silničního provozu. NUB vycházejí z experimentálně ověřených vztahů mezi chováním účastníků a bezpečností.

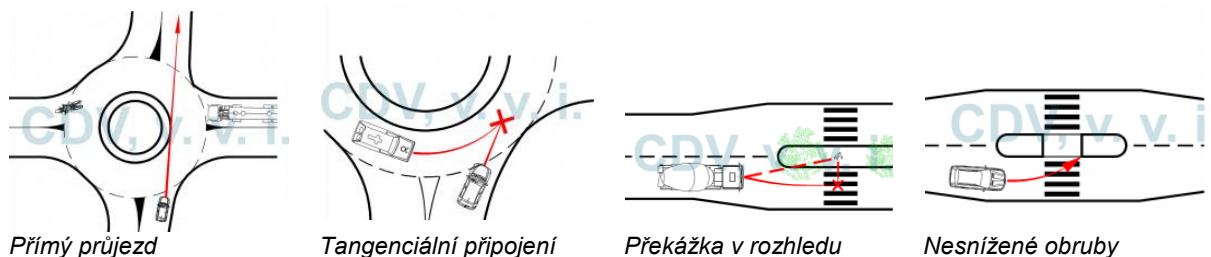


obr. 13. Ukazatele bezpečnosti silniční dopravy

Na obr. 13. jsou zobrazeny bezpečnostní ukazatele na PK, ze kterých lze stanovit bezpečnostní riziko. **Nerušený průjezd** vozidel na PK představuje drtivou (pozitivní) většinu dopravních událostí. **Dopravní konflikty** jsou častějším jevem na PK než DN a lze z nich vyvodit rozmanité množství bezpečnostních rizik na PK. **Dopravní nehody** představují skupinu událostí na PK s následky na majetku, ale i na zdraví. Tato skupina je ve vzorku dopravních událostí poměrně málo četná.

Nepřímý ukazatel bezpečnosti zde není zobrazen, jelikož nebyl identifikován vypovídající vzorek dat. Nepřímé ukazatele většinou přímo neovlivňují příčinu DN, ale až její následky (např. pokud se řidič nepřipoutá, může mít těžší následky na zdraví).

Díky analýze bezpečnostních ukazatelů lze identifikovat řadu bezpečnostních rizik, jež představují skupinu prvků na křižovatkách a PK, které po jejich úpravě mohou ovlivnit bezpečnost, ale i kapacitu. Identifikací bezpečnostních rizik se zabývá například *Metodika identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu* (Striegler a spol. 2012 [59.]). Řešením bezpečnostních rizik se zabývá *Metodika kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu* (Striegler a spol., 2013 [60.]). Obě tyto metodiky lze využít i v intravilánu. Jedněmi z hlavních bezpečnostních rizik, která ovlivňují průběh a následky konfliktu a nehody na OK, mohou být příklady na obr. 14.



obr. 14. Příklady bezpečnostních rizik

Přímé ukazatele bezpečnosti – dopravní nehody (DN)

DN tvoří základ pro výpočet přímých ukazatelů bezpečnosti silničního provozu. Ukazatel je počet DN vztažený na rok. Kromě celkového popisu DN existují dva základní atributy, které ji charakterizují. Závažnost zranění a lokalizace nehody slouží především k získání vypovídajících informací o průběhu a následcích nehody. Právě tyto dva parametry slouží jako hlavní analytické prvky modelu nehodovosti na OK. Na základě souboru dat DN lze tedy provést statistické zpracování a predikci vývoje DN na OK v závislosti na návrhových/geometrických prvcích nebo jiných atributech OK.

Dopravní nehody se dělí na nehody:

- s lehkým zraněním (LZ),
- s těžkým zraněním (TZ),
- se smrtelným zraněním (SZ),

- pouze s hmotnou škodou (HMš).

V roce 2009 došlo ke změně způsobu evidence dat. Dle zákona č. 361/2000 Sb. [20.], o provozu na pozemních komunikacích, v pozdějším znění s platností od 1. 1. 2009, byla provedena změna hmotné škody převyšující na některém ze zúčastněných vozidel, včetně přepravovaných věcí, nebo na jiných věcech na částku 100 000 Kč (z dřívějších 50 000 Kč).

Protože nehody s hmotnou škodou tvoří podstatnou část zkoumaného souboru, mohou být do modelu konzistentně zahrnuty až od roku 2009 do roku 2016 (viz tab. 02.), tzn. odstranit ze vzorku 4235 DN. Multifaktorová analýza je provedena na základě celkového počtu DN.

tab. 02. Přehled počtu DN na OK v letech 2007 až 2016 (území ČR)

DN	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Celkem
SZ	1	2	4	1	2	2	2	2	3	0	19
TZ	12	30	14	20	19	23	22	22	22	23	207
LZ	150	185	169	162	217	230	200	270	244	223	2050
HMš	2007	1848	639	661	643	703	673	759	807	819	9559
Celkem	2170	2065	826	844	881	958	897	1053	1076	1065	11835

Relativní přímé ukazatele bezpečnosti – závažnost DN

Přímé ukazatele bezpečnosti silničního provozu lze vyjádřit i jinou formou. Jedná se o vytvoření tzv. relativních ukazatelů, které představují vztah počtu DN dle výběru s dopravním zatížením (obvykle RPDl), obdobím (roky) a rozsahem infrastruktury (délka úseku aj.). Jedním ze základních forem je četnost, relativní nehodovost nebo hustota nehod. Všechny tyto jsou popsány v metodice popisující úpravu křižovatek [64.]. Tyto ukazatele však zahrnují četné další proměnné, které jsou ovlivněny individuálními nebo jinými společenskými faktory.

V této práci je experimentálně použitý další ukazatel hodnocení bezpečnosti. Jedná se o **závažnost DN** stanovenou z průměrných hodnot celospolečenských ztrát dle metodiky (Vyskočilová a spol., 2013 [77.]). Celospolečenské ztráty z DN představují finanční ohodnocení DN na základě finančních prostředků vynaložených na odstranění a nahrazení škod vzniklých při DN. Jedná se o váhu DN, která představuje její závažnost (př. čím dražší nehoda, tím závažnější její následky). Ukazatel celospolečenských ztrát umožnil srovnání výskytu DN dle jejich závažnosti na výchozí hladinu, kterou je nejčetnější skupina DN pouze s hmotnou škodou.

$$(03) \text{ Závažnost DN} \quad \text{Závažnost DN} = \frac{\text{Celospolečenská ztráta (SZ, TZ, LZ)}}{\text{Celospolečenská ztráta HMš}} \quad [-]$$

Závažnost DN je vypočtena pro každou nehodu zvlášť, v příslušném roce jejího uskutečnění. Jedná se o relativní poměr zobrazený v tab. 03. a tab. 04.

tab. 03. Celospolečenské ztráty z DN (tis. Kč)

Ztráta	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SZ	9933	10558	10653	17645	18572	18669	19440	20881	20790	20790
TZ	3335	3545	3577	4863	4783	5062	4868	5089	5034	5034
LZ	375	398	402	668	509	413	433	429	650	650
HMš	102	108	109	271	227	226	267	262	345	345

tab. 04. Závažnost

Závažnost	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
SZ	97,38	97,76	97,73	65,11	81,93	82,61	72,73	79,70	60,28	60,28
TZ	32,70	32,82	32,82	17,94	21,10	22,40	18,21	19,42	14,59	14,59
LZ	3,68	3,69	3,69	2,46	2,24	1,83	1,62	1,64	1,88	1,88
HMš	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00

Příslušná závažnost DN byla stanovena dosazením koeficientu závažnosti dle výskytu DN v roce a její závažnosti (dle počtu zraněných účastníků a výše hmotné škody na DN).

Přímé ukazatele bezpečnosti – dopravní konflikty

Dle *Metodiky sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů* (Kocourek, 2010 [66.]) je dopravní konflikt pozorovatelná situace, při které se k sobě dva nebo více účastníků silničního provozu přiblíží v prostoru a čase natolik, že hrozí jejich kolize, pokud se jejich pohyb nezmění.

Jedná se tedy o situace na PK, které jsou zjištělné pouhým pozorováním. Za dopravní konflikt se nepovažuje situace s jedním vozidlem (např. sjetí mimo vozovku, srážka s pevnou překážkou). Existuje pět stupňů dopravních konfliktů, které definují závažnost vzniklé dopravní situace.

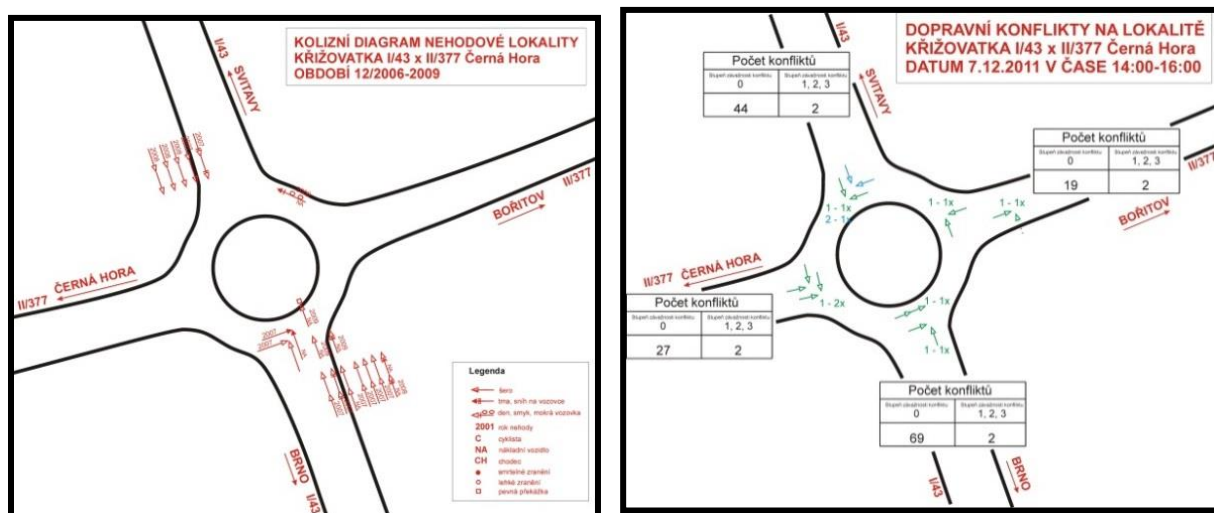
Stupněm 0 je označeno chování účastníků bez jakékoli vzájemné reakce (porušení pravidel bez následků chování jednotlivých účastníků, přecházení mimo přechod).

Stupeň 1 označuje lehký dopravní konflikt s nízkou závažností, kde dochází k běžným reakcím účastníků (plynulé, kontrolované, očekávané manévry, změna směru chůze).

Stupeň 2 označuje střední dopravní konflikt s omezením a náhlými reakcemi účastníků (výrazné, bezprostřední nečekané manévry, změna rychlosti chůze, vstup na vozovku).

Stupeň 3 označuje těžký dopravní konflikt s ohrožením a prudkými reakcemi účastníků (kritické, nouzové manévry, zkratové manévry). Tento stupeň konfliktu je často doprovázen hlasitými ruchy od kol při brzdění.

Stupeň 4 označuje již samotnou DN, kdy došlo k přímému kontaktu účastníků provozu.



Období monitoringu: 2006–2009 (4 roky)
 Počet nehod: 18

(Zdroj: projekt EFEKTIV – TA01031303)
 Období monitoringu: 7. 12. 2011, 14:00–16:00 (2 hod.)
 Počet konfliktů: 8 (závažnost 1 až 3)

obr. 15. Porovnání nehod a konfliktů

Závažnost dopravního konfliktu nesouvisí s jeho příčinou. Závažnost definuje míru vzniklého rizika, nikoliv jeho původ. Ten opět spočívá v podrobné analýze konfliktního děje před jeho vznikem. Omezení a ohrožení zmíněné u stupně 2 a 3 je definované zákonem č. 361/2000 Sb. [20.] a zní následovně: „*Nesmět ohrozit označuje povinnost řidiče počínat si tak, aby jinému účastníku provozu na PK nepřekážel.*“ Nesmět ohrozit znamená povinnost řidiče počínat si tak, aby jinému účastníku provozu na PK nevzniklo žádné nebezpečí.

Pomocí dopravních konfliktů je možné nahradit nedostatek přímých bezpečnostních ukazatelů (DN). Dlouhý časový interval monitoringu období DN lze nahradit krátkodobým monitoringem a analýzou dopravních konfliktů a identifikovat tak skupiny nehod a jejich typologii. Výsledkem je diagram dopravních konfliktů.

Právě díky dopravním konfliktům by mohlo dojít k doplnění chybějících údajů o ukazatelích bezpečnosti silničního provozu. Z důvodů úspory času nutného k monitorování DN je tedy vhodné využít dopravní konflikty. Díky nim lze odhalit nejrůznější bezpečnostní rizika, která vedou k nebezpečným situacím s následky, a lze odhalit spojitosti mezi provozem na PK a jejím technickým stavem (návrhové prvky).

V této práci nejsou dopravní konflikty použity, jelikož by jejich analýza na souboru 200 OK vyžadovala stovky pracovních hodin. V modelu budou použita data pouze z DN.

Jedním ze základních problémů identifikace příčin DN nebo konfliktu je stanovení počátečního impulzu, který spouští mechanismus nebezpečné situace. Dopravní konflikty poslouží v případě, kdy není možné shromáždit dostatečný počet údajů o DN. Díky konfliktům lze lépe mapovat děj, který vede k DN, jelikož ho můžeme sledovat v reálném čase. Konflikt většinou předchází nehodě. V případě DN je její záznam spíše náhodný.

Pro vysledování příčiny DN je však nutné jít hlouběji do děje nebezpečné situace, lépe do doby před situací. Příčina nehody nebo konfliktu nespočívá v typu DN (z boku, zepředu, s lesní zvěří), ale v nějakém podnětu, který ovlivní pozornost řidiče, technický stav vozidla nebo stav vozovky. Jednoduchým příkladem může být pouhá konzumace potravin řidičem za volantem. Pokud řidič při řízení konzumuje potraviny a ta mu upadne, přirozeně se po ní ohlédne. Dále se ji může pokusit odstranit jak ze svého oblečení, tak z povrchu sedadel nebo jinak. V tuto chvíli se jeho pozornost ubírá jiným směrem (oči se soustředí na hledání potravin) než do prostoru před vozidlem. A zde záleží už jen na tom, jakou rychlostí se vozidlo pohybuje a kde na komunikaci se nachází. I kdyby se po potravíně řidič ohlédl jen na sekundu, tak při rychlosti 50 km/h to reprezentuje 13,8 m jízdní dráhy bez jeho plného soustředění (např. přechod pro chodce má standardní šířku 3 až 4 m). Při této rychlosti by řidič za sekundu projel tři až čtyři přechody a nerozhodovalo by, že je provedeno správné nasvětlení nebo vhodná bezbariérová úprava přechodu či rozhledové poměry. Příčinou takové DN je buď hledání/úklid/upadnutí potravin, nebo ta skutečnost, že se řidič měl najít ještě před tím, než usedl za volant vozidla.

Stanovení příčiny DN je velmi složitý proces. Právní úprava ČR je nastavena tak, aby byl identifikován zodpovědný účastník. Původní příčina je v právním výkladu ponechána bez povšimnutí. V případě, že by se vyšetření nehody provedlo do důsledku, mohli bychom příčinu vysledovat až několik dní před samotnou nehodou a označit za ni například rozvod nebo sportovní úraz ve volném čase aj.

Nepřímé ukazatele bezpečnosti (NUB)

Jedním z dalších pohledů na bezpečnost je skupina **nepřímých ukazatelů bezpečnosti** (dále jen NUB). *Metodika sledování nepřímých ukazatelů bezpečnosti silničního provozu na pozemních komunikacích* (CDV, 2008 [65.]) se zabývá popisem a druhy sledování těchto ukazatelů. *Metodika stanovení délky a rozsahu průzkumů chování účastníků silničního provozu s ohledem na efektivní vynakládání finančních prostředků* (CDV, 2014 [61.]) se zabývá rozsahem a organizací průzkumu těchto NUB. Z metodiky vyplývá značná náročnost na plošné sledování ukazatelů. Díky těmto ukazatelům však lze sledovat vývoj povědomí řidičů v ČR o bezpečnostních rizicích na PK a částečně také odvodit příčiny DN. Využití tohoto typu průzkumu na OK však není pro tuto práci z finančních důvodů možné. Následuje výčet a popis NUB:

a. Rychlost

S vyšší rychlostí roste i počet DN. Rychlost je významný faktor, který přispívá k celkové statistice dopravních nehod na PK. Nepřiměřená rychlost je příčinou nejméně 40 % všech smrtelných DN. Významně ovlivňuje následky DN. V intravilánu je výraznější závislost mezi procentem řidičů, kteří překračují rychlost, a dopravními nehodami než v extravilánu. Rychlost na OK je ovlivňována jejich návrhovými parametry. **Ohniskem častých DN na OK je vjezd a místo přechodu pro chodce.** Obecně lze průjezd OK chápat jako průjezd vozidla směrovým obloukem složeným ze tří protisměrných kružnic.

b. Míra nedodržování bezpečnostních odstupů

Dle zákona č. 361/2000 Sb. [20.] musí řidič ponechat za jiným vozidlem dostatečnou vzdálenost, aby se mohl vyhnout srážce v případě náhlého snížení rychlosti nebo náhlého zastavení vozidla, které jede před ním. Nedodržení bezpečné vzdálenosti je v ČR jednou z nejčastějších příčin DN.

Bezpečnostní odstupy jsou na OK reprezentovány časovými odstupy mezi za sebou jedoucími vozidly na okružním pásu křižovatky, které je řidič vozidla vjíždějícího do OK ochoten přijmout. Odstupy na OK jsou rovněž ovlivňovány výskytem chodců na přechodu. Právě v místech vjezdu dochází nejčastěji k DN.

c. Ochranné systémy

Ochranné systémy jsou bezpečnostní prvky, které zmírňují následky DN. Díky jejich používání řidiči, spolujezdcí a pasažéry ve vozidle dochází ke zmírnění následků DN. Díky jejich užívání však nedochází k odstranění příčin DN (snad s výjimkou užívání ochrany zraku řidiče motocyklu).

- **Zádržné systémy**

Zákon č. 361/2000 Sb. [20.] přímo ukládá povinnost být na sedadle připoután bezpečnostním pásem (i tak je známo, že každý čtvrtý usmrčený spolujezdec je nepřipoutaný a 50 % usmrčených osob na zadních sedadlech je také nepřipoutaných). Obdobně se sleduje i používání dětských sedaček v autě.

- **Ochranné přilby u cyklistů**

Cyklisté, kteří dodržují zákon č. 361/2000 Sb. [20.], podstupují 19× menší riziko úmrtí, když používají ochrannou přilbu. Při nehodě s cyklistou bývá nejvíce exponována právě hlava, následně paže a kolena. Ze statistik vyplývá, že v roce 2012 nemělo 84 % usmrčených cyklistů ochrannou přilbu.

- Ochranné přilby u motocyklistů

Povinností, kterou ukládá zákon č. 361/2000 Sb. [20.], je mít za jízdy na motocyklu nebo na mopedu na hlavě nasazenou a řádně připevněnou ochrannou přilbu schváleného typu podle zvláštního právního předpisu. Součástí této povinnosti je také řádná ochrana zraku. Navzdory tomu statistiky PČR stále prokazují úmrtí řidiče motocyklu, který neměl helmu.

d. Svícení ve dne

Dle zákona č. 361/2000 Sb. [20.] musí mít motorové vozidlo za jízdy rozsvícená obrysová a potkávací světla nebo světla pro denní svícení. Tato povinnost má zajistit, aby vozidlo bylo vidět i za jinak nezhoršených světelných podmínek. Např. příčinou až 50 % všech DN a přibližně 80 % srážek na křižovatkách a silnicích ve městech je skutečnost, že řidič nezahledne druhé vozidlo včas.

e. Užívání mobilních zařízení řidiči za jízdy (bez handsfree)

Dle zákona č. 361/2000 Sb. [20.] řidič nesmí při jízdě vozidlem držet v ruce nebo jiným způsobem užívat telefonní přístroj nebo jiné hovorové nebo záznamové zařízení. Je prokázáno, že pokud řidič v průběhu jízdy takovýto přístroj používá, je jeho reakce pomalejší přibližně o 10 %. Podstatná část řidičů také při telefonování přestává sledovat zpětná zrcátka (to je nebezpečné zejména při jízdě na dálnici, při předjíždění aj.).

Nepřímé ukazatele bezpečnosti silničního provozu nejsou v této práci dále používány, jelikož rozsah jejich sběru vyžaduje značné časové a finanční zdroje, které jsou nad rámec této dizertační práce.

2.2.4. Shrnutí

Analýza návrhových prvků v závislosti na nehodovosti bude provedena na silničních, provozních údajích a datech o ukazatelích bezpečnosti dle následujícího výčtu:

Provozní data

Součet vozidel vjíždějících do OK (tj. polovina z RPD1 na každém rameni OK)

Podíl TNV na vjezdu do OK

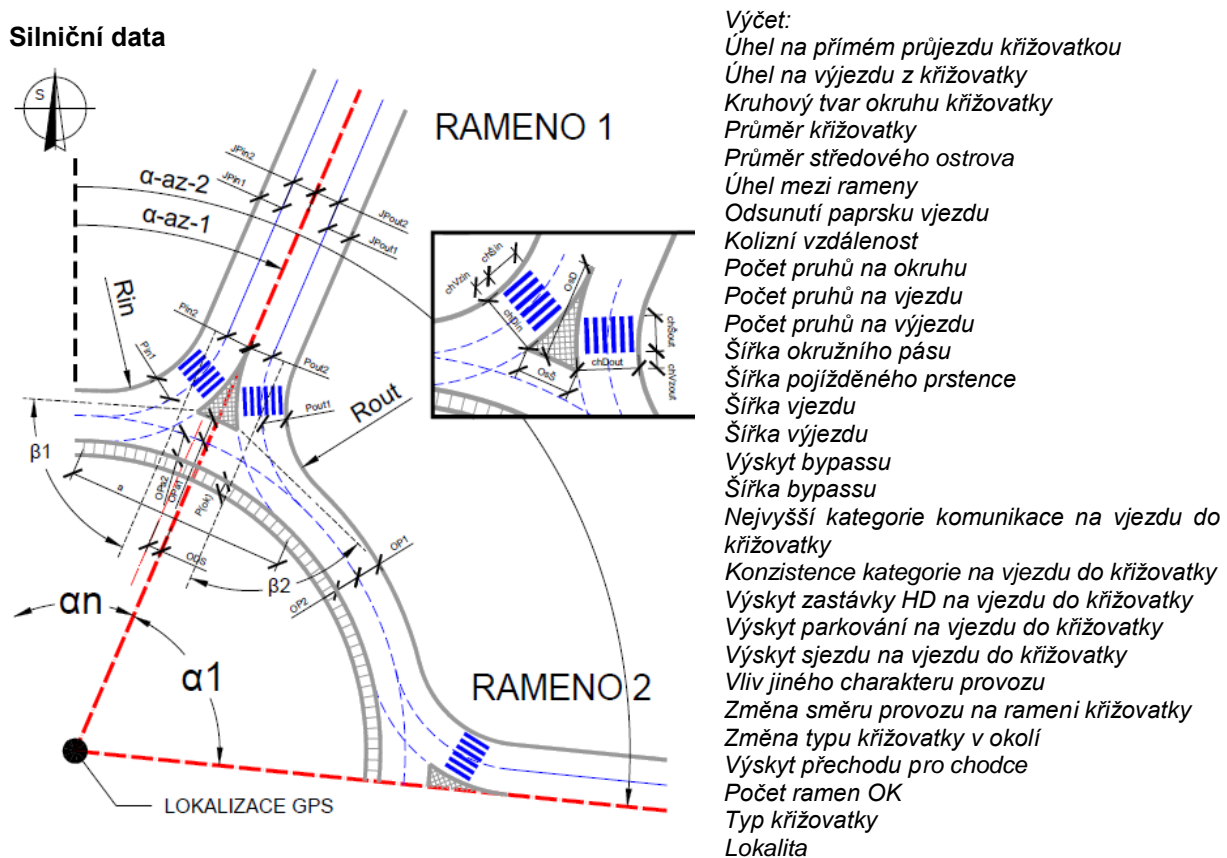
Výchozím zdrojem pro provozní zatížení OK byly údaje z CSD 2010. Pro jiné roky byly využity růstové koeficienty.

Ukazatele bezpečnosti

Součet DN celkem v oblasti křižovatky

Závažnost DN

Data z dopravní nehodovosti jsou uvažována za léta 2009–2016.



obr. 16. Přehled návrhových prvků na OK

2.3. Sběr dat

Pro analýzu návrhových prvků OK v závislosti na nehodovosti byl proveden sběr dat ve třech skupinách, a to: silniční data (parametry/geometrie OK), data o provozu (zatížení) a data o ukazatelích bezpečnosti (nehodovost). V následujících kapitolách je popsán způsob sběru, uchování a návaznost na zpracování dat.

Databáze ke konci roku 2016 udržuje záznam cca 1200 OK. Tyto křižovatky jsou kategorizovány dle zadaných parametrů a je možné je filtrovat. Databáze poskytuje taktéž základní statistický přehled OK (viz tab. 05. tab. 06. tab. 07.). Rozsah udržovaného vzorku OK v databázi je ovlivněn stářím mapového podkladu na portálu Mapy.cz. Jelikož tento portál aktualizuje ortofotomapu každý rok pouze z jedné třetiny, je nutné počítat s neúplným vzorkem OK na území ČR.

2.3.1. Návrhové prvky okružní křižovatky

Silniční data (neboli návrhové/geometrické prvky) byla pořízena ze dvou základních zdrojů. Tím prvním byla vektorová mapa silniční sítě ČR [79.]. Z této mapy bylo možné získat údaje o výskytu OK na silniční síti a jejich obecné parametrizaci.

Vyhláška č. 104/1997 Sb. [24.] řeší povinnost evidence základních atributů (charakteristik) PK z důvodu definování dopravních událostí ve vztahu k síti PK. Vyhláška ustanovuje základní evidenci v podobě pasportu PK, který je ve správě jejich správců. Dále upravuje rozsah a obsah evidence, kterou stanovuje vlastník. Minimální rozsah u silnic I. až III. třídy je jejich délka, počet mostů, včetně celkové délky mostů v km, objem finančních prostředků vynaložených na jejich výstavbu a zvláště na jejich údržbu.

Nesourodost povinnosti evidence podstatných dopravních atributů a charakteristik na síti PK má za následek jen velmi obtížné vytvoření jednotného systému pro digitální lokalizaci provozních charakteristik a nehod. Ve skutečnosti však existuje jednotná evidence vedená Ředitelstvím silnic a dálnic ČR, která řeší zejména silnice I. třídy. Při vedení záznamu nezbytných dat pro silnice II. a III. třídy na úrovni jednotlivých krajů ČR dochází k nesourodosti a zpomalení sběru dat ve vazbě na Silniční databanku ČR. Tato skutečnost by mohla být sjednocena úpravou legislativy Centrálního registru komunikací.

V této práci byly výše uvedené databáze použity pro získání vstupních hodnot. Jejich validace proběhla na základě vizuální kontroly mapového díla Mapy.cz [48.].

Odhad počtu OK v ČR dle základních charakteristik

Ze základního souboru dat OK v ČR děleného dle počtu ramen a lokality vyplývá následující: Nejvíce OK je čtyřramenných (cca 700). Nejvíce OK se nachází v intravilánu (cca 960). ŘSD neeviduje cca 75 % OK, jelikož se zaměřuje pouze na dálnice a silnice I., II. a III. třídy. Místní komunikace v této databázi chybí. Lze konstatovat, že model bude vhodné provést zvlášť pro čtyřramenné křižovatky v intravilánu. Dále bylo nutné soubor dat rozšířit o vlastní průzkum, jelikož samotná data ze silniční databanky nestačí. Zohledňují pouze cca 25 % OK z celkového počtu OK na území ČR.

tab. 05. Přehled OK v ČR dle počtu ramen a lokality

Kraj	Počet OK	Počet ramen OK							EX*	IN*	v ŘSD*	mimo ŘSD*
		2*	3	4	5	6	7	8				
Praha hl. m.	86	3	19	61	3	0	0	0	10	76	0	86
Středočeský	164	6	42	95	21	0	0	0	45	119	34	130
Jihočeský	63	0	21	32	8	2	0	0	12	51	14	49
Plzeňský	86	2	16	46	14	6	1	0	20	66	23	63
Karlovarský	75	0	21	32	18	4	0	0	22	53	1	64
Ústecký	148	1	24	97	23	3	0	0	29	118	27	121
Liberecký	72	2	16	39	14	1	0	0	14	58	25	47
Královéhradecký	78	1	24	38	12	2	0	0	13	64	30	48
Pardubický	58	0	2	43	12	1	0	0	5	53	29	29
Vysočina	42	0	11	25	6	0	0	0	2	40	9	33
Jihomoravský	77	0	16	47	11	2	1	0	11	66	22	55
Olomoucký	68	2	13	46	7	0	0	0	13	55	22	46
Zlínský	42	0	11	22	8	1	0	0	4	38	16	26
Moravskoslezský	128	3	27	78	13	6	0	1	26	102	40	88
CELKEM	1187	20	263	701	170	28	2	1	226	959	300	885

Poznámka:

* 2 – jedná se o případy, kde byla nalezena pouze dvě ramena. Technicky se nejedná o křižovatky nebo se jedná o OK, které jsou ve výstavbě nebo jsou připraveny na výstavbu. V modelu nehodovosti s nimi nebylo uvažováno.

* EX – jedná se o OK v extravilánu (mimo zástavbu, mimo obec/město)

* IN – jedná se o OK v intravilánu (v zástavbě, v obci/městě)

* v ŘSD – jedná se o OK, které se nacházejí v Silniční databance Ostrava (SDO)

* mimo ŘSD – jedná se o OK, které se nenacházejí v SDO

Přehled OK v ČR dle typu

Z výběrového souboru dat OK v ČR děleného dle typu OK vyplývá následující: Nejvíce OK je s jedním pruhem na okruhu (cca 930). Minimální zastoupení mají mimoúrovňové OK (5). Miniokružních křižovatek je 83. Bylo nalezeno 44 OK se dvěma pruhy. Lze předpokládat, že model nehodovosti bude nevhodnější provést pro OK s jedním pruhem na okruhu.

tab. 06. Přehled OK v ČR dle typu

Kraj	Počet OK	Typ křižovatky					
		s jedním pruhem na okruhu	se dvěma pruhy na okruhu	miniokružní křižovatka D<23 m	spirálovitá	mimoúrovňová	Bez identifikace
Praha hl. m.	86	65	7	9	0	0	5
Středočeský	164	126	6	18	0	0	14
Jihočeský	63	51	4	3	1	0	4
Plzeňský	86	62	2	9	0	1	13
Karlovarský	75	63	0	4	0	0	8
Ústecký	148	129	6	6	0	0	7
Liberecký	72	63	0	5	0	0	4
Královéhradecký	78	60	2	9	0	0	7
Pardubický	58	52	1	4	0	1	0
Vysočina	42	27	0	5	0	0	10
Jihomoravský	77	69	2	2	3	0	1
Olomoucký	68	55	3	1	1	0	8
Zlínský	42	37	0	3	0	0	2
Moravskoslezský	128	85	11	5	0	3	24
CELKEM	1187	944	44	83	5	5	106

Poznámka:

Databáze eviduje dalších 106 OK, u kterých nelze potvrdit typ, jelikož není dostupná ortofotomapa. Nelze tedy určit ani jiné parametry OK.

Soubor dat parametrů OK bylo nutno z důvodu rozsahu organizovat, unifikovat a archivovat. Byla proto vytvořena interní on-line databáze OK (viz PŘÍLOHA A.), která shromažďuje jednotlivé informační listy o OK. Souhrn dat vychází z vlastní rekognoskace OK a dalších zdrojů, jako je např. Silniční databanka ŘSD [44.] nebo diplomová práce [45.]. Informační list OK (viz PŘÍLOHA B.) v současné době obsahuje více než 40 sledovaných popisných geometrických atributů shromážděných cca u 1200 OK, z toho 200 obsahuje kompletní záznam dat včetně RPDÍ a DN.

Přehled OK v ČR dle kategorie komunikace

Z výběrového souboru OK v ČR děleného dle výskytu nadřazené kategorie komunikace vyplývá následující: Nejvíce OK se nachází na místních komunikacích (259). Podobný vzorek OK se nachází na silnicích I. třídy (195). Minimální počet OK se vyskytuje na D a účelových komunikacích. Model nehodovosti bude nejhodnější provést pro OK na místních komunikacích (intravilán) a na silnicích I. třídy (extravilán). Jelikož silnice I. třídy často procházejí zastavěným územím, bude vhodné tento vzorek doplnit i skupinou OK na silnicích II. a III. třídy.

U OK lze shromáždit velké množství geometrických parametrů. Například v projektu VEOBEZ [30.] bylo sledováno RPDÍ na vjezdu, lokalita, počet pruhů na okruhu, na vjezdu, vnější průměr, výskyt a šířka bypassu, úhel mezi jednotlivými rameny OK, šířka pojížděného prstence, průměr středového ostrova a počet ramen OK. Tyto parametry charakterizují OK z celkového pohledu. Projekt VEOBEZplus [154.] navázal a přidal parametry, např. počet pruhů na vjezdu/výjezdu, kategorii komunikace, lokalitu na vjezdu OK, směr provozu na rameni OK nebo typ navazujícího uzlu OK.

tab. 07. Přehled OK v ČR dle výskytu nadřazené kategorie komunikace

KRAJ	Počet OK	Výskyt OK dle nadřazené kategorie komunikace					
		D	I.	II.	III.	MK	úk
Praha hl. m.	86	1	4	5	1	59	3
Středočeský	164	0	17	26	11	27	2
Jihočeský	63	0	18	6	2	15	1
Plzeňský	86	1	4	14	5	19	0
Karlovarský	75	0	3	11	2	11	0
Ústecký	148	0	29	10	5	30	0
Liberecký	72	1	15	10	6	16	0
Královéhradecký	78	0	25	7	0	16	0
Pardubický	58	0	16	8	9	5	0
Vysočina	42	0	7	4	1	13	1
Jihomoravský	77	3	16	30	12	15	1
Olomoucký	68	1	13	9	8	12	1
Zlínský	42	0	7	8	3	8	2
Moravskoslezský	128	1	26	15	9	14	2
CELKEM	1187	8	200	163	74	260	13

Poznámka:

Databáze archivuje celkem 701 zaevidovaných OK. Pro úplnost údajů je nutné prověřit ještě 486 OK, které doposud neprošly podrobnějším průzkumem. Je nutné také brát ohled na 106 OK, které není možné zatím editovat/kategorizovat vůbec, a to z důvodu nedostupných mapových podkladů.

2.3.2. Provozní zatížení

Provozní zatížení představuje skupinu vstupních parametrů bezpečnostního modelu OK, která charakterizuje aktivní užítou stránku bezpečnosti. Jednou částí modelu jsou neměnné charakteristiky OK, jako jsou poloměry vjezdu a výjezdu, šířky a délky jízdních pásů aj. Tyto charakteristiky nemají tendenci se v průběhu životnosti OK měnit. Pro statistickou analýzu není ani vhodné, aby se v průběhu životnosti měnily. Provozní zatížení je však charakteristika, která se v průběhu užívání OK aktivně mění. Je přímo spojené s dopravním zatížením, kterému je OK každý den vystavována. Je to zejména: intenzita dopravy, rychlost vozidel, skladba dopravního proudu, hustota a další odvozené veličiny.

Provozní zatížení představuje v modelu nehodovosti OK parametr, který je pro analýzu bezpečnosti návrhových prvků nezbytný. Standardním postupem získání této hodnoty je provedení směrového průzkumu křižovatky. Model nehodovosti však vyžaduje vstupní hodnoty z několika křižovatek pro zobecnění trendu bezpečnosti. Realizace směrového průzkumu na potřebném vzorku cca 200 OK je pro rozsah této práce z finančních důvodů neuskutečnitelná. V případě vyžádání dat z několika nezávislých zdrojů, která by potřeby modelu uspokojila, vzniká další riziko nejednotného metodického postupu dopravních průzkumů. Dále je zde otázka sjednocení termínu a období průzkumu. Z uvedeného vyplývá, že by bylo nutné realizovat více sčítacích termínů průzkumu, ze kterých by bylo možné odvodit průměrnou nebo směrodatnou hodnotu dopravního zatížení.

Z výše uvedených důvodů je pro model bezpečnosti OK zvolen jako vstupní hodnota **roční průměr denních intenzit (RPDI)**. Tuto hodnotu je možné získat plošně na celém území ČR. Její věrohodnost je možné dosledovat z průzkumů předchozích sčítaných let. Stanovení RPDI podléhá jednotné metodice provedení a vyhodnocení.

Do modelu nehodovosti byla tato hodnota hromadně vyhledána na základě vyhledávacího příkazu prostředím vektorové mapy silniční sítě ČR s vazbou na výstupy *Celostátního sčítání dopravy v roce 2010* [77.]. Úskalím sběru dat o dopravním provozu na OK je právě samotný jejich sběr. Určení RPDI

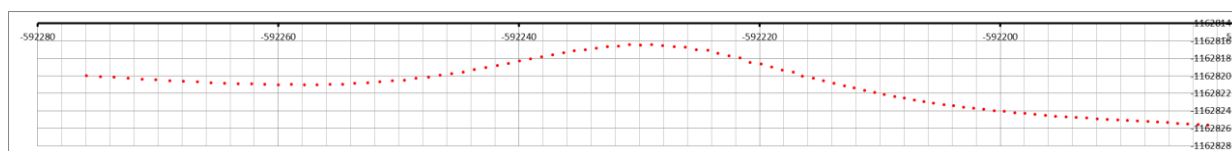
vyžaduje podrobný směrový průzkum na OK nebo sběr dat z dostupných zdrojů. Nejvhodnějším zdrojem dat pro provozní údaje se jeví Celostátní sčítání dopravy 2010. Tento soubor dat obsahuje dostatečné množství záznamů, které lze pro výzkum využít. Problémem však zůstává absence záznamu RPDI na většině místních komunikací, na kterých se OK nacházejí. Tyto údaje bývají často nedohledatelné. Pokud není možné všechna data o OK dohledat, nelze OK do modelu zařadit. Podmínkou tohoto příkazu tedy bylo vyhledat OK, kde jsou dostupné údaje o RPDI na všech jejích ramenech.

Hodnota RPDI na každém rameni OK byla do modelu vložena jako polovina hodnoty RPDI na profilu komunikace. Tak došlo k rozdělení provozního zatížení OK na vjezdu do křižovatky ($RPDI_{IN-R_n}$). Součtem všech ramen pak vychází celková hodnota provozního zatížení RPDI na vjezdu do OK ($RPDI_{IN}$).

$$(04) \text{ RPDI na vjezdu OK} \quad RPDI_{IN} = \frac{RPDI_{IN-R_1} + \dots + RPDI_{IN-R_n}}{2} \quad [\text{voz}/24 \text{ hod.}]$$

Ověřovací průjezd měřicím vozidlem

RPDI je charakteristika vypovídající o zatížení křižovatky. Nikoliv však o pohybu vozidel na křižovatce samotné. Opět je nutné se na tuto problematiku podívat z pohledu realizace. Model bezpečnosti OK vyžaduje rozsáhlý vstupní vzorek dat. Proto je k identifikaci pohybu vozidel přistoupeno pouze jako k ověřovací charakteristice. Měřicí/inspekční vozidlo (podrobněji viz PŘÍLOHA E.), které bylo v Centru dopravního výzkumu, v. v. i., vyvinuto pod záštitou projektů CDVplus⁸ a IDEKO [153.], je schopné zaznamenat trajektorii pohybu vozidla na jakémkoliv úseku PK při dostupnosti signálu GPS. Hlavním využitím měřicího vozidla pro účely analýzy návrhových prvků OK je definování a popis průjezdu vozidla v přímém směru na OK.



obr. 17. Trajektorie: přímý průjezd OK

Na obr. 17. je zobrazen vzorek bodů (X, Y – JTSC) jednoho přímého průjezdu inspekčního vozidla OK (z vjezdu do protilehlého výjezdu). Na první pohled je zde patrná geometrická konstrukce trajektorie průjezdu vozidla. Trajektorie se skládá z vjezdové a výjezdové přímky a tří po sobě jdoucích protisměrných oblouků. Trajektorie zachycuje reálné vychýlení trasy vozidla při přímém průjezdu OK. Lze tedy analýzou trajektorie určit vjezdový (α), výjezdový úhel (β) a dále úhel na přímém průjezdu (ω). Více průjezdy se určí průměrná hodnota ze sledovaných.

Pomocí analýzy trajektorie pohybu vozidla lze vyhodnotit další charakteristiky provozního zatížení křižovatky, jako jsou: rychlost v jakémkoliv místě OK, poloměry vjezdu a výjezdu OK, poloměr průjezdu na okružním pásu, úhly na vjezdu/výjezdu a na přímém průjezdu a zrychlení vozidla.

Vzhledem k tomu, že je tato část sběru provozní charakteristiky pouze ověřovací, probíhal sběr dat pouze na vybraných křižovatkách dle podmínky: vzorkem obsáhnout hodnotu úhlu přímého průjezdu ω od 0 do 90°.

Poznámka:

⁸ CDVplus – ED2.1.00/03.0064 – Dopravní VaV centrum

2.3.3. Bezpečnostní ukazatele

DN spadají do skupiny přímých ukazatelů bezpečnosti silničního provozu. Vycházejí ze sledování parametrů bezprostředně souvisejících s nehodami. Jsou to zejména: počet nehod celkem (za roky 2009 až 2016), počet nehod se zraněním (osobními následky), počet nehod pouze s hmotnou škodou.

Z pohledu statistického zpracování vzorku DN za rok je problém v samotné jejich evidenci. Ve všech vyspělých státech světa jsou vedeny statistiky dopravní nehodovosti dle specifických potřeb, technických možností a národních zvyklostí. Jen z pohledu evidence dopravních nehod v ČR došlo od 1. ledna 1979, kdy se nehody poprvé začaly evidovat, k četným změnám systému jejich evidence. Například první hmotné škody při DN bylo povinné hlásit od hodnoty 1000 Kč. V lednu 2001 byla tato hodnota upravena od 20 000 Kč, v červenci 2006 od 50 000 Kč a od 1. ledna 2009 je hodnota, kdy jsou účastníci DN povinni ji hlásit Policii ČR, stanovena od 100 000 Kč.

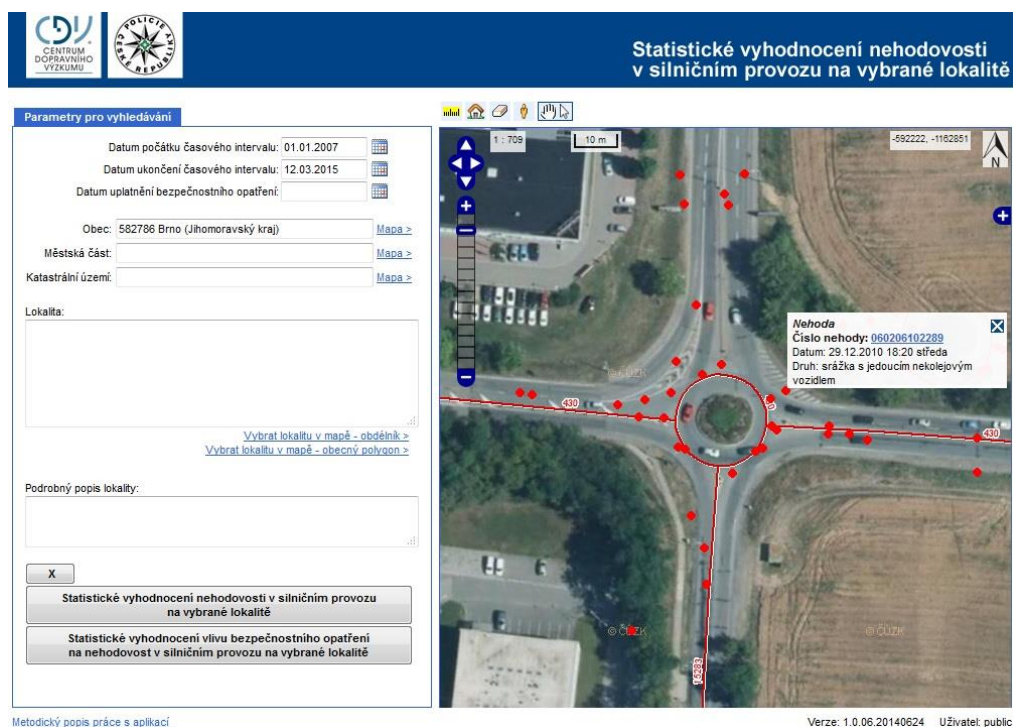
Dalším úskalím evidence DN zůstává fakt, že hodnotu škody jsou na místě nehody nuceni odhadnout sami účastníci, přestože i školený specialista s praxí se může často mýlit. Tato skupina nehod je silně ovlivněna častou úpravou hodnoty hmotné škody v zákoně č. 361/2000 Sb. [20.] a individuálním přístupem ke stanovení odhadu hodnoty hmotné škody na místě. Pro porovnání se zahraničními výsledky je nutné brát ohled na metody evidence v zahraničí. Například v Rakousku byla povinnost hlásit nehody pouze s hmotnou škodou zrušena v roce 1995, a to i v případech extrémních hmotných škod. V Německu jsou účastníci nehody pouze s hmotnou škodou povinni ji nahlásit pouze tehdy, kdy došlo k hrubému deliktu nebo je některé vozidlo nepojízdné. Ve Francii a Irsku mají účastníci nehody povinnost si vyměnit identifikační údaje a vyplnit formulář o DN, který odevzdávají na pojišťovnu. Pokud se neshodnou, volají policejní jednotku.

Skupina nehod pouze s hmotnou škodou je tedy značně ovlivněna šetřením v místě nehody a samotnou evidencí. Analýza návrhových prvků OK v závislosti na DN pouze s hmotnou škodou je zavádějící, pokud se uvažuje i rok 2007 a 2008. Rozbor je nutné provést od roku 2009, kdy je metodika záznamu DN již konstantní. Pro další analýzu v této práci jsou směrodatné údaje dle typu zranění (SZ, TZ, LZ) a dále pak DN pouze s HMŠ.

Zásadním milníkem pro evidenci DN v ČR byl 1. červenec 2006, kdy byl v celostátním měřítku zaveden systém přesné lokalizace místa DN pomocí souřadnic GPS. Toto rozhodnutí umožnilo efektivně propojit přímé ukazatele bezpečnosti s vektorovou mapou sítě PK. Jednotná dopravní vektorová mapa je ve správě Ministerstva dopravy ČR [79.]. Mapa veřejnosti umožňuje nahlédnout do geografického informačního systému a vyhledávat tak údaje o DN bez osobních údajů (viz obr. 18.).

Vyhláška č. 317/2011 Sb. [23.] upravuje způsob vedení záznamů v evidenci DN, podrobnosti o údajích vedených v evidenci DN a způsob předávání podkladů do centrální evidence. Upravuje druh nehody a obsah údajů o PK, na které se nehoda odehrála (např. kategorie, třída, číselné označení komunikace, počet jízdních pruhů, označení křižovatky, staničení na PK, zóna s omezením provozu, stavební a technický stav pozemní komunikace, druh a stav povrchu komunikace, situování DN na pozemní komunikaci, pevné překážky). Dále pak upravuje data s ohledem na čas a lokaci nehody (např. územní celek, datum a čas nehody, druh DN, druh srážky jedoucích vozidel, zavinění DN, hlavní příčiny DN, povětrnostní podmínky, viditelnost, řízení provozu na pozemní komunikaci, specifická místa v místě DN). Vyhláška shrnuje nejpodstatnější identifikátory DN.

Vyhláška č. 361/2000 Sb. [20.], o provozu na PK a o změnách některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, řeší problematiku nehodovosti vozidel na PK a působnost či asistenci státní správy (Policie ČR). Zákon definuje nehodu vozidla jako sled událostí počínající přímo na PK, při němž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla. Zákonem č. 274/2008 Sb. [26.] se mění zákon o Policii ČR, který stanovuje, že pokud dojde při nehodě k usmrcení, zranění nebo dojde ke škodě nad 100 000 Kč, jsou účastníci DN povinni nahlásit tuto skutečnost Policii ČR. Tato definice je však z hlediska potřeb dopravního inženýrství nevyhovující, jelikož dochází k nahlášení, a tím evidenci jen některých nehod. Počet nehod, které nejsou hlášeny (od roku 2008 pod 50 000 Kč a od 1. 1. 2009 pod 100 000 Kč), není znám. Údaje (o neevidovaných nehodách) lze dohledat z dokumentace pojistných událostí, ty jsou však chráněny zákonem č. 101/2000 Sb. [27.], o ochraně osobních údajů. Zákon č. 361/2000 Sb. [20.] však ukládá silničním správním úřadům povinnost zajišťovat prevenci v oblasti bezpečnosti provozu na PK. Ukládá povinnost identifikovat rizikové lokality a analyzovat příčiny nehod. Zákon jednoznačně ukládá povinnost evidence dopravních nehod Ministerstvu vnitra ČR a Policii ČR. Způsob evidence DN v ČR je prezentován na obr. 18.



obr. 18. Náhled do JDVM – OK – Bedřichovická (Brno-Slatina)

Je však nutné konstatovat, že dodržování platného zákona, vyhlášek a norem nemusí zajistit návrh bezpečný prvků PK. Z tohoto důvodu byla do platných výše uvedených zákonů a vyhlášek zakomponována evropská směrnice 2008/96/EC [52.], která předepisuje provádění bezpečnostních auditů a bezpečnostních inspekcí na síti TENT. Úkolem směrnice je vyhledávat a napravit kritické lokality, které způsobují ztráty na životech nebo finančních zdrojích.

Pro účely vyhodnocení bezpečnostního modelu OK byly analyzovány DN z databáze Policie ČR. Tyto nehody byly vyhledány příkazem v GIS prostředí vektorové mapy s obsahem databáze dopravních nehod za roky 2009 až 2016.

Podmínky přiřazení DN k OK byly následující:

- jednalo se o nehodu s atributem na křižovatce,
- jednalo se o nehodu v letech 2009–2016,
- vyhledání DN bylo provedeno ve vzdálenosti 100 m od středu OK.

Celkem bylo vyhledáno 200 OK, kde bylo možné doložit RPDÍ na všech vjezdech. U tohoto vzorku křižovatek bylo v letech 2009 až 2016 nalezeno 2674 DN, z toho 611 se zraněním a 2063 pouze s hmotnou škodou (viz tab. 08. Na všech OK evidovaných v ČR bylo evidováno 7600 DN (se zraněním 1896 a 5704 jen s hmotnou škodou). Analýza tedy zahrnuje cca 35 % DN na OK v ČR (podrobněji viz PŘÍLOHA F.).

tab. 08. Přehled DN na vybraném vzorku 200 OK v ČR

Roky	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Celkem
SZ	2	0	1	0	1	0	1	0	5
TZ	5	5	8	8	4	5	10	7	52
LZ	63	57	86	66	68	83	71	60	554
HMš	266	272	237	242	229	267	300	250	2063
Celkem	336	334	332	316	302	355	382	317	2674

2.3.4. Rozsah výběrového šetření

Obecně jsou u malých výběrů (malý počet vzorků) závěry vždy zatíženy značnou mírou nejistoty. Malých výběrů se užívá jen tam, kde obvykle z ekonomických či časových důvodů není možné získat větší počet dat.

Zvláště malé výběry pro počet vzorků $n = 2$; 100(1 - α)% interval spolehlivosti T_α střední hodnoty μ bude:

$$(05) \text{ Zvláště malé výběry} \quad \frac{x_1 + x_2}{2} - T_\alpha \frac{|x_1 - x_2|}{2} \leq \eta \leq \frac{x_1 + x_2}{2} + T_\alpha \frac{|x_1 - x_2|}{2} \quad [-]$$

Směrodatná odchylka od střední hodnoty (μ) u naměřených hodnot se dvěma prvky by mohla nabývat značných hodnot, a proto budou všechna měření o rozsahu dvou hodnot vyloučena. Zvláště malý vzorek dat v této práci představují spirálovité OK. Tohoto typu křižovaty se na síti PK v ČR nalézají velmi málo, cca do 50. S přihlédnutím k dostupnosti RPDÍ a ostatních parametrů se skutečně jedná o max. 3 křižovaty, kde by bylo možné data nashromáždit (obdobně i miniokružní křižovaty).

Malé výběry se týkají měření se vzorky, kde je počet vzorků $4 \leq n \leq 20$.

Jedná se především o odhad horního a dolního pivotu (hranice nebo prvku v pořadí měření). Odhadem parametru polohy je pivotová suma a odhadem parametru rozptýlení je pivotové rozpětí.

$$(06) \text{ Pivotová polosuma, rozpětí} \quad P_L = \frac{(x_D - x_H)}{2}; R_L = x_H - x_D \quad [-]$$

$$(07) \text{ Náhodná veličina} \quad T_L = \frac{P_L}{R_L} = \frac{x_D + x_H}{2 \cdot (x_H - x_D)} \quad [-]$$

Náhodná veličina T_L použitelná k testování má přibližně symetrické rozdělení, jehož vybrané kvantily $t_{L,0.975}(n)$ jsou tabelovány (viz tabulku na str. 154 v [47.]). 95% interval spolehlivosti střední hodnoty se vypočte dle následujícího vzorce:

$$(08) \text{ Malé výběry} \quad P_L - R_L t_{L,0.975}(n) \leq \eta \leq P_L + R_L t_{L,0.975}(n) \quad [-]$$

Střední výběry se týkají měření se vzorky, kde je počet vzorků $n \leq 30$. Bodový odhad střední hodnoty μ je výběrový průměr \bar{x} s rozdělením $N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right)$. 95% oboustranný interval spolehlivosti střední hodnoty je vyjádřen nerovností:

$$(09) \text{ Střední výběry} \quad \bar{x} - t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \eta \leq \bar{x} + t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \quad [-]$$

Velké výběry se týkají měření se vzorky, kde je počet vzorků $n \geq 30$. U vzorku není známa směrodatná odchylka σ . Jelikož má $\sqrt{n}(\bar{x} - \mu)/s$ Studentovo t-rozdělení, bude 100(1- α)% oboustranný interval spolehlivosti střední hodnoty vyjádřen nerovností:

$$(10) \text{ Velké výběry} \quad -1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \eta \leq \bar{x} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad [-]$$

V této práci bylo shromážděno na 1200 OK. Po selekci s ohledem na dostupnost všech potřebných parametrů z pohledu návrhových prvků, provozního zatížení a ukazatelů bezpečnosti bylo vybráno 200 OK. Jedná se tedy o vzorek s velkým výběrem. Pro model budou dále zohledňovány stavy posuzovaných parametrů OK v jednotlivých letech. Vzorek bude tedy čítat na 1600 šetření.

2.3.5. Chyby při měření

Obecně lze chyby rozdělit podle různých hledisek. Pro tuto práci bylo zvoleno dělení chyb dle místa vzniku v posloupnosti měření do čtyř základních skupin (viz Meloun, 2012 [47.]):

Instrumentální chyby jsou způsobeny konstrukcí měřicího přístroje a souvisí s jeho přesností. U řady přístrojů jsou identifikovány, ale také garantovány výrobcem.

Měřicí jednotka Mti 100-serie

Jedná se o měřicí jednotku GPS vestavěnou inspekčnímu vozidlu, pomocí kterého byla pořízena data o průjezdu OK (trajektorie). Výrobce uvádí u této měřicí jednotky přesnost v horizontálním měření 1,0 m, ve vertikálním měření 2,0 m. Při měření rychlosti výrobce uvádí 0,1 m/s. Přístroj zaručuje nízkou chybu časové odezvy při měření vzdáleností mezi přístrojem a GPS menší než 2 ns (standardně komerční GPS pro potřeby obyvatelstva vykazují předmětnou chybu časové odezvy cca 10 ns – za tuto dobu urazí signál 3 m). Cca 12 m je v součtu chyba atmosféry a systému. Dostáváme se tak k základní navigační přesnosti systému GPS – 15 m. Přesnost měření není po celou dobu stejná, ale dochází k rozptylu v řádech několik metrů. Opakujeme-li měření, nastane opět rozptyl, ale na jiném místě. Přesnost zvyšuje nezakrytý výhled na oblohu, delší doba měření, více pozorovatelných družic; přesnost snižuje blízkost obydlí, skal, zakrytý výhled (typicky v lese), družice letící nízko nad obzorem či proměnnost přijímaného signálu (pohyb kolem překážek, stínění vlastním tělem).

Metodické chyby souvisejí s použitou metodikou stanovení výsledku měření, jako je odečítání dat, organizace měření, eliminace vnějších vlivů aj. Tato chyba se zejména projevuje při záznamech o nehodovosti. Jedná se o subjektivní stanovení příčiny nehody, změny metodiky povinnosti hlášení DN dle výše hmotné škody, taktéž stanovení polohy DN aj.

Teoretické chyby souvisejí s použitým postupem měření. Jde zejména o principy měření, fyzikální modely měření, použité parametry, fyzikální konstanty aj. Jedná se právě o chybu z měření polohy (odchylka GPS), zaokrouhlování číselných hodnot na platné cifry aj.

Chyby zpracování dat jsou numerické chyby výpočtu a chyby způsobené užitím nevhodného statistického vyhodnocení.

Podle příčin vzniku lze chyby rozdělit do tří skupin. **Náhodné chyby** jsou výsledkem vlivu celé řady příčin, které lze jen obtížně odstranit, popřípadě alespoň omezit. **Systematické chyby** se často navenek neprojevují a lze je odhalit až při porovnávání s výsledky z jiného přístroje (bývají funkcí času, nebo různých parametrů měřicího přístroje). Mívají stejná znaménka. Konstantní systematické chyby snižují nebo zvyšují numerický výsledek o stejnou velikost. **Hrubé chyby** jsou způsobeny náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným záznamem výsledku a dalšími výjimečnými příčinami.

2.3.6. Shrnutí

Silniční data (návrhové/geometrické prvky) byla pořízena ze dvou základních zdrojů: vektorové mapy silniční sítě ČR [79.], druhým zdrojem byl portál Mapy.cz [48.]. Ze základního souboru dat OK v ČR děleného dle počtu ramen a lokality vyplývá následující: Nejvíce OK je čtyřramenných (cca 700). Nejvíce OK se nachází v intravilánu (cca 960). Nejvíce OK je s jedním pruhem na okruhu (cca 930). Minimální zastoupení mají mimoúrovňové OK (5), miniokružní křižovatky (83), OK se dvěma pruhy na okruhu (44). Nejvíce OK se nachází na místních komunikacích (259) a silnicích I. třídy (195). Minimální počet OK se vyskytuje na D, R a účelových komunikacích. ŘSD neeviduje cca 75 % OK.

Provozní data představují v modelu nehodovosti OK parametr, který je pro analýzu bezpečnosti návrhových prvků nezbytný. Provoz na OK je charakterizován prostřednictvím intenzity dopravy, tj. RPDI stanoveného z výsledků Celostátního sčítání dopravy 2010 [16.], vlastního průzkumu a z externího sběru dat. Hodnota RPDI do modelu vstupuje jako součet vozidel na vjezdu do OK. Vypočte se jako polovina součtu všech RPDI na jednotlivých ramenech OK. Pro bezpečnostní model zaměřený pouze na vjezdy se bude jednat pouze o poloviční hodnotu RPDI na příslušném rameni.

Bezpečnostní ukazatele vycházejí ze sledování parametrů bezprostředně souvisejících s nehodami. Celkem bylo vyhledáno 200 OK, kde bylo možné doložit RPDI na všech vjezdech. U tohoto vzorku křižovatek bylo v letech 2009 až 2016 nalezeno 2674 DN, z toho 611 se zraněním a 2063 pouze s hmotnou škodou. Na všech OK evidovaných v ČR bylo evidováno 7600 DN (se zraněním 1896 a 5704 jen s hmotnou škodou). Analýza tedy zahrnuje cca 35 % DN na OK v ČR.

Rozsah výběrového šetření je 1200 identifikovaných OK na území ČR. Po selekci s ohledem na dostupnost všech potřebných parametrů z pohledu návrhových prvků, provozního zatížení a ukazatelů bezpečnosti bylo vybráno 200 OK. Jedná se tedy o vzorek s velkým výběrem. Pro model budou dále zohledňovány stavy posuzovaných parametrů OK v jednotlivých letech (2009 až 2016). Vzorek čítá na 1600 šetření.

Předpokládané **chyby při měření** jsou následujícího charakteru: instrumentální, metodické, teoretické a chyby při zpracování dat (náhodné a systematické).

2.4. Příprava proměnných

Ve výše uvedených kapitolách bylo pojednáno o sběru jednotlivých sledovaných parametrů pro účely této práce. Hlavní snahou této práce je identifikace parametrů OK, které mají vliv na bezpečnost. Jedná se především o vyhledání efektivně provozovaných OK v reálném prostředí (z pohledu bezpečnosti). K tomu byla použita multifaktorová analýza, technika explorační analýzy a analýza vzájemné

závislosti proměnných. Tento postup je popsán v certifikované *Metodice multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti* (Ambros a spol., 2014 [58.]). V následující kapitole je uveden teoretický základ pro použití jednotlivých proměnných v modelu nehodovosti.

2.4.1. Konceptuální rámec

Tato kapitola se zabývá využitelností dat pro model nehodovosti, pro který představují data základní vstupní hodnoty. Výběr, evidence a archivace sledovaných dat je podstatou kvalitního modelu. Pro model nehodovosti byl proveden sběr dat v těchto kategoriích: návrhové prvky OK, provozní zatížení OK, ukazatele bezpečnosti. Pro analýzu dat se v tomto modelu vychází ze vzorku 200 OK. U tohoto vzorku bylo možné nashromáždit kompletní data všech závislých proměnných.

Koncept **multifaktorové analýzy** dopravní nehodovosti je založen na identifikaci kritických vlivů a kvantifikaci míry jejich působení na vznik DN. Lze ji provádět na infrastruktuře o rozloze kraje, státu, nebo dle jiného záměru. Pojem multifaktorová analýza označuje soubor postupů určených k analýze jevů, na které působí více než jeden vliv (faktor). Proto se tyto jevy nazývají víceproměnné nebo vícerozměrné.

Proces analýzy lze rozdělit do tří následujících kroků:

- 1) výběr analyzovaného jevu (četnost DN na OK),
- 2) volba vlivů, jevů faktorů (RPDI, průměr OK, úhel na vjezdu aj.),
- 3) provedení analýzy (ověření faktorů a stanovení míry ovlivnění).

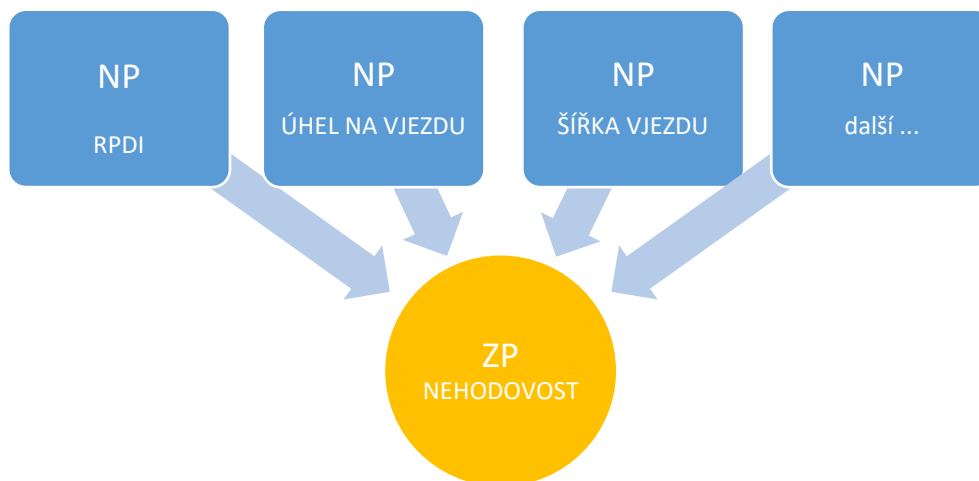
Tento druh analýzy se obvykle používá na úseky PK, ale je možné ho využít i na jakákoliv jiná místa na PK (křižovatky, sjezdy, přechody, přejezdy aj.). Výstupem je rovnice (matematický předpis), která obsahuje jednotlivé významné proměnné a koeficienty udávající míru jejich vlivu.

Vědecky nejhodnotnější závěry o příčinném působení lze získat prostřednictvím experimentálního výzkumu, ten je však vzhledem k rozsahu této práce nerealizovatelný. Proto se tato práce zabývá statistickým výzkumem s pomocí statistických nástrojů, které vedou k vysvětlení korelujících vztahů. Uvedené postupy se částečně překrývají.

Za účelem kvantifikace vlivu jednotlivých proměnných budou využity přístupy kvantitativního výzkumu. Ten se zabývá vztahy mezi proměnnými, jejichž hodnotami mohou být čísla nebo kategorie. Proměnné mohou být dvou druhů. **Závisle proměnná** (ZP) představuje obvykle **vysvětlovanou proměnnou**, kterou je v tomto případě dopravní nehodovost (viz obr. 19. a literatura [80.]). **Nezávisle proměnné** (NP – faktory) představují **vysvětlující proměnné** (faktory).

V různých kontextech se používá rozdílné názvosloví pro proměnné:

- závisle proměnná (v grafu obvykle na ose Y): regresand, predikant, cílová proměnná, vysvětlovaná proměnná,
- nezávisle proměnná (v grafu obvykle na ose X): regresor, prediktor, predikční proměnná, kovariáta, vysvětlující proměnná.



obr. 19. Obecný konceptuální rámeček

Teoreticky by nezávisle proměnné měly reprezentovat příčiny a závisle proměnné jejich důsledek. To však platí pouze v oblasti experimentálního (laboratorního) výzkumu, kdy se pomocí manipulace s nezávisle proměnnou zjišťuje vliv na závisle proměnnou. Předpokládá se, že tento jev není zkreslen žádnou jinou proměnnou. Toto však v oblasti přepravy osob a věcí nelze předpokládat, proto je vhodnější používat pojmy vlivy a faktory. Z pohledu mechanismu DN jsou tři známé a běžně používané faktory: člověk, vozidlo a prostředí.

Obecně platí, že vlivy (tj. faktory, nezávisle proměnné) by měly být voleny na základě teorie. V oblasti bezpečnosti dopravy však bohužel ustálené teorie stále chybí. Dopravní jevy lze zkoumat pouze neexperimentálně – pozorováním. Při tomto výzkumu se využívá přirozená variabilita nezávisle proměnných. Přitom však působí celá řada tzv. matoucích proměnných, jejichž vliv je nutno statisticky odstranit. Proto je vhodné do analýzy zapojit s ostatními nezávisle proměnnými i tzv. kontrolní proměnnou (KP).

Explorační analýza představuje průzkum dat (angl. exploratory data analysis, EDA) a odhaluje zvláštnosti nebo extrémy ještě před vlastním statistickým zpracováním. Mezi její základní kroky patří zobrazení četnosti jednotlivých proměnných a analýza odlehlých hodnot (extrémy).

Jednou z technik explorační analýzy je metoda hlavních komponent (angl. principal component analysis, PCA). Ta se používá k redukci počtu proměnných pomocí tzv. **hlavních komponent**, které popisují variabilitu všech vysvětlujících proměnných (faktorů/parametrů) a vztahy mezi nimi. Hlavní komponenty vznikají jako lineární kombinace původních vysvětlujících proměnných. Zkoumání těchto nových proměnných místo původních vysvětlujících proměnných (NP) nám může umožnit datům snadněji porozumět. Nové proměnné jsou uspořádány podle hodnoty svého rozptylu. **Ty s nejnižším rozptylem lze proto vyloučit**, a dosáhnout tak úspornějšího popisu chování původních vysvětlujících proměnných pomocí menšího počtu nových proměnných. Velikosti rozptylů jsou určeny velikostí vzájemných korelací proměnných. Pokud všechny proměnné korelují absolutně, je možné celkový rozptyl zachytit pouze jednou hlavní komponentou. Jestliže jsou naopak všechny korelace nízké, k vysvětlení celkového rozptylu je potřeba tolik komponent, kolik je původních proměnných.

Postup analýzy hlavních komponent je následující:

- 1) Počáteční analýza za účelem zjištění existence vztahu mezi proměnnými.

2) Průzkum korelační matice (k redukci pomocí PCA jsou zapotřebí silně korelované proměnné).

3) Provedení PCA a rozhodnutí o počtu hlavních komponent. Počet lze určit následovně:

- Použití těch, které vysvětlují 90 % variability proměnných.
- Použití těch, jejichž vlastní hodnota je vyšší než 1.
- Použití těch, jež leží v klesající části grafu (angl. scree plot), který zobrazuje závislost vysvětlené variability dat na počtu vybraných hlavních komponent.

4) Interpretace hlavních komponent.

Hlavní komponenty lze využít jako nezávisle proměnné pro regresní analýzu. Nevýhodou však může být, že PCA lze použít jen pro číselné proměnné (vysvětlovanou proměnnou je nutné vyjádřit nulou nebo jedničkou). Dále je důležité si uvědomit, že výsledné komponenty jsou kombinací různých proměnných, ve výsledku jsou tudíž bezrozměrné, což může komplikovat jejich interpretaci.

Analyza vzájemných závislostí proměnných je v této práci provedena dle postupu popsaného v metodice [58.]. Jedná se o korelační analýzu, která odpovídá na otázku: „*Jak silná je závislost mezi proměnnými?*“, a regresní analýzu, která poskytuje odpověď na otázku: „*Jak vypadá závislost mezi proměnnými?*“. Důležité však je, že statistická závislost nemusí znamenat příčinnost (kauzalitu, tj. vztah mezi příčinou a následkem).

Regresní analýza je označení statistické metody, pomocí níž lze odhadovat hodnoty závisle proměnné na základě znalosti jiných nezávisle proměnných. Je-li závislost prokázána, lze pomocí nezávisle proměnné odhadovat (predikovat) hodnoty závisle proměnné. Regresní analýza je velmi rozšířenou technikou statistické analýzy dat. Její standardní variantu však lze aplikovat pouze pro spojité proměnné, které mají normální rozdělení. V ostatních případech lze použít tzv. zobecněnou lineární regresi (zobecněný lineární model).

Korelace označuje vzájemný vztah mezi dvěma proměnnými. Pokud se jedna z nich mění, mění se i ta druhá a naopak. Míru korelace určuje korelační koeficient; jeho hodnoty jsou v intervalu od -1 (antikorelace, nepřímá závislost) do $+1$ (úplná korelace, přímá závislost). Korelační koeficient může být jednoduchý nebo dílčí (parciální). Používá se více druhů korelačních koeficientů, především v závislosti na typu proměnných. Ordinální proměnná může být ordinální pořadová (vzniklá seřazením jednotek změřením spojité proměnné, rozřazení do intervalových skupin), nebo ordinální kategoriální (rozeznává jen několik ordinálně uspořádaných kategorií, do kterých se jednotky zařazují; většinou kategorie 1, 2, 3, 4, maximálně 5.).

Spearmanův korelační koeficient uvažuje pořadí hodnot jednotlivých proměnných a lze jej využít i u nelineárních vztahů. **Kendallův korelační koeficient** vyjadřuje pravděpodobnost, že seřazení dvou náhodně vybraných jednotek podle proměnné X bude stejné jako podle proměnné Y . Nejčastěji se používá **Pearsonův korelační koeficient**, který měří sílu vztahu dvou spojitých proměnných. Lze jej však použít jen u lineárních vztahů a proměnných s normálním rozdělením.

Je důležité si uvědomit, že hodnota korelačního koeficientu mezi proměnnými Y a X je stejná jako mezi proměnnými X a Y (z její velikosti tedy nelze rozlišit závisle a nezávisle proměnnou). Naopak u regrese Y na X nebo X na Y jsou výsledky rozdílné. Korelace by proto neměla být jediným nástrojem multifaktorové analýzy; měla by být spíš „přípravou“ na regresní analýzu.

tab. 09. Přehled korelačních koeficientů doporučených k vyhledání závisle proměnných

Druhá z proměnných	Jedna z proměnných			
	Spojité (normální)	Spojité (ne normální)	Ordinální pořadová	Ordinální kategoriální
Spojité (normální)	Pearson	-	-	-
Spojité (ne normální)	Spearman	Spearman	-	-
Ordinální pořadová	Spearman	Spearman	Spearman	-
Ordinální kategoriální	Kendall	Kendall	Kendall	Kendall

Podle hodnoty korelačního koeficientu lze posuzovat sílu asociace. V různých oborech se udávají různé hodnoty: malá síla závislosti (0,1–0,3), střední síla závislosti (0,3–0,7), velká síla závislosti (0,7–1,0). Při studiu dopravních jevů lze očekávat spolupůsobení mnoha proměnných, a tudíž slabší korelační vztahy; některá doporučení proto považují korelační koeficienty za významné již od nižších hodnot, např. 0,4–0,5 (viz publikaci [81.]).

Logistická regrese slouží k řešení situací, kdy závisle proměnná (DN) nabývá omezeného počtu hodnot. Tento počet lze často redukovat na dvě hodnoty (výskyt většinou ANO/NE, JE/NENÍ, nebo 0/1). Závisle proměnná je pak uvažována jako binární (1 = jev nastal, 0 = jev nenastal). Cílem je zjistit, jak závisle hodnoty pravděpodobnosti $P_{(Y=1)}$ (že DN nastala) na podmínkách, jež jsou dány hodnotami nezávisle proměnných (atributy, faktory). Hodnota této pravděpodobnosti leží v intervalu mezi 0 a 1; pak platí, že pravděpodobnost $P_{(Y=0)} = 1 - P_{(Y=1)}$ (že DN nenastala). Pro stručnost je dále označováno $P_{(Y=1)} = P$. Šance zkoumaného jevu je definována jako poměr pravděpodobnosti existence a neexistence jevu (úspěchu a neúspěchu). Pro logaritmus pravděpodobnosti jevu platí následující předpis:

$$(11) \text{ Šance zkoumaného jevu} \quad \ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \sum \beta_i x_i \quad [-]$$

Pravá strana rovnice udává průměrnou očekávanou hodnotu závisle proměnné, stejně jako v lineární regresi. Pravděpodobnost lze zpětně vypočítat pomocí tzv. logistické funkce.

$$(12) \text{ Logistická funkce} \quad P = \frac{\exp(\beta_0 + \sum \beta_i x_i)}{1 + \exp(\beta_0 + \sum \beta_i x_i)} \quad [-]$$

Grafický průběh této funkce se nazývá logistická křivka. Uvedený model se nazývá logistický regresní model. Lze s ním, stejně jako pomocí lineárního regresního modelu, získat regresní rovnice, jejichž regresní koeficienty udávají prediktivní schopnost použitých nezávisle proměnných.

Přestože logistická regrese je nejčastěji používána pro případy binární závisle proměnné (0 nebo 1), existují i další varianty pro nominální nebo ordinální proměnné. Pro odlišení se proto jednotlivé varianty označují jako binární, polytomická (multinomická) a ordinální logistická regrese.

K testu dobré shody regresního modelu s daty lze použít analogii R^2 (Nagelkerk [88.]), již lze hodnotit stejně jako při lineární regresi. Regresní koeficient β_i lze interpretovat jako změnu logitu spojenou s jednotkovou změnou hodnoty nezávisle proměnné X_i za předpokladu, že hodnoty ostatních nezávisle proměnných se nezmění. Z výše uvedených rovnic vyplývá, že $\exp(\beta_i)$ lze interpretovat jako násobek analogické jednotkové změny šance.

Zobecněný lineární model (angl. generalized linear model, GLM) umožňuje modelovat závislost vysvětlované proměnné (kvantitativní nebo kvalitativní) na jednom nebo více prediktorech, které mohou

opět být spojité nebo ordinální (kategorické). **Důležitou předností GLM je, že umožňuje modelovat proměnné i s jinými pravděpodobnostními rozděleními, než je normální rozdělení použité v klasickém modelu regrese.** Podrobnější popis GLM je uveden v kapitole 3.1.1.

Zobecněný (nelineární) regresní model obvykle vystihuje nějakou fyzikální nebo empirickou závislost. **Fyzikální závislost** se vyjadřuje z objektivních vlastností jevu (tělesa nebo látky), jež mohou být vyjádřeny číslem a referencí. Odvozuje se pouze z fyzikálních veličin, které lze změřit nebo spočítat. Veličiny jsou definovány obecně, nezávisle na postupu měření a lze je vztáhnout k jiným veličinám (např. času, rychlosti a vzdálenosti).

Empirickou závislost lze vyjádřit funkčním vztahem mezi dvěma proměnnými, z nichž je jedna nezávislá (x) a druhá závislá (y). Lze je popsat sestavou (tabulkou) dvojic (x, y). Dvojici lze získat pomocí měření, které lze zpracovat několika metodami: interpretací v původní formě, zakreslením jednotlivých dvojic (korelace) nebo aproximací matematické funkce vhodného typu. Při postupném vyhodnocování jednotlivých proměnných (návrhové parametry OK) v matematických funkcích je nezbytné vyhodnotit, které jsou nejtěsněji závislé a které jsou nezávislé.

Dále je nutné posoudit kvalitu modelu dle intervalů spolehlivosti nebo dle jejich rozptylu. U rozptylu se jedná o charakteristiku variability rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, která vyjadřuje variabilitu rozdělení náhodných veličin kolem její střední hodnoty.

Z formálního hlediska lze rozlišit dva typy náhodných veličin. **Diskrétní (nespojité)** náhodná veličina je taková, která může nabývat pouze jednotlivých hodnot (celých čísel). Může se tedy měnit pouze po skocích, např. intenzita vozidel (např. 1, 2, 3, ... 1568 voz/h).

(13) Rozptyl pro diskrétní náhodnou veličinu

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - E(X))^2 \quad [-]$$

Spojité náhodná veličina je taková, která může nabývat všech hodnot z konečného nebo nekonečného intervalu (desetinná čísla). Může se měnit v neomezené škále i mezi celými čísly (např. rychlost vozidel 50, 56, ... 62,25 km/hod.). Spojitou náhodnou veličinu můžeme navíc převést na nespojitou tak, že hodnoty rozdělíme do intervalů a v každém intervalu určíme jejich četnost. Každý interval v diskrétní funkci reprezentuje jeho pořadové číslo.

(14) Rozptyl pro spojitou náhodnou veličinu

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n [x_i - E(X)]^2 p_i = \sum_{i=1}^n x_i^2 p_i - [E(X)]^2 \quad [-]$$

2.4.2. Vysvětlovaná proměnná: dopravní nehody (funkce bezpečnosti)

DN představují proměnnou, kterou je naším cílem vysvětlit pomocí silničních dat a dopravního zatížení. Vysvětlení hledáme pomocí statistické analýzy nehodovosti (počtu a příčin DN). Rozlišujeme systematickou a náhodnou složku tohoto jevu. Přitom je naší snahou maximálně omezit nahodilé faktory. Dle publikací Hauer 1997 [89.], Persaud 2001 [90.], Reurings 2005 [91.] mají nehodová data pro sledovaný prvek PK několik důležitých vlastností:

- vykazují často nulovou hodnotu (lokality bez nehod),
- vykazují velmi malé počty (1, 2, 3) nebo žádné (viz nulovou hodnotu),
- jsou to diskrétní (nespojité) data, nabývají pouze celých čísel, nemohou nabývat zlomků ani desetín,

- jejich četnost nepodléhá normálnímu rozdělení pravděpodobnosti.

Častou náhradou může být Poissonovo rozdělení, nebo je vhodné přistoupit k **negativně binomickému rozdělení**, jehož rozptyl je roven průměru μ a jeho přírůstkem $k \cdot \mu^2$. k je disperzní parametr (podrobněji viz kapitolu 5.2.3.), který se mění v průběhu modelování (viz Reuring et al. 2005 [91.]). Taktéž slouží k hodnocení kvality modelu.

Nehodovost tedy představuje vysvětlovanou proměnnou, která závisí na mnoha jiných faktorech. Jak již bylo zmíněno výše, mechanismus DN se skládá ze tří složek: řidič, prostředí a vozidlo. Tyto složky dále obsahují jednotlivé popisné faktory, jejichž veličiny ze své vlastní povahy nemají lineární průběh (reakční doba řidiče, zpomalení vozidla, kvalita povrchu vozovky aj.). Z tohoto vyplývá, že pro statistickou analýzu nehodovosti nelze použít konvenční statistické metody, jako je regrese nebo korelace. Ty pracují jen se spojitými proměnnými, které mají normální rozdělení.

Funkce bezpečnosti

Nehodovost lze dle publikace Turner and Wood 2009 [92.] (nebo také Turner a spol. 2009 [40.]) vyjádřit v jednoduché formě mocninnou funkcí dle vzorce (15). N zde představuje počet nehod identifikovaných ve vazbě ke zkoumanému prvku PK. Intenzita I představuje právě jednu vysvětlující proměnnou, a a a b jsou konstanty (regresní koeficienty), které je nutné identifikovat.

(15) Jednoduchá funkce bezpečnosti

$$N = a \cdot I^b$$

[počet N]

Intenzita I (popřípadě RPD1 aj.) představuje ve funkci bezpečnosti hodnotu, která má zásadní vliv na průběh funkce bezpečnosti z pohledu expozice sledovaného děje N , a to následovně:

- N může nabývat pouze kladných hodnot,
- N může nabývat hodnot, pouze když je $I > 0$,
- N nemůže nabývat větších hodnot než je hodnota intenzity I ($N \leq I$).

Konstanta a je odvozena z vyšetřované proměnné I . Nejvíce bývá ovlivněna hodnotou počtu nehod N a intenzitou I v modelu (viz tab. 33. na straně 95). Pokud zkoumáme prvek s vysokou hodnotou počtu nehod N a intenzitou I , tak lze očekávat vyšší hodnotu konstanty v modelu a naopak. Analýzou provedenou v této práci bylo dále zjištěno, že s rostoucím počtem proměnných zahrnutých do modelu nehodovosti hodnota konstanty klesá (viz srovnání hodnoty konstanty a v kapitole 4. dizertační práce).

Konstanta b definuje průběh funkce bezpečnosti (tvar). Jeho znaménko (+) znamená: I roste a N roste, anebo I klesá a N klesá. Jeho znaménko (–) znamená I roste a N klesá, nebo I klesá a N roste (podrobněji viz tab. 11.)

Složitější forma funkce bezpečnosti pro OK obsahuje více proměnných (viz vzorec (16)). Postup její tvorby je uveden v kapitole 3 na straně 76.

(16) Složitější funkce bezpečnosti

$$N = a \cdot I^b \cdot e^{\sum c_i \cdot x_i}$$

[počet N]

Při vývoji složitější funkce bezpečnosti je počet nehod N dále ovlivněn součinem konstanty a , mocninným tvarem proměnné intenzity I a dalšími proměnnými X , u kterých se předpokládá exponenciální tvar funkce.

Tvar funkce bezpečnosti vyplývá jako konsenzus, na kterém se usnesli výzkumníci zabývající se bezpečností silničních komunikací (dále viz literaturu *Road transport research, Road safety principles and models* [132.] a také [87.]).

Srovnání funkce bezpečnosti a relativní nehodovosti

Funkci bezpečnosti lze využít především pro zpřesnění výsledků při vyhledávání kritických prvků PK. Funkce bezpečnosti je ve srovnání s tradičním lineárním ukazatelem bezpečnosti výhodnější. Běžně využívaným ukazatelem bezpečnosti je relativní nehodovost (definice viz kapitola 1.2, a následující vzorec (17)). Tento ukazatel má však několik nevýhod, které jsou dále prezentovány.

(17) Relativní nehodovost

$$R = \frac{N}{365 \cdot I \cdot t} = tg \alpha \quad [\text{nehody/voz}]$$

Ve vzorci je

R relativní nehodovost,
 N počet DN (těch, které se opravdu staly) [-],
 I průměrné zatížení na lokalitě (většinou se užívá RPDI) [voz/24hod],
 t sledované období, počet roků [roky].

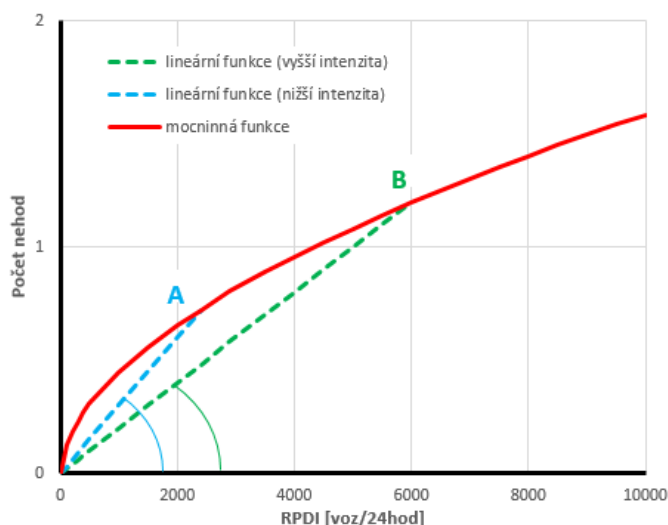
Například při řešení běžné úlohy stanovení očekávaného počtu nehod $N_{oček}$ vycházíme ze vzorce (18). Pro tento vzorec byla stanovena $tg \alpha$ dle vzorce (17) z hodnoty stávající intenzity I (kupříkladu 2000 voz/den viz bod A na obr. 20) a uskutečněného počtu nehod N za sledované časové období.

(18) Očekávaný počet $N_{oček}$ z relativní nehodovosti

$$N_{oček} = tg \alpha \cdot I \quad [\text{nehody/voz}]$$

$N_{oček}$ představuje očekávaný počet nehod, které predikuje model nehodovosti.

Pokud má ve výhledu dojít ke zvýšení intenzity (např. 6000 voz/den, viz bod B na obr. 20), pak stanovujeme novou hodnotu $tg \beta$ ze stejného počtu nehod N a výhledové intenzity I . Využitím vzorce (17) však dospějeme k závěru, že relativní nehodovost R je ve výhledu menší, jelikož směrnice B je menší než směrnice A . Což lze interpretovat tak, že s rostoucí intenzitou I se lokalita stává bezpečnější. Přitom jsme však neprovedli žádnou změnu nebo úpravu předmětné lokality.

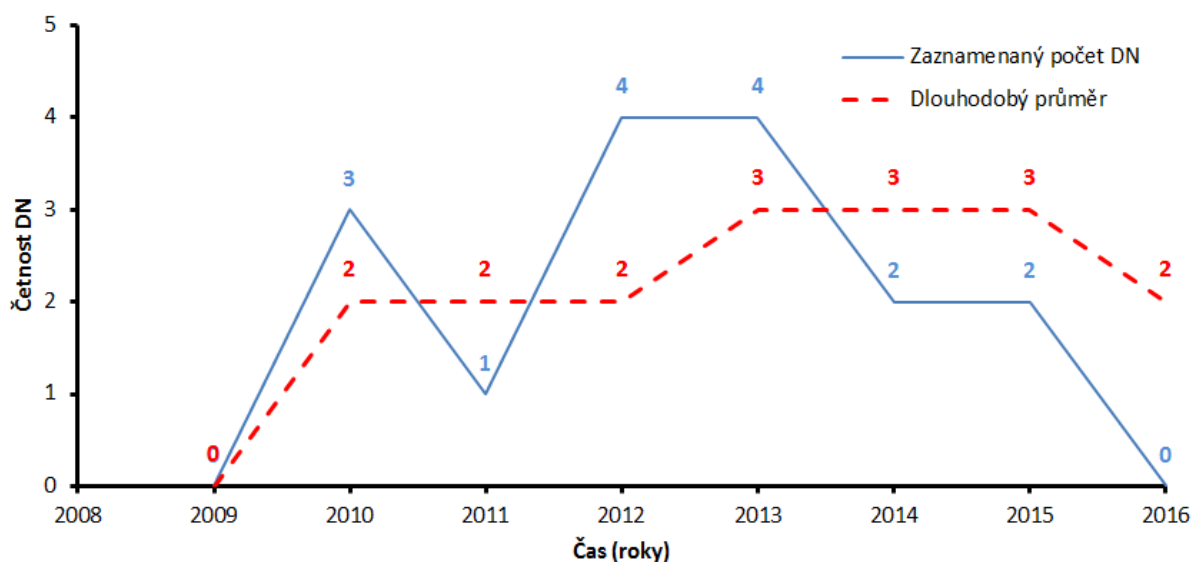


obr. 20. Využití relativní nehodovosti

Pro úlohu stanovení účinnosti úpravy lokality před a po její realizaci je také běžně využívána hodnota relativní nehodovosti (vzorec (17)). Za podmínky, že srovnáváme stejně dlouhá období před a po úpravě, lze předchozí vzorec upravit na hodnotu směrnice $tg \alpha$. V tomto případě dochází ke srovnání relativní nehodovosti lokality (před úpravou a po úpravě) za stejné (podobné) hodnoty intenzity I v obou stavech, ale jiného počtu nehod N . Výsledek lze interpretovat tak, že došlo ke změně nehodovosti. Nelze však dosledovat příčinu této změny, nebo vyloučit náhodný jev.

Další běžně využívanou metodou odhadu DN je použití kumulativního průměru počtu DN. Na obr. 21 je prezentován jeho dlouhodobý vývoj. V každém roce sledovaného období byl zaznamenán absolutní

počet DN (modrá linie) a s postupem času byl také stanoven kumulativní průměr DN (červená přerušovaná čára). Z obr. 21 vyplývá, že ve třech případech (rok 2010, 2012, 2013) došlo k podcenění očekávaného počtu DN a to za předpokladu, že nedošlo k žádné úpravě lokality. Změny v absolutních hodnotách DN se mohou jevit jako náhodné. Mechanismus DN však obsahuje i systematickou složku, kterou kumulativní průměr DN nezohledňuje. Tento jev se nazývá regrese k průměru. Komplikuje výběr kritických lokalit a zkresluje účinky úpravy PK (viz publikaci Hauer 1997 [89.]). Regresi k průměru lze navíc ovlivnit prodloužením sledovaného období.



obr. 21. Vývoj nehodovosti na reálné OK

K určení faktorů ovlivňujících DN a vyloučení náhodného jevu je tedy vhodné využít multifaktorovou analýzu založenou na funkci bezpečnosti. Prvním krokem je vytvoření jejího jednoduchého tvaru (obsahuje pouze intenzitu, nebo RPD1) a následně její rozšíření o další proměnné, které zohlední vliv složek mechanismu DN (prostředí, řidič vozidlo).

Tato práce se na následujících stranách zabývá prohloubením jednoduché formy funkce bezpečnosti pomocí silničních dat. Rozšíření funkce bezpečnosti o další proměnné X se provádí součinem dalších proměnných, viz vzorec (26) modelu nehodovosti vjezdu OK na straně 79.

2.4.3. Vysvětlující proměnné: rizikové faktory

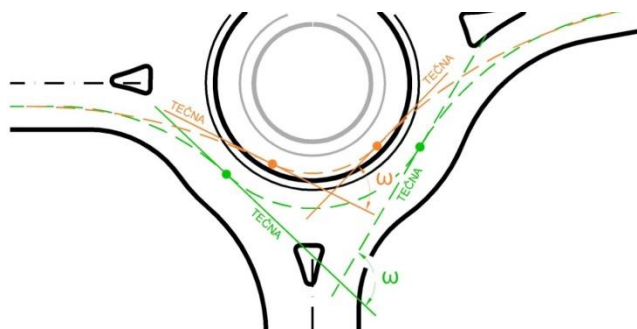
Faktory mechanismu DN jako jsou řidič, vozidlo a prostředí, představují skupiny vysvětlujících proměnných, které ovlivňují vznik, průběh a následek DN. Identifikace vlivu těchto faktorů je nezbytná pro stanovení efektivity úpravy PK a jejich součástí (viz metodiku [134.]). Haddonova matice, která je zobrazena v tab. 10. slouží pro identifikaci faktoru, který má vliv na DN (viz Williams 1999 [93.]).

tab. 10. Haddonova matice s příklady příslušných oblastí

Fáze / Faktory	Řidič	Vozidlo	Prostředí
Před nehodou	Kondice řidiče, jeho zkušenosti, informovanost	Způsobilost k jízdě, funkce světel a brzd	Vedení komunikace, nejvyšší dovolená rychlost jízdy
Při nehodě	Použití zádržných systémů	Kvalita zádržných systémů	Pasivní bezpečnost objektů v okolí komunikace
Po nehodě	Dostupnost první pomoci	Možnost opuštění vozidla, riziko vznícení	Únikové cesty, zajištění místa nehody, kongesce

Na poli výzkumu mechanismu DN stále převládá politika identifikace typizovaných příčin. Nasvědčuje tomu i způsob sběru údajů o DN Policí ČR. Snažíme se tak identifikovat těžiště příčin DN. Tento přístup se však dle publikace CDV 2011 [94.] nejeví jako vhodný, jelikož DN není ovlivněna pouze jedním faktorem, ale souhrnou mnoha. Faktory před nehodou určují její vznik a pravděpodobnost výskytu, faktory při nehodě určují závažnost zranění osob a faktory po nehodě určují rozsah následků.

Např. úhel na přímém průjezdu ω , který je jednou z vysvětlujících proměnných této práce, spadá do fáze před nehodou a do faktoru prostředí (PK). Je předpoklad, že s jeho menšími hodnotami, které se blíží nule, je řidičům umožněn přímý nerušený průjezd bez výrazného omezení rychlosti. To může vést k vyšší nehodovosti a vyšším následkům DN.



obr. 22. Úhel na přímém průjezdu ω

Přehled návrhových prvků OK

Následuje výčet návrhových prvků PK, které jsou předmětem statistické analýzy této práce. V tab. 11. jsou uvedeny jednotlivé parametry, včetně jejich očekávaného vlivu ve funkci bezpečnosti. Práce je zaměřena výhradně na proměnné spadající do faktoru prostředí (pozemní komunikace).

V uvedeném souhrnu v tab. 11. jsou shrnuty pouze předpoklady a očekávaný vliv na směr závislosti (rostoucí $N (+)$ nebo klesající $N (-)$) v modelu nehodovosti. V tabulce jsou uvedeny pouze jednoduché předpoklady, které mají sloužit ke kontrole funkce. Ve skutečnosti je však nutné předpokládat spolupůsobení faktorů, dále to, že závislosti nebývají lineární (Hauer 2004 [95.]) a vliv faktoru se může lišit dle typu nehody (Martensen and Dupont 2013 [96.]).

Pozitivní závislost (znaménko plus u proměnné) znamená, že s rostoucí hodnotou faktoru dojde k nárůstu očekávaného počtu nehod (např. větší šířka vjezdu způsobuje větší nehodovost). Naopak pokles hodnoty faktoru způsobuje pokles očekávaného počtu (např. užší vjezd vyžaduje nižší rychlost vozidel, to vede k nižší nehodovosti).

Negativní závislost naopak (znaménko minus u proměnné) znamená, že s rostoucí hodnotou faktoru dojde ke snížení očekávaného počtu nehod (např. větší délka kolize vede k nižšímu počtu N). Naopak pokles hodnoty faktoru způsobuje nárůst očekávaného počtu N (např. kratší délka kolize je spojena s kratší délkou rozhledu, což vede k vyššímu počtu N).

Samozřejmě existují mnohé další rizikové faktory související s řidičem i jinými osobami, které se účastní dopravního provozu (chodci, cyklisté aj.). U těchto účastníků hraje často svoji roli jejich zkušenost, fyzická zdatnost, únava, pozornost, reakční doba aj. U vozidla jsou to jeho technické parametry, jako je výkon motoru, účinnost brzd, náběh brzdové soustavy, deformační zóny karosérie aj. K těmto parametrům však není zcela jednoduché shromáždit data. Mnohé z nich se navíc neustále mění: viditelnost, teplota, počasí aj.

tab. 11. Přehled očekávaného vlivu návrhových prvků OK na nehodovost

*	Prvek (rizikový faktor)	Předpoklad	Směr závislosti	*	Prvek (rizikový faktor)	Předpoklad	Směr závislosti
a.	Úhel na vjezdu	>	< N (-)	q.	Typ křižovatky	1 s jedním pruhem na okruhu 2 se dvěma pruhy na okruhu 3 miniokružní 4 spirála 5 mimoúrovňová	1 < 2 Ostatní těžké odhadnout
b.	Úhel na přímém průjezdu	>	< N (-)	r.	Lokalita	1 extravilán 2 intravilán	> N (+) < N (-)
c.	Úhel na výjezdu	>	< N (-)	t.	Konzistence kategorie komunikace	0 všechny ramena stejná kategorie 1 alespoň jedna jiná kategorie	< N (-) > N (+)
d.	Poloměry na vjezdu/průjezdu/výjezdu	>	> N (+)	u.	Výskyt zastávky HD	0 ne 1 ano	< N (-) > N (+)
f.	Průměr křižovatky	>	> N (+)	v.	Výskyt parkování	0 ne 1 ano	< N (-) > N (+)
g.	Průměr středního ostrova	>	> N (+)	w.	Výskyt sjezdu	0 ne 1 ano	< N (-) > N (+)
h.	Odchylka úhlů mezi rameny	>	> N (+)	x.	Vliv jiného charakteru provozu (rameno)	1 extravilán 2 intravilán	> N (+) < N (-)
i.	Odsunutí paprsku vjezdu	>	> N (+)	y.	Změna směru provozu	1 vjezd 2 výjezd 3 obousměrný	< N (-) - > N (+)
j.	Kolizní vzdálenost	>	< N (-)	q.	Změna typu křižovatky	1 průsečná 2 styková 3 vidlicovitá 4 odsazené 5 hvězdicovitá 6 okružní 7 mimoúrovňová	Těžké odhadnout
l.	Šířka vjezdu	>	> N (+)	l.	Počet pruhů na vjezdu	0 bez pruhu 1 pruh 2 pruhy	- < N (-) > N (+)
m.	Šířka výjezdu	>	> N (+)	m.	Počet pruhů na výjezdu	0 bez pruhu 1 pruh 2 pruhy	- < N (-) > N (+)
k.	Šířka okružního pásu	>	> N (+)	k.	Počet pruhů na okruhu	1 pruh 2 pruhy	< N (-) > N (+)
n.	Šířka pojížděného prstence	>	< N (-)	n.	Výskyt pojížděného prstence	0 ne 1 ano	> N (+) < N (-)
o.	Šířka BYPASS	>	> N (+)	o.	Výskyt BYPASS	0 ne 1 ano	< N (-) > N (+)
	Intenzita	-	-	p.	Počet ramen OK	3 ramena 4 ramena 5 ramen 6 ramen	Těžké odhadnout
	Rychlost	>	> N (+)	aa.	Výskyt přechodu pro chodce	0 ne 1 ano	< N (-) > N (+)
				e.	Kruhový tvar okruhu křižovatky	0 ne 1 ano	< N (-) > N (+)

Poznámka:

V této práci jsou analyzovány pouze faktory týkající se prostředí (pozemní komunikace).

* Podrobný popis vysvětlujících proměnných je uveden v kapitole 2.2.1.

2.4.4. Shrnutí

Hlavním cílem dizertační práce je identifikace parametrů OK, které mají vliv na bezpečnost. K tomuto cíli byla využita multifaktorová analýza, technika explorační analýzy a analýzy vzájemné závislosti proměnných.

Koncept multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti je založen na identifikaci kritických vlivů a kvantifikaci míry jejich působení na vznik DN. Proces analýzy se dělí do tří kroků: 1. výběr analyzovaného

jevu (četnost DN na OK), 2. volba vlivů, jevů faktorů (RPDI, průměr, OK, úhel na vjezdu aj.) a 3. provedení analýzy (ověření faktorů a stanovení míry ovlivnění).

Explorační analýza představuje průzkum dat a odhaluje zvláštnosti nebo extrémy ještě před vlastním statistickým zpracováním.

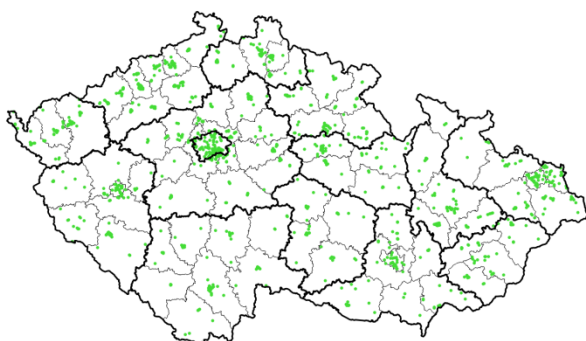
Zobecněný lineární model (GLM) umožňuje modelovat závislost vysvětlované proměnné na jedné nebo více vysvětlujících proměnných (spojité nebo ordinální veličiny). Důležitou předností GLM je, že umožňuje modelovat proměnné i s jinými pravděpodobnostními rozděleními, než je normální rozdělení použité v klasickém modelu regrese.

DN představují proměnnou, kterou je naším cílem vysvětlit. Vysvětlení hledáme pomocí statistické analýzy nehodovosti (počtu a příčin DN).

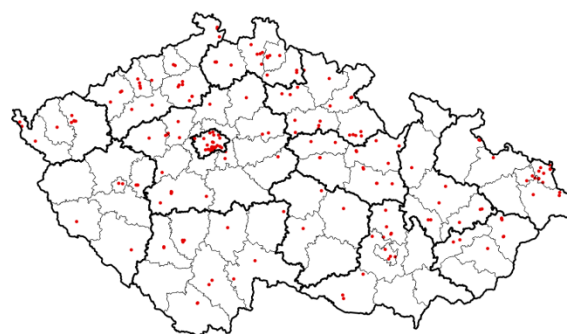
Faktory mechanismu DN, jako jsou řidič, vozidlo a prostředí, představují skupiny vysvětlujících proměnných, které ovlivňují vznik, průběh a následek DN.

2.5. Praktické použití dat

Jak již bylo zmíněno výše, práce se zaměřuje na analýzu návrhových prvků OK v ČR v závislosti na dopravní nehodovosti. Byla shromážděna data o návrhových prvcích OK (geometrii), provozním zatížení a ukazatelích bezpečnosti. V průběhu sběru dat bylo na dopravní infrastrukturu identifikováno cca 1200 OK (viz obr. 23.). Z důvodu malé dostupnosti provozního zatížení byl tento soubor dat ve finále redukován na 200 OK (viz obr. 24.), u kterých bylo možné získat informaci o RPDI na všech vjezdech.



obr. 23. Přehled okružních křižovatek v ČR k 12/2016



obr. 24. Selektce OK pro model nehodovosti

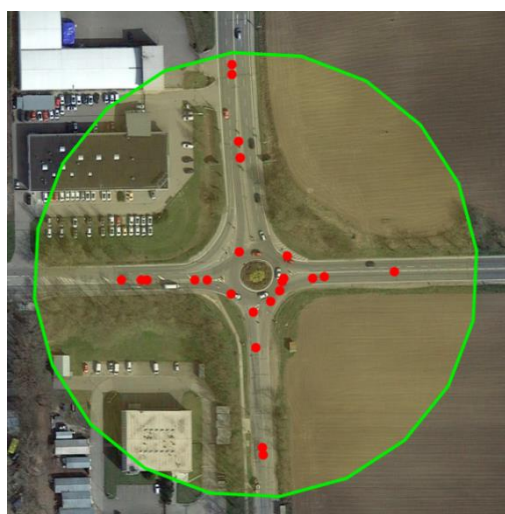
Sběr dat u jednotlivých charakteristik OK byl podrobněji prezentován v kapitole 2.3. Nyní budou prezentovány pouze popisné charakteristiky vysvětlujících proměnných. Analýza byla provedena v software IBM SPSS [97.].

2.5.1. Příprava dat: kvadranty okružní křižovatky

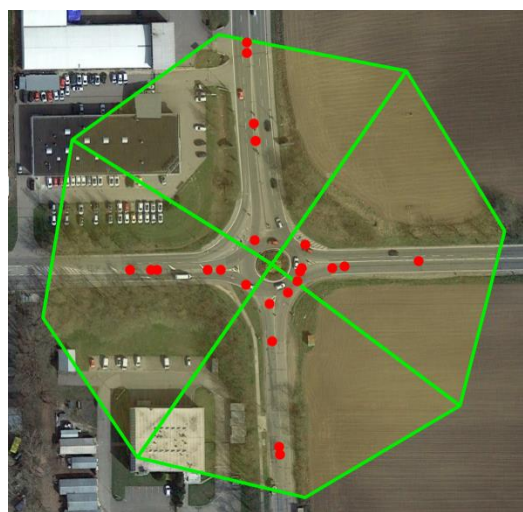
Z pohledu sběru dat na OK existují dva typy návrhových charakteristik OK, a to společné a individuální charakteristiky. Těmi **společnými** jsou např. průměr OK, průměr ostrova, počet ramen, poježděný prsteneček aj. Těmi **individuálními** jsou úhel na vjezdu, šířka vjezdu, poloměr vjezdu aj. Jedná se o charakteristiky, které jsou pro každé rameno, každý vjezd uzpůsobeny na míru, tak aby OK byla schopna převést dopravní zatížení pocházející z příslušného ramene (viz obr. 07. až obr. 10. na straně 32). Avšak v případě výběru charakteristiky rizikového faktoru, jako je například úhel na vjezdu, to může způsobit zkreslení výsledku.

Například pokud uvažujeme čtyřramennou křižovatku, která je zobrazena na obr. 25. a obr. 26., zjistíme, že bypass se nachází pouze na severním rameni OK. Ostatní ramena bypass nemají. V případě stanovení charakteristické šířky pro bypass vzniká problém, jak to provést. Např. pomocí průměru, kdy dosadíme tři nulové a jednu nenulovou hodnotu. Analýza bude provedena na nevypovídající hodnotě šířky bypassu. V případě použití minimální nebo maximální hodnoty také dojde k nepřesné charakteristice. Nebudeme moci konstatovat, zda jsou DN ovlivněny právě minimálními, nebo maximálními hodnotami vysvětlujících proměnných.

Tato problematika byla v práci vyřešena rozdělením OK do tzv. kvadrantů jednotlivých ramen křižovatky. Pomocí rozdílů směrniců (úhel svírající paprsek vjezdu komunikace a orientace k severu) byly určeny úhly mezi jednotlivými paprsky ramen. Ty pak byly zpětně přepočítány na směrníky, které jsou vždy o polovinu meziúhlu menší. Tímto způsobem pak byly OK rozděleny na kvadranty dle jednotlivých ramen.



obr. 25. Data DN na OK: celek



obr. 26. Data DN na OK: kvadranty

Tak bylo 200 OK rozděleno na 781 kvadrantů (dle počtu ramen OK), které obsahují pouze výseč právě jedné komunikace a k tomu příslušnou část kruhového objezdu. Na základě této výseče byla pak do vzdálenosti 100 m od středu vyhledána data o nehodovosti, která pak byla přiřazena do příslušného segmentu křižovatky. Pokud došlo při vyhledání v softwarovém prostředí QGIS [98.] k překryvu vyhledávacích ploch, byla jejich vzdálenost upravena na poloviční mezi sousedícími středy OK. Tato metoda pomohla analyzovat charakteristiky vysvětlujících proměnných bez zkreslení pomocí průměru, minima, nebo maxima.

2.5.2. Příprava dat: existence okružní křižovatky

Pro analýzu návrhových prvků OK s ohledem na nehodovost je nutné provést sběr dat o bezpečnostních ukazatelích za dlouhé monitorovací období (min. 3 roky). V případě této práce se jedná o data za roky 2009 až 2016. Za toto období 8 let se však na OK mohlo hodně parametrů změnit. Proto byla provedena vizuální kontrola jednotlivých OK dle portálu NALMS [99.].

V každém roce sledovaného období byl prověřen stav křižovatky, viz příklad z databáze OK v tab. 12. Pokud byla zjištěna změna nebo úprava, nebo stav křižovatky nebylo možné dohledat či ověřit, byl stav OK ze sledovaného souboru vyloučen (označeno 0 a červeným podbarvením). Jinak je značeno 1 a

zahrnuto do analýzy. Původně bylo v modelu uvažováno s 200 OK za dobu 8 let, tedy 1600 stavů. Po ověření jejich existence je možné do modelu zahrnout pouze 1549 stavů OK.

tab. 12. Dohledání existence nebo změny OK v mapách

Křižovatka	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Předchozí OK	...							
A-2/5/28-42	1	1	1	1	1	1	1	1
B-1/3/43-97	0	1	1	1	1	1	1	1
B-1/3/62-48	1	1	1	1	1	1	1	1
B-1/4/30-132	0	0	1	1	1	1	1	1
B-1/4/34-143	0	0	1	1	1	1	1	1
B-1/4/45-72	1	1	1	1	1	1	1	1
B-1/4/50-71	1	1	1	1	1	1	1	0
B-1/5/60-59	1	1	1	1	1	1	1	1
Následující OK	...							

V další části práce jsou prezentována data pouze na jednotlivých existujících vjezdech OK. Celkem je tedy analyzováno 6194 stavů vjezdů OK.

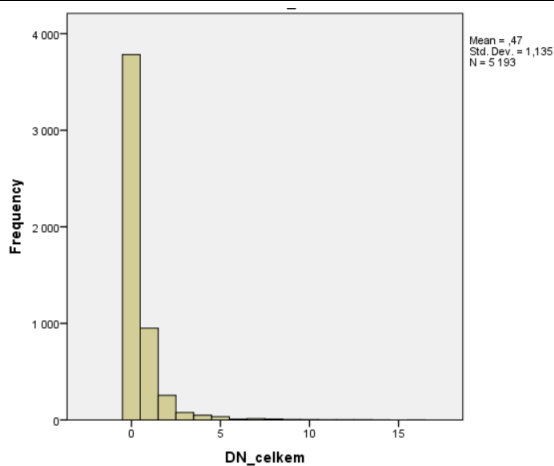
2.5.3. Explorační analýza

Následující tabulky a grafy popisují charakteristiky vysvětlovaných a vysvětlujících proměnných: u spojitých proměnných je to minimum, maximum, průměr a směrodatná odchylka, u kategorických proměnných je to četnost případů v dané kategorii.

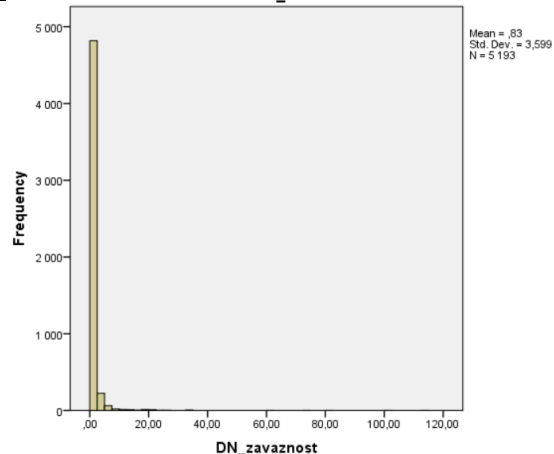
Závažnost je odvozena z charakteru DN s ohledem na počet zranění právě při jedné DN. Postup stanovení závažnosti byl rozebrán v kapitole 2.2.3.

tab. 13. Popisné charakteristiky vysvětlovaných proměnných

Charakteristika	Jednotka	Min.	Max.	Průměr	Směr. odch.	Četnost
Počet DN	[počet]	0	16	0,430	1,062	6248
Závažnost	[-]	0	113,42	0,8303	3,59894	6248



obr. 27. Histogram: DN

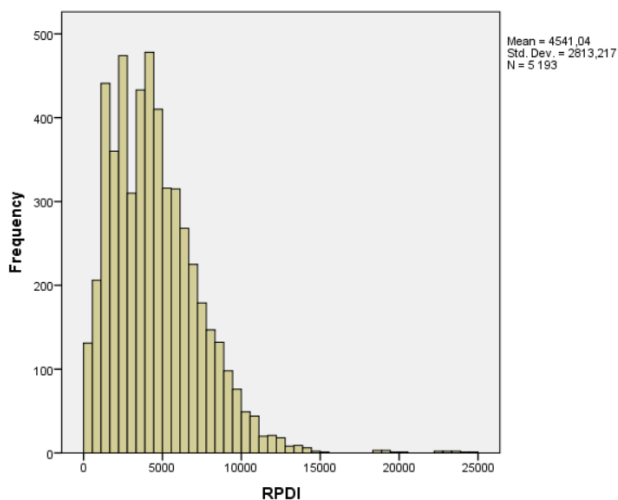


obr. 28. Histogram: Závažnost

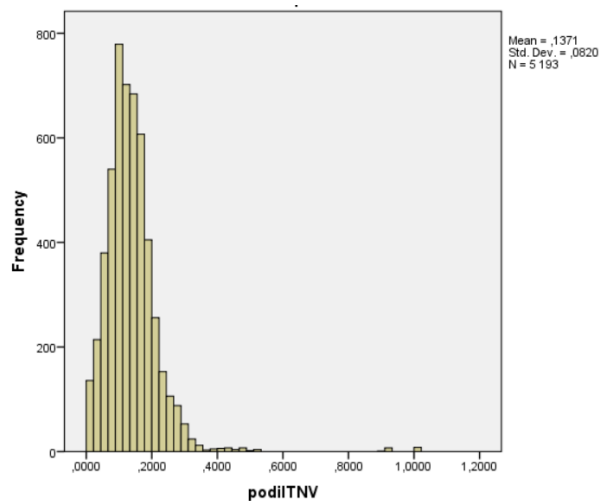
Následují charakteristiky vysvětlujících proměnných (silniční a provozní data OK) jsou získány pomocí nástroje na ortofotomapě portálu mapy.cz [48.].

tab. 14. Popisné charakteristiky spojitých vysvětlujících proměnných (provozní data OK)

Odkaz*	Charakteristika	Jednotka	Min.	Max.	Průměr	Směr. odch.	Četnost
-	RPDI	[voz/24hod]	5	24520	4143,130	2897,944	6248
-	podíl TNV	[%]	0	1	0,133308	0,0907732	6248



obr. 29. Histogram: RPD

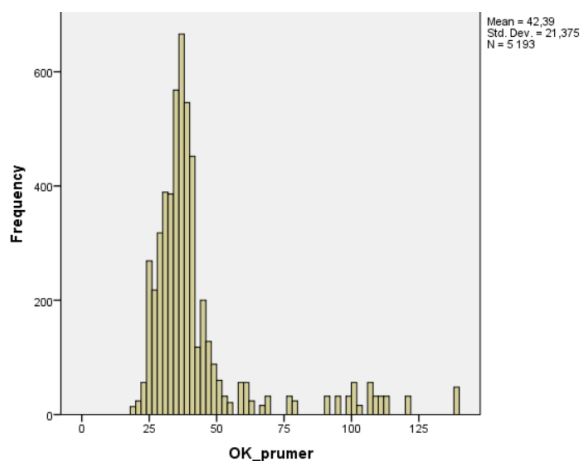


obr. 30. Histogram: podíl TNV

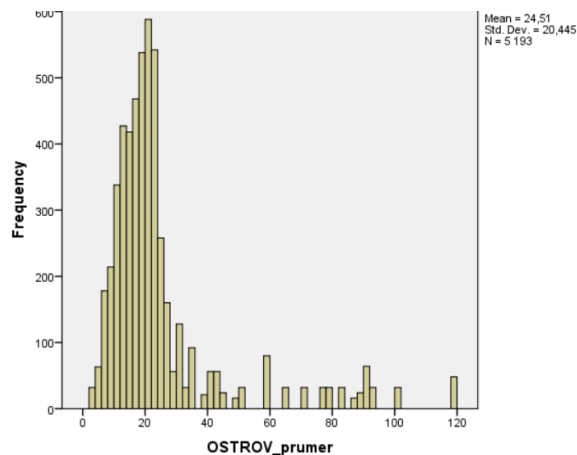
tab. 15. Popisné charakteristiky spojených vysvětlujících proměnných (silniční data OK)

Odkaz*	Charakteristika	Jednotka	Min.	Max.	Průměr	Směr. odch.	Četnost
a.	Úhel na vjezdu α	[°]	0	83	35,190	15,275	6248
b.	Úhel na přímém průjezdu ω	[°]	0	83	32,930	15,108	6248
c.	Úhel na výjezdu β	[°]	0	171	55,600	28,632	6248
f.	Průměr křižovatky	[m]	19	139	42,200	21,437	6248
g.	Průměr středového ostrova	[m]	3	119	24,400	20,520	6248
h.	Odchylna úhlů mezi rameny	[°]	0	61	15,480	11,597	6248
i.	Odsunutí paprsku vjezdu	[m]	0	42	1,834	3,2255	6248
j.	Kolizní vzdálenost	[m]	0	106	16,903	10,8715	6248
k.	Šířka vjezdu	[m]	3	10	4,668	1,3180	6248
m.	Šířka výjezdu	[m]	3	10	4,859	1,1763	6248
k.	Šířka okružního pásu	[m]	4	10	6,671	1,4290	6248
n.	Šířka poježděného prstence	[m]	0	6	1,807	1,1460	6248
o.	Šířka bypassu	[m]	0	7	0,343	1,2405	6248

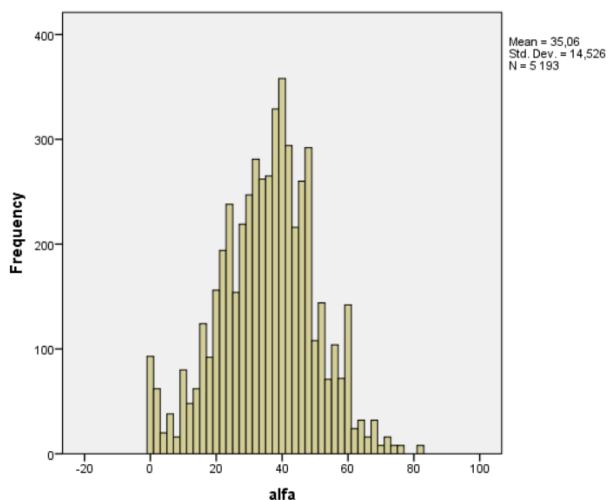
Poznámka: Odkaz na kapitolu 2.2.1.



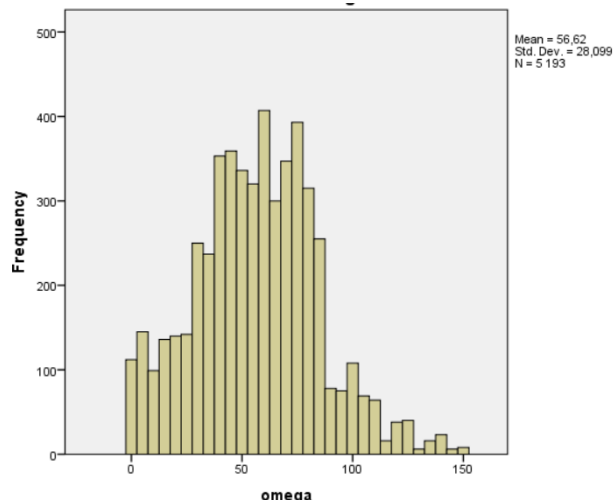
obr. 31. Histogram: OK průměr



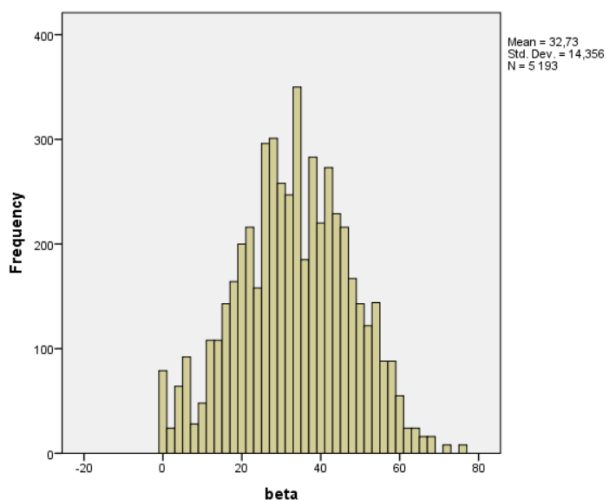
obr. 32. Histogram: OK průměr ostrova



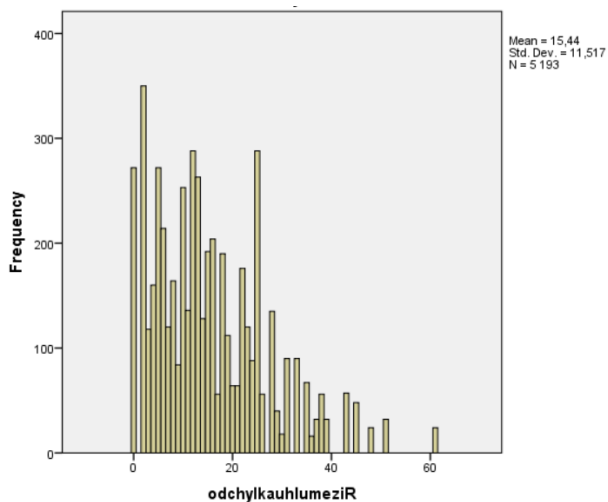
obr. 33. Histogram: alfa



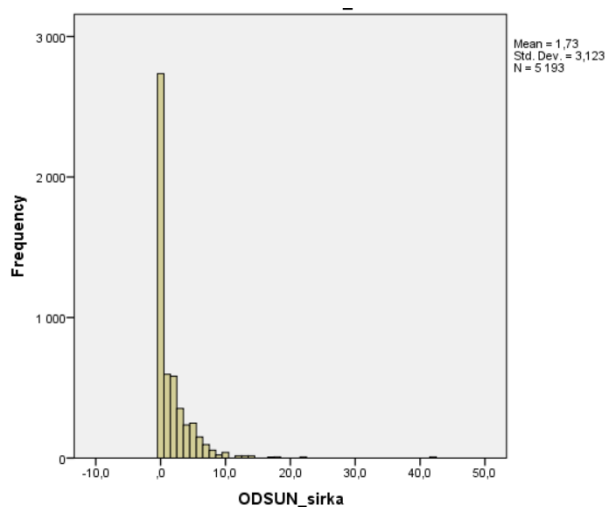
obr. 34. Histogram: omega



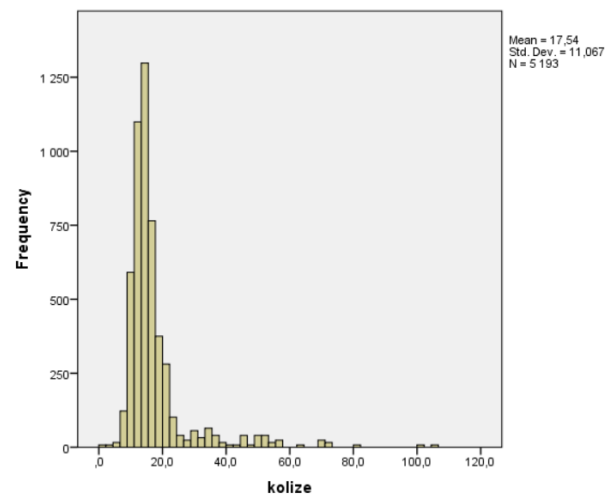
obr. 35. Histogram: beta



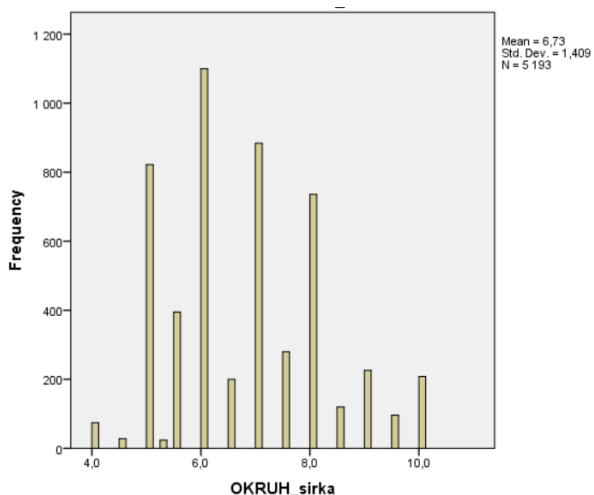
obr. 36. Histogram: odchylna uhlu mezi rameny



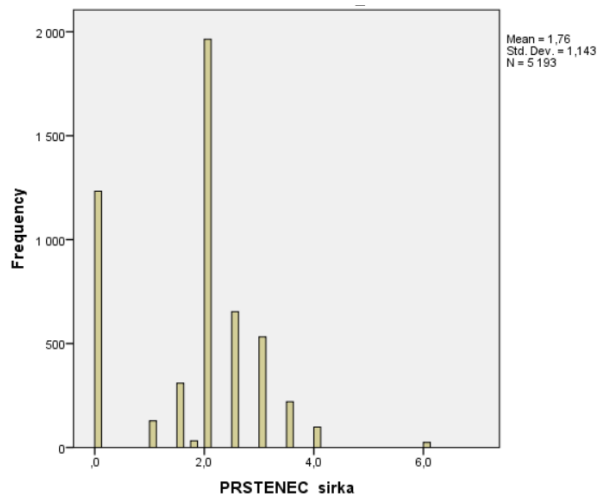
obr. 37. Histogram: odsun šírka



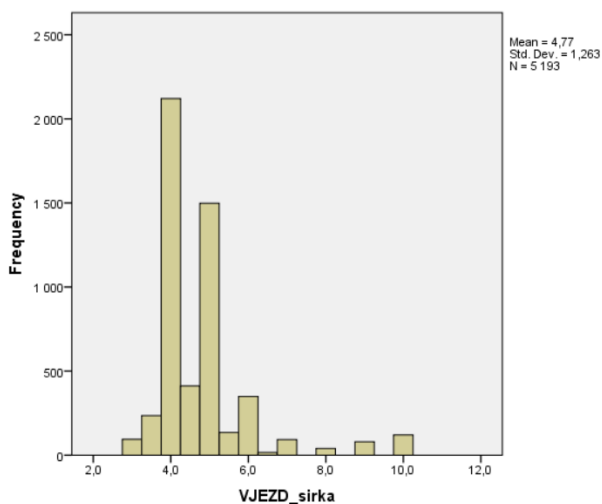
obr. 38. Histogram: kolize



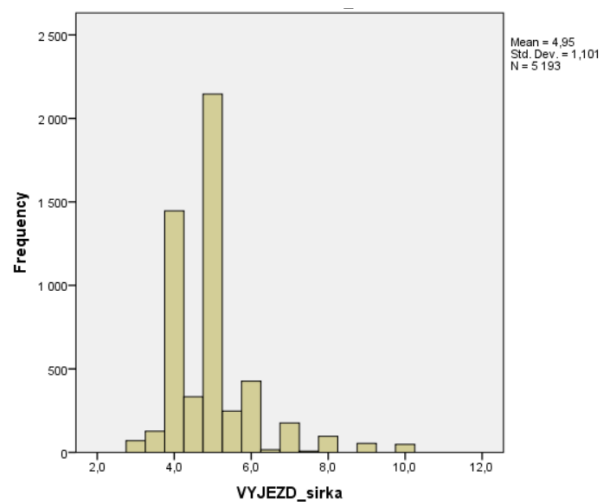
obr. 39. Histogram: okruh šířka



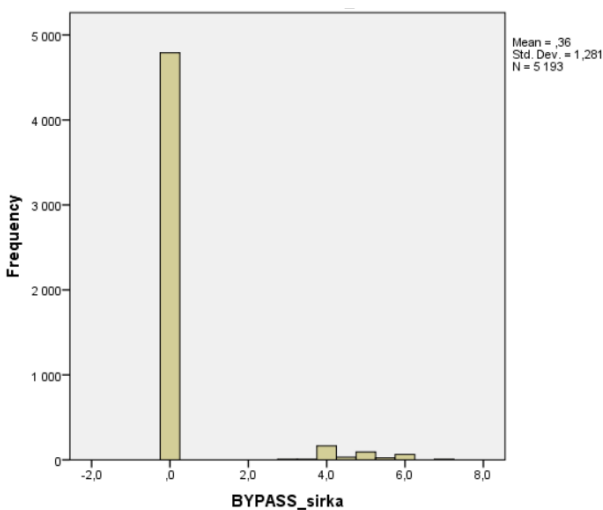
obr. 40. Histogram: prstenec šířka



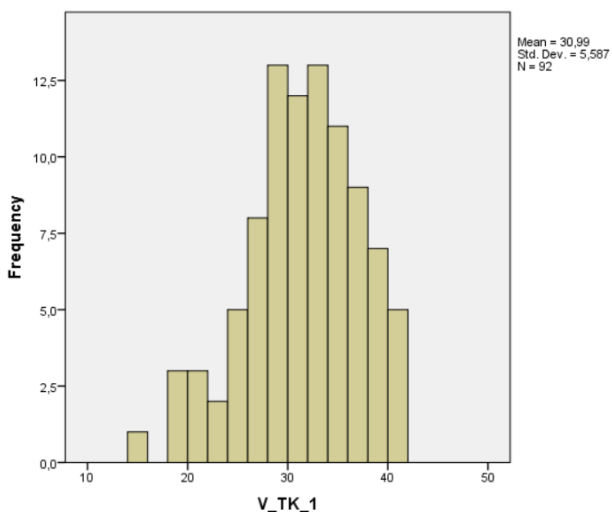
obr. 41. Histogram: vjezd šířka



obr. 42. Histogram: výjezd šířka

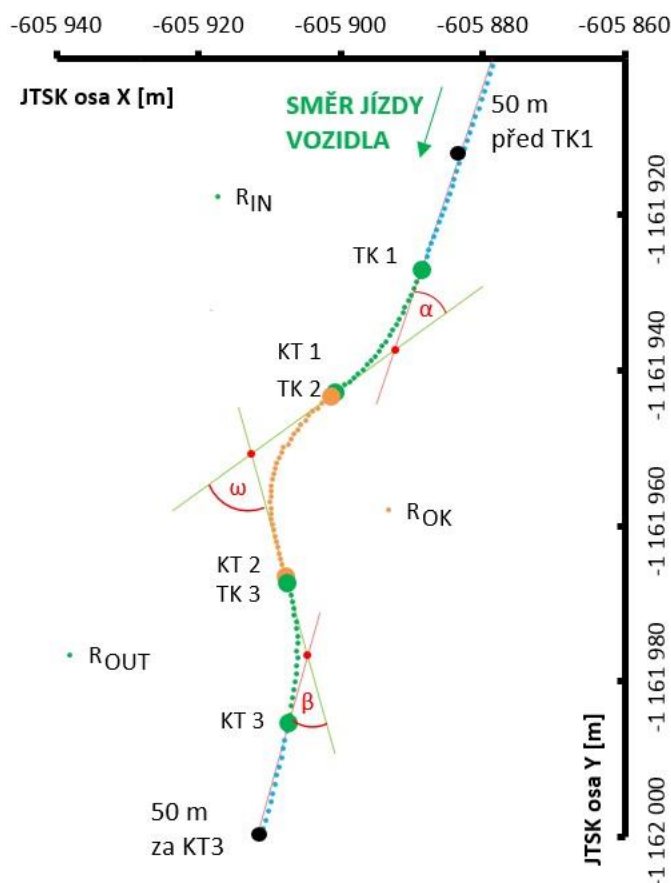


obr. 43. Histogram: šířka bypassu



obr. 44. Rychlost

Následuje popis charakteristik vysvětlujících proměnných z měření pomocí měřicího vozidla (postup viz v PŘÍLOHA D. Tyto charakteristiky byly odvozeny pomocí analýzy trajektorie vozidla, viz obr. 45. Hodnoty vycházejí z reálného jinak neomezeného průjezdu vozidlem na vybraných 10 křižovatkách ze vzorku 200 OK. Celkový počet průjezdů byl 150, po validaci bylo využito 92 vhodných průjezdů pro analýzu vysvětlujících proměnných.

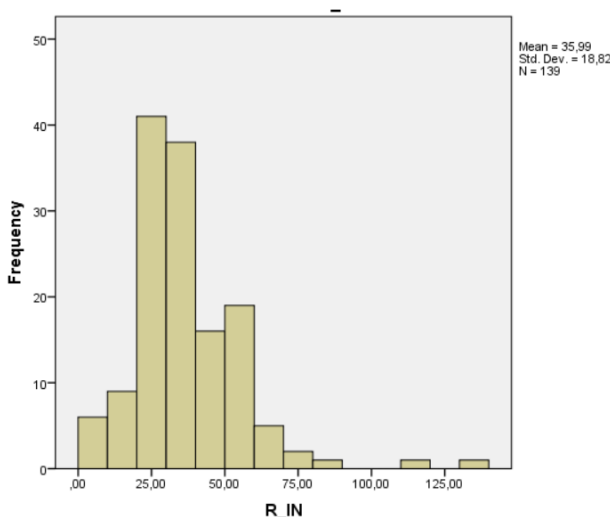


obr. 45. Trajektorie vozidla na přímém průjezdu OK

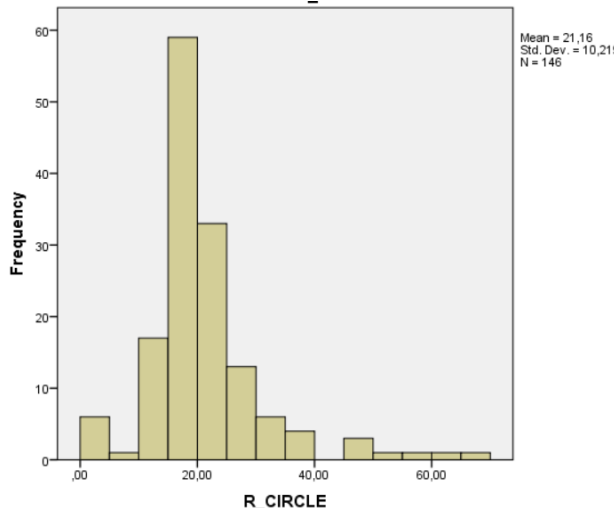
tab. 16. Popisné charakteristiky spojitých vysvětlujících proměnných (provozní data – měřicí vozidlo)

Odkaz*	Charakteristika	Jednotky	Min.	Max.	Průměr	Směrodatná odchylka	Četnost
a.	Úhel na vjezdu - α	[°]	0	82,69	32,39	18,489	139
c.	Úhel na výjezdu - β	[°]	0	236,93	67,53	36,429	146
b.	Úhel na přímém průjezdu křižovatkou - ω	[°]	0	89,27	31,21	17,166	125
d.	Poloměr na vjezdu - R_{IN}	[m]	0	134,99	35,99	18,825	139
d.	Poloměr na průjezdu R_{OK}	[m]	0	67,50	21,16	10,219	146
d.	Poloměr na výjezdu - R_{OUT}	[m]	0	194,50	35,76	23,982	124
-	Rychlost v bodě: 50 m před vjezdem (TK1)	[km/h]	27	60	41,51	7,698	92
-	Rychlost v bodě TK 1	[km/h]	16	40	30,99	5,587	92
-	Rychlost v bodě KT 1	[km/h]	13	36	26,26	4,631	92
-	Rychlost v bodě TK 2	[km/h]	13	36	26,37	4,600	92
-	Rychlost v bodě vrchol K3	[km/h]	11	34	23,86	4,687	92
-	Rychlost v bodě KT 2	[km/h]	14	50	30,23	5,688	92
-	Rychlost v bodě TK 3	[km/h]	14	50	30,62	5,945	92
-	Rychlost v bodě KT 3	[km/h]	23	52	37,63	6,691	92
-	Rychlost v bodě: 50 m za výjezdem (KT3)	[km/h]	28	68	44,03	9,328	92

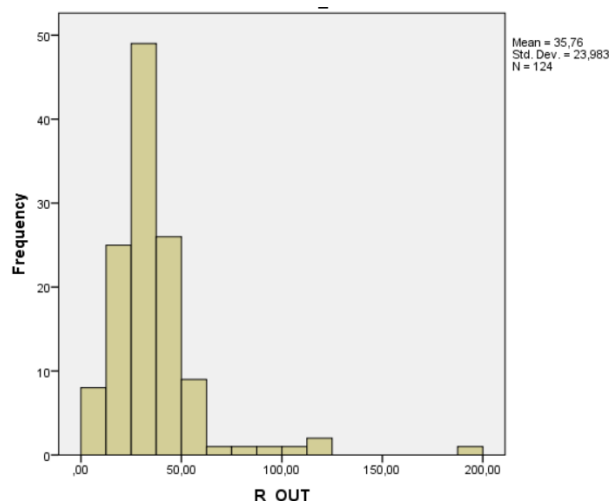
Poznámka: Odkaz na kapitulu 2.2.1.



obr. 46. Poloměr na vjezdu



obr. 47. Poloměr na průjezdu



obr. 48. Poloměr na výjezdu

Z histogramu je zřejmé, že rozdělení hodnot proměnných pravděpodobně nepodléhá normálnímu rozdělení. Tento předpoklad lze statisticky testovat – nulová hypotéza je, že hodnoty pocházejí z normálního rozdělení. Na základě nízké hladiny významnosti (viz sig. tab. 17.) lze nulovou hypotézu zamítnout, data nemají normální rozdělení.

Df určuje počet prvků v analýze.

tab. 17. Test normality pro vysvětlující spojité proměnné

Odkaz*	Charakteristiky	Kolmogorov – Smirnov: test normality		
		Statistic.	df	Sig.
-	DN celkem	0,389	5193	0,000
-	DN závažnost	0,409	5193	0,000
-	RPDI	0,067	5193	0,000
-	Podíl TNV	0,094	5193	0,000
f.	OK průměr	0,278	5193	0,000
g.	OSTROV průměr	0,273	5193	0,000
a.	Úhle na vjezdu - alfa	0,043	5193	0,000
b.	Úhel na přímém průjezdu - omega	0,039	5193	0,000
c.	Úhel na výjezdu - beta	0,032	5193	0,000
h.	Úhel mezi rameny	0,116	5193	0,000
h.	Odchylnka úhlu mezi rameny	0,103	5193	0,000
i.	ODSUN sirka	0,289	5193	0,000
j.	Kolize	0,275	5193	0,000
k.	OKRUH sirka	0,168	5193	0,000
n.	PRSTENEC sirka	0,257	5193	0,000
l.	VJEZD sirka	0,267	5193	0,000
m.	VYJEZD sirka	0,276	5193	0,000
o.	BYPASS sirka	0,535	5193	0,000

Poznámka: Odkaz na kapitulu 2.2.1.

Platí tedy, že vysvětlované proměnné (počet DN) i vysvětlující proměnné (charakteristiky vjezdu OK) nemají normální rozdělení. Z těchto důvodů nelze pro model nehodovosti použít lineární regrese.

tab. 18. Popisné charakteristiky kategorických proměnných (silniční data OK)

Odkaz**	Charakteristika	Kategorie	Četnost	Černost relativně (%)
a.	Úhel na vjezdu α	$\geq 0 ; \leq 20$ > 20; ≤ 40 > 40; ≤ 60 > 60 BEZ VJEZDU*	822 2691 1916 199 72	14,4 47,2 33,6 3,5 1,3
q.	Typ křižovatky	1 s jedním pruhem na okruhu 2 se dvěma pruhy na okruhu 3 miniokružní 4 spirála 5 mimoúrovňová	5047 481 112 38 22	88,5 8,4 2,0 0,7 0,4
r.	Lokalita	1 extravilán 2 intravilán	1182 4518	20,7 79,3
t.	Konzistence kategorie komunikace	0 všechna ramena stejné kategorie 1 alespoň jedno jiné kategorie	53 147	26,5 73,5
u.	Výskyt zastávky HD	0 ne 1 ano	4851 849	85,1 14,9
v.	Výskyt parkování	0 ne 1 ano	4802 898	84,2 15,8
w.	Výskyt sjezdu	0 ne 1 ano	2402 3298	42,1 57,9
x.	Vliv jiného charakteru provozu (rameno)	1 extravilán 2 intravilán	1200 4500	21,1 78,9
y.	Změna směru provozu	1 vjezd 2 výjezd 3 obousměrný	62 117 5521	1,1 2,1 96,9
z.	Změna typu křižovatky	1 průsečná 2 styková 3 vidlicovitá 4 odsazená 5 hvězdicovitá 6 okružní 7 mimoúrovňová BEZ PŘILEHLÉ KŘÍŽOVATKY	1040 3448 181 102 30 508 253 138	18,2 60,5 3,2 1,8 0,5 8,9 4,4 2,4
l.	Počet pruhů na vjezdu	0 bez pruhu 1 pruh 2 pruhy	72 5381 247	1,3 94,4 4,3
m.	Počet pruhů na výjezdu	0 bez pruhu 1 pruh 2 pruhy	55 5439 206	1,0 95,4 3,6
k.	Počet pruhů na okruhu	1 pruh 2 pruhy	5159 541	90,5 9,5
n.	Výskyt pojižděného prstence	0 ne 1 ano	1216 4484	21,3 78,7
o.	Výskyt bypassu	0 ne 1 ano	5299 401	93,0 7,0
p.	Počet ramen OK	3 ramena 4 ramena 5 ramen 6 ramen	991 3892 692 125	17,4 68,3 12,1 2,2
aa.	Výskyt přechodu pro chodce	0 ne 1 ano	2231 3469	39,1 60,9
e.	Kruhový tvar okruhu křižovatky	0 ne 1 ano	267 5433	4,7 95,3

Poznámka:

* Některé paprsky komunikace napojené do kruhového objezdu neumožňovaly vjezd, ale jen výjezd. Tyto byly z analýzy odstraněny.

** Odkaz na kapitulu 2.2.1.

Vysvětlující proměnné s malou četností bude nevhodnější z analýzy vyloučit. Nebylo možné shromáždit větší podíl této charakteristiky z důvodu absence RPDI na vjezdu OK.

2.5.4. Analýza závislosti: korelace

Protože vysvětlující proměnné jsou spojité bez normálního rozdělení a kategoriální proměnné, bylo nutné kombinovat Spearmanův a Kendallův korelační koeficient (viz tab. 19. , postup viz v kapitole 2.4.1.).

V tab. 19. jsou zobrazeny korelační koeficienty pouze nad diagonálou a jsou zobrazeny pouze koeficienty proměnných, které spolu nekorelují a jsou již zahrnuty ve výsledném modelu (funkce bezpečnosti viz vzorec (42) na straně 91). Matice všech korelačních koeficientů je z důvodu svého rozsahu přesunuta do PŘÍLOHA G.

tab. 19. Korelační koeficienty vysvětlujících proměnných (silniční data vjezdu OK)

VYSVĚTLUJÍCÍ PROMĚNNÉ	Odchylka uhlu mezi R	kolize	Alfa kategorie	PRSTENEC výskyt	BYPASS výskyt	Charakter provozu	Přechod na OK	Typ vjezdu
Odchylka uhlu mezi R	1	0,055	0,042	0,024	0,047	0,035	0,046	0,034
kolize		1	0,167	0,245	0,016	0,228	0,116	0,439
Alfa kategorie			1	0,037	0,045	0,077	0,002	0,234
PRSTENEC výskyt				1	0,109	0,189	0,203	0,403
BYPASS výskyt					1	0,089	0,022	0,062
Charakter Provozu						1	0,407	0,211
Přechod na OK							1	0,158
Typ vjezdu								1

V tab. 20. jsou prezentovány korelační koeficienty stanoveny na základě reálných průjezdů měřícím vozidlem. Jednalo se o 92 vhodných (neomezených) průjezdů, které měly za cíl identifikovat závislost rychlosti a návrhových prvků OK. Korelace je podbarvena zelenou barvou. Čím vyšší hodnota korelace, tím je i odstín zelené sytější.

tab. 20. Korelační koeficienty vysvětlujících proměnných z trajektorie průjezdu vozidla

	AL FA	OME GA	BET A	R_IN	R_CI RCL E	R_O UT	V_50 _pre d	V_TK _1	V_KT _1	V_TK _2	V_VR CHO L	V_KT _2	V_TK _3	V_KT _3	V_50 _M_Z A
ALFA	1	0,653	0,469	0,896	0,327	0,293	0,576	0,3	0,321	0,26	0,164	0,223	0,254	0,32	0,313
OMEGA		1	0,663	0,511	0,635	0,488	0,265	0,165	0,339	0,301	0,315	0,351	0,379	0,313	0,246
BETA			1	0,447	0,336	0,833	0,177	0,146	0,304	0,253	0,239	0,42	0,431	0,302	0,165
R_IN				1	0,311	0,307	0,616	0,464	0,433	0,371	0,261	0,32	0,355	0,365	0,352
R_CIRC					1	0,191	0,205	0,163	0,386	0,385	0,55	0,402	0,443	0,271	0,246
R_OUT						1	0,041	0,139	0,224	0,168	0,182	0,386	0,395	0,314	0,179
V_50_pre d							1	0,48	0,455	0,437	0,336	0,388	0,418	0,537	0,563
V_TK_1								1	0,801	0,775	0,615	0,547	0,556	0,565	0,456
V_KT_1									1	0,95	0,84	0,722	0,72	0,754	0,583
V_TK_2										1	0,838	0,711	0,707	0,737	0,562
V_VRCH OL											1	0,736	0,729	0,666	0,471
V_KT_2												1	0,976	0,848	0,688
V_TK_3													1	0,855	0,705
V_KT_3														1	0,841
V50 m za															1

Z korelační matice v tab. 20. lze dohledat závislost mezi rychlostí v jednotlivých bodech průjezdu OK dle obr. 45. Rychlost 50 m před vjezdem na okruh křižovatky nejvíce koreluje s úhlem vjezdu (0,576) a s poloměrem vjezdu (0,616). Přitom poloměr vjezdu R_{IN} a úhel na vjezdu α spolu také korelují (0,896). Tyto proměnné jsou závislé. Další korelaci lze dohledat mezi rychlostí v místě vjezdu (TK1), vjezdovým úhlem α (0,3) a vjezdovým poloměrem R_{OUT} (0,464). Korelace je sice menší, ale přesto významná ve smyslu závislosti těchto proměnných (viz kapitulu 2.4.1.). Vypovídá o tom, že řidiči přizpůsobují rychlost vozidla vzhledem k dopravní situaci a geometrii komunikace. Obdobných výsledků dosáhla i studie rychlostních charakteristik na průjezdu OK [126.].

Do modelu nehodovosti (funkce bezpečnosti) není vhodné vkládat vysvětlující proměnné, které spolu korelují. Proměnné získané z postupu trajektorie vozidla na průjezdu lze označit jako kontrolní proměnné. Dokládají podobnou korelaci mezi proměnnými z reálného průjezdu a z měření parametrů OK.

I když má rychlost zcela nepopíratelný vliv na počátek, průběh a hlavně na následky DN, v této fázi ji musíme vyloučit hned ze dvou důvodů:

- rychlost V koreluje s vjezdovým úhlem α i poloměrem R_{IN} ,
- hodnoty rychlosti není možné v tak rozsáhlém měřítku získat.

Alternativou pro rychlostní charakteristiky v modelu je její zastoupení pomocí jiné kategoriální proměnné. Např. zastavba/charakter provozu ovlivňuje rychlost na komunikaci.

Poloměry jsou z bezpečnostní funkce taktéž vyloučeny, jelikož korelují se svými směrovými úhly. Navíc metoda jejich měření pro potřeby této práce není zcela spolehlivá (viz PŘÍLOHA D.).

2.5.5. Analýza závislosti: principal component analysis

V rámci explorační analýzy lze dále použít analýzu hlavních komponent (PCA – principal component analysis). Lze ji ale použít jen na číselné proměnné. Výstupem PCA je následující graf na obr. 49. Hlavní komponenty vznikají jako lineární kombinace původních vysvětlujících proměnných. Zkoumání těchto nových proměnných místo původních vysvětlujících proměnných nám umožňuje datům snadněji porozumět. Nové proměnné jsou uspořádány podle svého rozptylu. Ty s nejnižším rozptylem lze proto vyloučit. Jestliže jsou korelace nízké, je k vysvětlení celkového rozptylu potřeba právě 6 komponent.

Tato analýza slouží k vyhledání nových proměnných, které mají ty počáteční charakterizovat jako skupinu nebo je nahradit. 1. komponenta vypovídá o parametrech vjezdu, 2. komponenta vypovídá o dopravním zatížení, 3. komponenta spojuje pojižděný prstenec s podílem TNV (prstenec je určen k pojezdu TNV), 4. komponenta opět spojuje nastavení vjezdu s TNV, 5. komponenta popisuje rovnoměrnost rozložení ramen na OK, 6. komponenta spojuje bypass s odsunutím části dopravního zatížení. Většina proměnných v analýze spolu koreluje.

1. komponentu popisují: průměr OK, průměr ostrov, kolize, šířka vjezdu a výjezdu, alfa, aj.

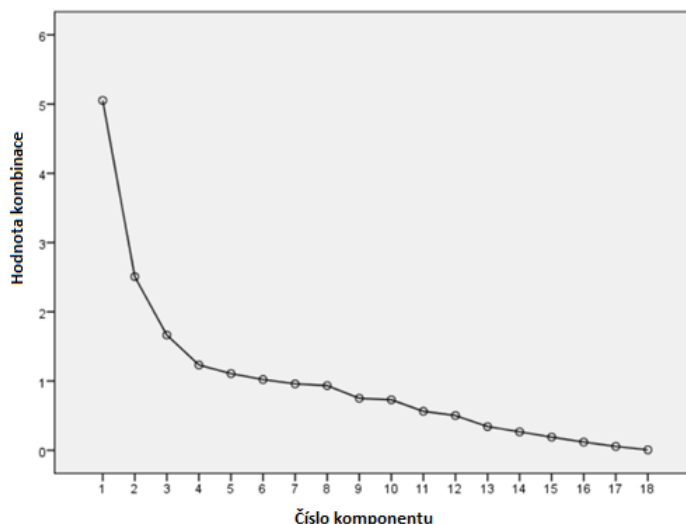
2. komponentu popisují: RPDl a podíl TNV.

3. komponentu popisují: podíl TNV a šířka poježděného prstence.

4. komponentu popisují: podíl TNV, šířka vjezdu a výjezdu, aj. slabší.

5. komponentu popisují: odchylka úhlu mezi rameny, odsun vjezdového paprsku a alfa.

6. komponentu popisují: šířka bypassu, odchylka úhlu mezi rameny.
 Pro další analýzu GLM bude tato metoda zanedbána.



obr. 49.PCA: Scree Plot

tab. 21. PCA: Component Matrix

Odkaz *	Charakteristika	Component					
		1	2	3	4	5	6
-	RPDI	0,471	0,743	0,049	-0,306	0,009	-0,042
-	Podíl TNV	0,068	-0,053	0,589	0,559	-0,138	0,199
f.	OK průměr	0,919	-0,258	0,015	-0,032	0,040	-0,004
g.	OSTROV průměr	0,906	-0,280	0,035	-0,066	0,042	0,018
a.	Úhel na vjezdu - alfa	0,416	-0,376	0,398	-0,273	0,256	-0,015
b.	Úhel na přímém průjezdu - omega	0,216	-0,322	0,375	-0,455	0,045	-0,074
c.	Úhel na výjezdu - beta	0,358	-0,548	0,195	-0,229	-0,151	0,172
h.	úhel mezi rameny	-0,054	0,294	0,121	0,257	0,453	0,217
h.	Odchylka úhlu mezi rameny	-0,043	-0,156	0,092	0,066	0,611	0,423
i.	ODSUN šířka	0,100	0,018	-0,020	0,209	0,578	-0,633
j.	Kolize	0,884	-0,052	-0,008	0,050	0,041	-0,045
k.	OKRUH šířka	0,598	0,089	-0,572	0,123	0,006	0,049
n.	PRSTENEC šířka	-0,540	-0,024	0,513	0,088	-0,118	-0,130
l.	VJEZD šířka	0,758	-0,047	-0,019	0,322	-0,114	-0,013
m.	VYJEZD šířka	0,681	-0,007	-0,066	0,373	-0,189	0,008
o.	BYPASS šířka	-0,007	0,230	-0,220	-0,157	0,110	0,539

Poznámka:

* Odkaz na kapitolu 2.2.1.

Intenzita podbarvení udává míru významnosti proměnné ve vytvořené komponentě. Červená a zelená barva je jen pro odlišení sloupců (bez dalšího významu).

2.5.6. Shrnutí

Bylo analyzováno 200 OK na území ČR, kde bylo možné získat hodnoty RPDl. Vysvětlující ani vysvětlované proměnné nemají normální rozdělení. Pro statistickou analýzu nelze využít lineární regresi.

V práci jsou prezentována data pouze na jednotlivých existujících vjezdech OK. Celkem je analyzováno 6194 stavů vjezdů OK.

Z histogramu vysvětlujících proměnných je zřejmé, že pravděpodobnostní rozdělení nepodléhá normálnímu rozdělení. Z grafů je navíc zřejmé, že závislosti nejsou lineární. Z těchto důvodů nelze pro

model nehodovosti použít lineární regresi. Vysvětlující proměnné s malou četností bude nevhodnější z analýzy vyloučit.

2.6. Shrnutí a dílčí závěr

Pro naplnění cíle dizertační práce byla využita multifaktorová analýza, technika explorační analýzy a analýzy vzájemné závislosti proměnných. Koncept multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti je založen na identifikaci kritických vlivů a kvantifikaci míry jejich působení na vznik DN. Proces analýzy se dělí do tří kroků: 1. výběr analyzovaného jevu (četnost DN na OK), 2. volba vlivů, jevů faktorů (RPDI, průměr, OK, úhel na vjezdu aj.) a 3. provedení analýzy (ověření faktorů a stanovení míry ovlivnění). Explorační analýza představuje průzkum dat a odhaluje zvláštnosti nebo extrémy ještě před vlastním statistickým zpracováním. Zobecněný lineární model (GLM) umožňuje modelovat závislost vysvětlované proměnné na jedné nebo více vysvětlujících proměnných (spojité nebo ordinální veličiny). Důležitou předností GLM je, že umožňuje modelovat proměnné i s jinými pravděpodobnostními rozděleními, než je normální rozdělení použité v klasickém modelu regrese.

Jako vysvětlovaná proměnná (ukazatele bezpečnosti) bude využita absolutní četnost dopravních nehod na OK za sledované období a dále potom závažnost. Jako vysvětlující proměnné budou použity jednotlivé návrhové prvky OK, které z pohledu mechanismu DN spadají do faktoru prostředí (geometrie PK aj.). Vysvětlující proměnné s malou četností bude nevhodnější z analýzy vyloučit. Do modelu GLM bude nevhodnější použít tyto vysvětlující proměnné: RPDI, odchylka úhlů mezi rameny OK, kolizní vzdálenost, úhel na vjezdu (dělený do kategorie), výskyt pojižděného prstence, výskyt bypassu, charakter provozu (zástavba), výskyt přechodu pro chodce, typ vjezdu (uspořádání pruhů na vjezdu) aj. Analýza návrhových prvků v závislosti na nehodovosti byla provedena na silničních, provozních údajích a datech o ukazatelích bezpečnosti.

Silniční data, neboli návrhové/geometrické prvky, byla pořízena ze dvou základních zdrojů: vektorové mapy silniční sítě ČR [79.], druhým zdrojem byl portál Mapy.cz [48.]. Ze základního souboru dat OK v ČR děleného dle počtu ramen a lokality vyplývá následující: Nejvíce OK je čtyřramenných (cca 700). Nejvíce OK se nachází v intravilánu (cca 960). ŘSD neeviduje cca 75% OK.

Provozní data představují v modelu nehodovosti OK parametr, který je pro analýzu bezpečnosti návrhových prvků nezbytný. Provoz na OK je charakterizován prostřednictvím intenzity dopravy, tj. RPDI stanoveného z výsledků Celostátního sčítání dopravy 2010 [16].

Bezpečnostní ukazatele vycházejí ze sledování parametrů bezprostředně souvisejících s nehodami. Celkem bylo vyhledáno 200 OK, kde bylo možné doložit RPDI na všech vjezdech. U tohoto vzorku křižovatek bylo v letech 2009 až 2016 nalezeno 2674 DN, z toho 611 se zraněním a 2063 pouze s hmotnou škodou. Na OK identifikovaných v ČR bylo evidováno 7600 DN (se zraněním 1896 a 5704 jen s hmotnou škodou). Analýza tedy zahrnuje cca 35 % DN na OK v ČR.

Rozsah výběrového šetření je 1200 identifikovaných OK na území ČR. Po selekci z hlediska dostupnosti všech potřebných parametrů z pohledu návrhových prvků, provozního zatížení a ukazatelů bezpečnosti bylo vybráno 200 OK. V práci jsou prezentována data pouze na jednotlivých existujících vjezdech OK. Celkem je analyzováno 6194 stavů vjezdů OK. Jedná se tedy o vzorek s velkým výběrem. Pro model budou dále posuzovány stavy parametrů OK v jednotlivých letech (2009 až 2016).

3. Model nehodovosti

Výchozím předpokladem této dizertační práce je hypotéza, že existuje závislost mezi bezpečností, která je vyjádřena ukazateli bezpečnosti, a návrhovými prvky OK. Podrobný rozbor proměnných je obsažen v kapitole 2.2.

3.1. Teorie

Hlavním cílem dizertační práce je analýza návrhových prvků OK ve vazbě na nehodovost. Z hlediska statistické analýzy bylo nutné identifikovat a charakterizovat jednotlivé vysvětlující proměnné (návrhové prvky OK), u kterých lze předpokládat, že mají vliv na bezpečnost dopravy. K tomuto účelu byl zvolen matematický předpis, který nahrazuje předmětný soubor dat zjednodušeným modelem. Pro analýzu byla zvolena funkce bezpečnosti (model nehodovosti), která byla prezentována v kapitole 2.4.1.

3.1.1. Regresní analýza

Funkce bezpečnosti je sestavena na základě regresní analýzy. Jedná se o statistickou metodu, pomocí které lze odhadnout hodnotu regresních koeficientů nezávisle proměnných. Jinými slovy: vliv návrhových prvků OK lze odhadnout na základě zaznamenaných DN pozorovaných na OK.

Vstupní údaje:

- závisle proměnné (př.: počet DN, závažnost),
- nezávisle proměnné (př.: úhel na vjezdu, poloměr OK, RPDI aj.).

Poznatky k modelování:

Při modelování pomocí této metody je nutné mít na paměti, že statisticky prokázaná závislost nemusí nutně znamenat příčinnost (kauzalitu, tj. vztah mezi příčinou a následkem, viz publikace Hebák a spol. 2013 [100.], Hendl a spol. 2014 [101.]).

Jelikož jsou předmětem modelování proměnné, kterými jsou kategoriální nebo spojité veličiny bez normálního pravděpodobnostního rozdělení, je nezbytné využívat tzv. zobecněnou lineární regresi (zobecněný lineární model, generalized linear model, GLM). Ta umožňuje modelovat proměnné i s jinými pravděpodobnostními rozděleními. V modelu se volí spojovací funkce g , vysvětlující proměnné X . Na základě předpokladu o rozdělení vysvětlované proměnné Y se hledají takové koeficienty lineárního prediktoru, aby model co nejlépe vystihoval výsledky měření.

Například pro četnostní data (tj. diskrétní nezáporné hodnoty, což je i případ nehodovosti) se používá Poissonovo rozdělení, pro které se volí spojovací funkce (19).

$$(19) \text{ Spojovací funkce Poissonova rozdělení} \quad g(\mu) = \ln(\eta) \quad [-]$$

Předpokládá se, že systematická složka μ je prostřednictvím tzv. spojovací funkce (link) spojena s lineárním prediktorem η , což je lineární funkce parametrů modelu (systematická složka je funkcí lineárního prediktoru). Pro inverzní funkci pak platí následující (20):

$$(20) \text{ Inverzní spojovací funkce Poissonova rozdělení} \quad \mu = g^{-1}(\eta) = e^{\eta} \quad [-]$$

Poissonovo rozdělení však vyžaduje, aby průměr všech hodnot byl roven rozptylu. U proměnné, jako jsou DN, to však obvykle neplatí. Vhodnější bude zvolit **negativně binomické rozdělení**, jehož

rozptyl je roven průměru μ a jeho přírůstku $k \cdot \mu^2$, kde k je disperzní parametr, který se určuje v průběhu modelování (viz Reurings a spol. 2005 [91.]). Taktéž slouží k hodnocení kvality modelu (viz kapitolu 5.2.3.).

Obecně se předpokládá, že s vyšším počtem proměnných se zvyšuje kvalita modelu, tedy proložení n -rozměrné funkce předmětným souborem dat. Současně také platí, že **čím je model jednodušší** (obsahuje méně proměnných), **tím je spolehlivější** (důvěryhodnější).

V modelování často dochází k záměně vysvětlujících proměnných, které představují skutečné příčiny a které představují potenciální rizikové faktory. Tyto **proměnné by měly být jasně identifikovatelné**, aby nedocházelo k mylné interpretaci výsledku modelu (viz kauzální a predikční modely Persaud, 2001 [90.]).

Z názvu predikčního modelu pak může dojít k mylnému předpokladu, že tyto modely mají za úkol predikovat, tedy předpovídat závislost bezpečnosti na předmětném prvku PK. Toto však nemusí vždy platit z několika důvodů: každý model je platný pouze v rozsahu svých vstupních dat předmětného souboru, model vysvětluje pouze historická data. Jakákoliv další **predikce silně závisí na zachování podmínek jeho nastavení**.

Modelování se provádí v následujících bodech:

1) *Sestavení databáze*

Pro modelování je nutné získat data poměrně velkého rozsahu. Je nutné sestavit databázi, která po celou dobu sběru a analýzy dat zaručí jejich konzistenci a aktuálnost.

2) *Stanovení nejvhodnějšího tvaru regresního modelu*

Zobecněný lineární model určený pro předmět této studie má tvar (21). V dalším kroku jeho vývoje se přidává proměnná X . Model v tuto chvíli nabývá tvaru (22), který představuje základní předpis funkce bezpečnostní (podrobněji viz kapitolu 2.4.2.).

$$(21) \text{ Výchozí tvar modelu bezpečnostní funkce: nulový model} \quad Y = a \quad [-]$$

$$(22) \text{ Výchozí tvar modelu bezpečnostní funkce} \quad Y = a \cdot X^b \quad [-]$$

3) *Stanovení konkrétních hodnot parametrů*

Zatímco u klasické lineární regrese se hodnoty parametrů určují nejčastěji metodou nejmenších čtverců (MNC), u GLM se nejčastěji používá metoda maximální věrohodnosti.

Model se tedy vytváří krokově, a to buď dopřednou selekcí (přidáváním proměnných), nebo zpětnou eliminací (odebíráním proměnných).

4) *Stanovení statistické významnosti modelu*

Kritérium R^2 z klasické lineární regrese nelze u GLM použít. Lze využít tzv. informační kritéria, nejčastěji Akaikovo informační kritérium (AIC), viz rovnici (23), kde k je počet odhadovaných parametrů a LL je maximalizovaná věrohodnostní funkce (log-likelihood⁹). Podrobněji viz kapitolu 5.2.1. na straně 102.

$$(23) \text{ Akaikovo informační kritérium (AIC)} \quad AIC = 2 \cdot k - 2 \cdot LL \quad [-]$$

Poznámka:

⁹ Log-likelihood je v kontextu často používáno jako synonymum pravděpodobnosti. Je spojeno s věrohodností modelu.

5) Interpretace výsledků daných modelem

K hodnocení kvality modelu lze využít tzv. věrohodnostní funkce (angl. likelihood). Pro nulový model je věrohodnost minimální; pro další modely se hodnotí dvojnásobek rozdílu mezi jejich věrohodnostními funkcemi neboli deviance. Cílem je nalézt model, který zmenšuje celkovou devianci – ta je úměrná rozdílu logaritmů věrohodnostních funkcí (angl. log-likelihood, LL) mezi úplným modelem a nulovým modelem. Do modelu se postupně zařazují ty proměnné, které nejvíce snižují devianci vzhledem k aktuálnímu modelu [82.].

Jak bylo uvedeno výše, model lze vytvářet dopřednou selekcí, nebo zpětnou eliminací; oba způsoby by měly ideálně vést ke stejnému výsledku. Výběr proměnných se může řídit dosaženou hladinou významnosti (signifikancí) – čím nižší, tím lepší [83.].

3.2. Základní tvary modelů nehodovosti (funkce bezpečnosti)

Pro model nehodovosti se využívá vícerozměrný regresní model, který charakterizuje vztah mezi vysvětlovanými proměnnými (bezpečnostní ukazatele: počet DN, závažnost aj.) a vysvětlujícími proměnnými (např. RPDI, počet ramen OK, úhel na vjezdu, šířka okružního pásu aj.).

3.2.1. Základní tvar modelu pro úseky

Pro úseky se standardně uvažuje výchozí tvar funkce bezpečnosti (24),

$$(24) \text{ Model pro úseky} \quad N = a \cdot I^b \cdot L^c \cdot e^{\sum(d \cdot x)} \quad [\text{počet N}]$$

kde platí:

N	očekávaný počet nehod
I	vstupní intenzita na úseku
L	délka úseku
a	regresní konstanta
b, c, d	regresní koeficienty definující průběh modelu (křivky)
x	další vysvětlující proměnné
e	základ přirozeného logaritmu.

První část modelu vyjadřuje expozici (četnost vystavení jevu DN), prezentovanou dopravním zatížením (intenzitou, RPDI) a délkou úseku (km, m). Druhá část modelu vyjadřuje vliv rizikových faktorů za definované expozice (Elvik, 2004 [102.]). V další části práce bude použita tato forma funkce bezpečnosti s úpravou pro křižovatky.

3.2.2. Základní tvar modelu pro křižovatky

Základní forma modelu pro křižovatky vychází z modelu pro úseky (24) s následujícími úpravami: křižovatka je právě jedno místo na PK. Vliv délky úseku L se většinou neuvažuje. Na křižovatce je ze zásady umožněna výměna směru jízdy vozidel. Toto je v modelu pro křižovatky prezentováno intenzitou na hlavní I_H a vedlejší I_V komunikaci. Základní tvar modelu pro křižovatky je následující (25):

$$(25) \text{ Model pro křižovatky} \quad N = a \cdot I_H^b \cdot I_V^c \cdot e^{\sum d_i x_i} \quad [\text{počet N}]$$

kde platí:

N	očekávaný počet nehod
I_H	provozní proměnná, intenzita na hlavní komunikaci
I_V	provozní proměnná, intenzita na vedlejší komunikaci
a	regresní konstanta
b, c, d	regresní koeficienty definující průběh modelu (křivky)
x	hodnota vysvětlující proměnné
e	základ přirozeného logaritmu.

3.2.3. Upravená forma modelu pro okružní křižovatky

Pro všechny křižovatky se základní model nehodovosti uvažuje ve tvaru (25), kde je počítáno s intenzitou pro hlavní komunikaci I_H a vedlejší komunikaci I_V zvlášť. Pro OK toto dělení nelze použít, jelikož zde není hlavní komunikace definována. Pokud bychom požadovali do modelu nehodovosti OK zavést intenzitu nadřazeného dopravního proudu, hledali bychom ji v místě vjezdu. V tomto místě se spojuje dopravní proud na vjezdu a na okruhu. Z technických a časových důvodů však nebylo možné stanovit intenzitu na okruhu OK bez podrobného průzkumu všech 200 OK. Pro tuto práci se vychází z intenzity na vjezdu. Matematický předpis je tedy nutné upravit následovně (26):

$$(26) \text{ Model nehodovosti na OK} \quad N = a \cdot RPD I^b \cdot e^{\sum c_i x_i} \quad [\text{počet } N]$$

kde platí:

N	očekávaný počet nehod
$RPDI$	provozní proměnná, intenzita na vjezdu do křižovatky
a	regresní konstanta
b, c	regresní koeficienty definující průběh modelu (křivky)
x	další vysvětlující proměnné
e	základ přirozeného logaritmu.

Očekávaný počet nehod N je vyjádřen matematickým předpisem exponenciální funkce (27) s inverzní logaritmickou funkcí (28) intenzity dopravy $RPDI$ a s vysvětlujícími proměnnými x_i ($i = 1, 2, 3, n$).

$$(27) \text{ Exponenciální funkce} \quad f(x) = a^x \quad [-]$$

$$(28) \text{ Logaritmická funkce} \quad f(x) = \ln x \quad [-]$$

Jako spojovací funkce zobecněného lineárního modelu se volí funkce inverzní k exponenciální, což je logaritmická funkce. Vytvoří se tak log-lineární multiplikativní model. Model nehodovosti na OK lze převést do tvaru (29). Proměnné a koeficienty jsou stejné jako u výše uvedeného modelu (26).

$$(29) \text{ Log-lineární tvar modelu DN na OK} \quad \ln(N) = \ln(a) + b \cdot \ln(RPDI) + \sum (c \cdot x) \quad [-]$$

Cílem modelování je odhad hodnot koeficientů a , b a c které definují průběh křivky modelu nehodovosti. K tomu byl v této práci využit statistický program IBM SPSS [97.] (dále pak je možné využít například SAS nebo R).

V textu je uveden postup tvorby nelineárního regresního modelu, který byl použit v *Metodice multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti* [58.] a obdobně v dizertační práci *Hodnocení bezpečnosti silničního provozu s využitím statistického modelování* [85.]. Postup lze také dohledat v publikaci *Kompendium statistického zpracování dat* [47.] (viz kapitulu 8. Nelineární regresní modely).

3.3. Ověření vhodnosti modelu

Výsledný model by měl obsahovat takové proměnné, jejichž vztah k nehodovosti je jednoduchý, ale zároveň výstižný. Průběh funkce v grafu lze nazvat optické posouzení závislosti reziduí na predikci, kde lze odhalit: odlehle hodnoty (maxima, minima), trend reziduí, střídání znaménka u reziduí nebo závislost variace na parametru. Podrobněji viz kapitulu 5.

Metody kontroly spolehlivosti modelu:

- Kontrola rozložení reziduí
- Srovnání hodnoty disperzního parametru

- Srovnání informačního kritéria AIC
- Podíl systematické variability

3.4. Praktická aplikace modelu

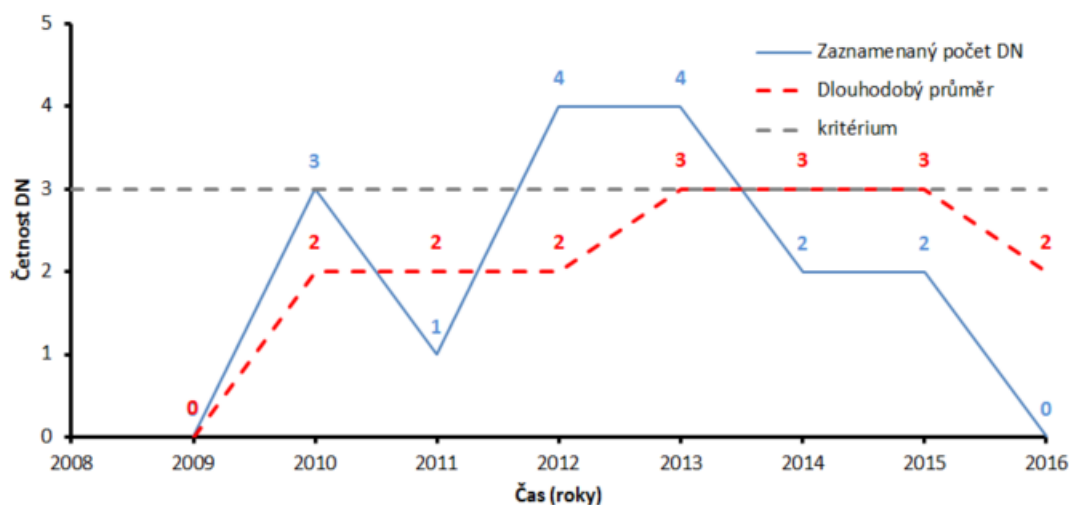
Následuje popis praktického využití modelu bezpečnosti silničního provozu na obecných, ale i konkrétních případech.

3.4.1. Obecně

GLM metodu lze využít ke **srovnání bezpečnosti různých typů opatření** na PK (např. dopravní stín a ostrůvek). Konkrétně lze zmínit studii (Ambros a Slabý 2013 [104.]), která srovnávala bezpečnost dvou typů křižovatek v intravilánu (okružní a průsečné). Rozdílem těchto dvou modelů byla srovnána bezpečnost na okružních a průsečných křižovatkách. Pomocí znamének regresních koeficientů lze pak odvodit přínos opatření a jeho míru.

Dále lze **vyhodnocovat účinnost navržených opatření** na vybraných lokalitách. V projektu EFEKTIV [151.] bylo touto metodou srovnáno období před a po úpravě křižovatky. Došlo ke srovnání regresních koeficientů modelu nehodovosti před úpravou křižovatky a po ní. Srovnání je možné provést na úpravách, které ještě nevykazují potřebnou životnost. Jejich parametry se odvodí od jiných lokalit, je však nutné mít na paměti, že model nemusí zahrnovat všechny faktory. Příkladem předběžného a následného hodnocení efektu přestavby průsečných křižovatek na okružní s využitím statistických modelů je studie Ambros a Janoška 2015 [105.].

Model je možné využít k lepší **identifikaci nehodových lokalit** (míst častých dopravních nehod, kritických nehodových lokalit). Tato činnost je běžnou náplní bezpečnostní analýzy nebo auditora PK. Je-li pro identifikaci takového místa na PK stanoveno kritérium (např. určitý počet nehod s určitým typem zranění), které je zobrazeno na obr. 50 šedou přerušovanou čarou, tak je možné předmětnou křižovátku zařadit mezi kritické pouze ve třech letech z osmi pozorovaných. Na křižovatce nedošlo k žádným parametrickým změnám. Ve většině případů je bezpečná. Čistě dle subjektivního hlediska toto nemusí být považováno za závažné. Z toho vyplývá, že by se pro analýzu neměl využívat průměr, ale hodnota očekávané nehodovosti stanovené na základě funkce bezpečnosti.



obr. 50. Aplikace kritéria při identifikaci nehodové lokality

Lokalita na PK je kritickým místem, pokud splňuje tyto podmínky: má vyšší očekávaný počet nehod než ostatní podobné lokality v důsledku místních rizikových faktorů. Z tohoto důvodu je nezbytné do definice zahrnout také třetí prvek, a to že vyšší očekávaný počet nehod by měl mít souvislost s místními rizikovými faktory.

Protože model dle funkce bezpečnosti nemůže vystihnout všechny systematické variace nehodovosti, představují tyto očekávané hodnoty pouze průměr pro dané kombinace proměnných. Z tohoto důvodu se očekávaná nehodovost na konkrétním místě může od průměru lišit.

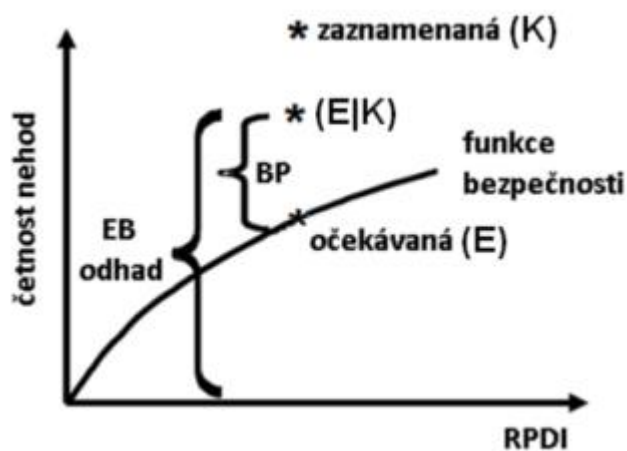
Empirická bayesovská metoda (EB) vychází ze dvou zdrojů: 1) počtu nehod na sledovaném místě, 2) počtu nehod na srovnatelných místech, určeného pomocí modelu (Hauer a spol. 2002 [106.]). Očekávaná hodnota E při známém počtu nehod N je

$$(30) \text{ Empirická bayesovská metoda (EB)} \quad E|N = w \cdot E + (1 - w) \cdot N \quad [-]$$

kde w je váha definována dle vzorce (31) a φ je hodnota disperzního parametru funkce.

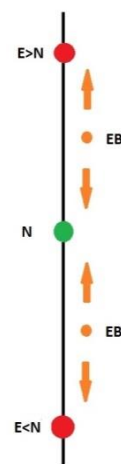
$$(31) \text{ Váha EB} \quad w = \frac{1}{1 + \frac{E}{\varphi}} \quad [-]$$

Hodnota EB se vždy přibližuje k významnější hodnotě E nebo N . Hodnota EB leží vždy mezi E a N . Pokud je naším cílem identifikovat nejnebezpečnější lokality na PK, můžeme použít hodnotu EB jako hodnotící kritérium.



Zdroj: AASHTO 2010 [107.]

obr. 51. Představa empirické bayesovské metody dle bezpečnostního potenciálu

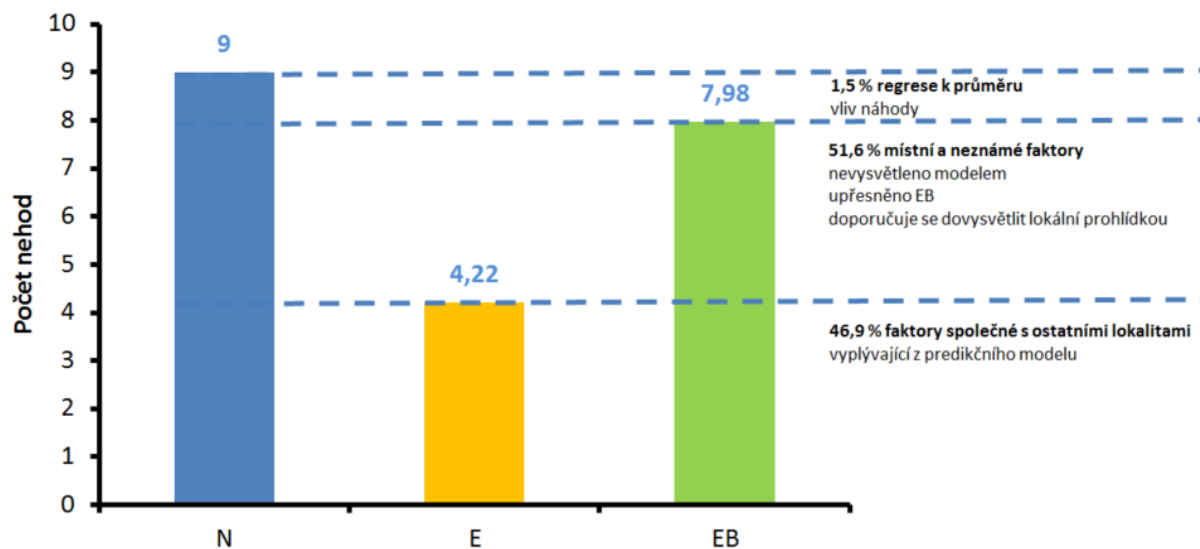


obr. 52. EB hodnota: princip, bezpečnostní potenciál

Bezpečnostní potenciál (viz obr. 52.) je dán rozdílem skutečného počtu N a očekávaného počtu E . Ukazuje, že místní vlivy na daném úseku (křižovatce) zvyšují riziko vzniku nehody, případně zhoršují následky nehod oproti hodnotě, kterou je možné pro daný typ uspořádání očekávat. Tyto místní vlivy nejsou zahrnuty do predikčního modelu, jsou pro danou lokalitu specifické a musejí být odhaleny provedením prohlídky daného úseku (křižovatky). Mohou to být např. nedostatečné rozhledové poměry, podélný sklon a jeho lomy, kvalita povrchu vozovky apod.

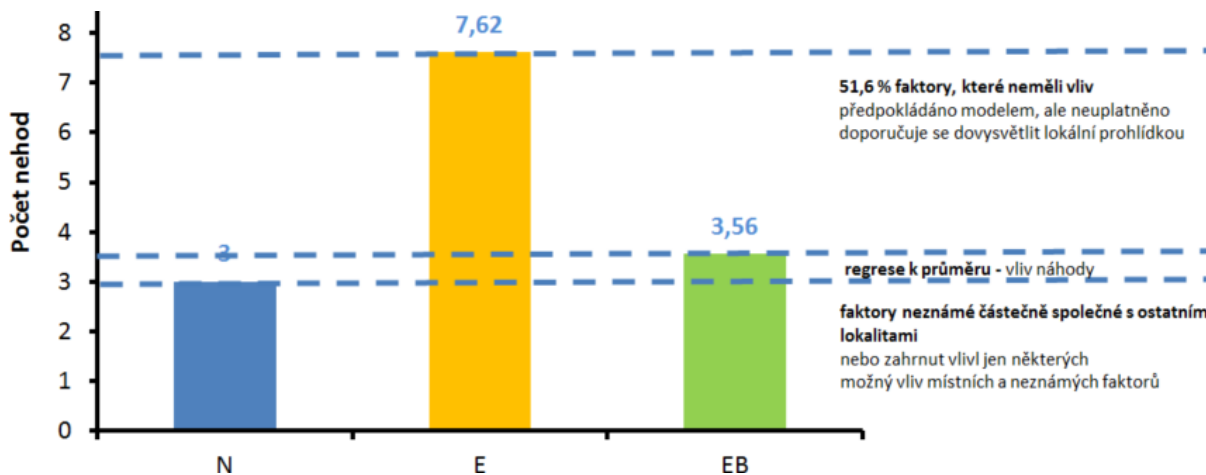
$$(32) \text{ Bezpečnostní potenciál} \quad EB_{\text{potenciál}} = N - E \quad [-]$$

Pokud je očekávaný počet nehod E menší než skutečný počet N ($E < N$), došlo k identifikaci lokality, která je nehodovou lokalitou, jelikož je její počet N nad limitem určeným pro kritické lokality dle funkce bezpečnosti vycházející ze statistiky DN na podobných lokalitách (viz obr. 53.). Pokud se v tomto případě odhad EB přibližuje k hodnotě očekávaného počtu E , dochází k potvrzení vlivu proměnných, které mají tyto lokality společné (klesá podíl místních neznámých faktorů). Pokud se odhad EB blíží více k hodnotě skutečného počtu N , lze předpokládat, že lokalita je sice kritickou, ale pravděpodobně zde mají vliv i jiné proměnné (roste podíl místních a neznámých faktorů).



obr. 53. EB hodnota: ($E < N$)

Pokud je očekávaný počet nehod E vyšší než skutečný počet N ($E > N$), došlo k identifikaci lokality, která není nehodovou, jelikož se její počet N nachází pod hranicí stanovené funkce bezpečnosti vycházející ze statistiky DN na podobných lokalitách (viz obr. 54.). Pokud se v tomto případě odhad EB přibližuje k hodnotě skutečného počtu N , roste podíl proměnných, které byly modelem předpokládány, ale ve skutečnosti neměly buď žádný, nebo jen částečný vliv. Lokalita není kritickou. Předpokládá se vliv i jiných vysvětlujících proměnných, které nebyly součástí modelu. Pokud se odhad EB blíží více k hodnotě očekávaného počtu E , klesá podíl proměnných, které by mohly mít vliv na nehodovost dle modelu. Může se změnit podíl nahodilé složky. Lokalita stále není kritickou.



obr. 54. EB hodnota: ($E > N$)

EB metoda udává hodnotu, která reflektuje jak zaznamenaný počet N na dané lokalitě, tak očekávaný počet nehod E (stanovený z průměru podobných míst ve smyslu společných proměnných využitých v predikčním modelu).

Tento postup byl využit v projektu IDEKO [153.], byl popsán v *Metodice multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti* [58.]. Jeho výhody oproti standardním postupům identifikace rizikových lokalit byly popsány v článku [108.]. Aplikace byla provedena pro potřeby ŘSD ČR (Pokorný a Ambros 2014 [109.]).

3.4.2. Příklad na souboru okružních křižovatek ve střední Evropě

Dalším příkladem užití funkce bezpečnosti při identifikaci významných vysvětlujících proměnných v závislosti na nehodovosti je *Srovnávací studie bezpečnosti dopravy na OK ve střední Evropě* (Ambros, Novák a další 2016 [110.]). V této studii bylo zahrnuto celkem 72 OK: z toho 13 na území ČR, 21 z Maďarska, 29 z Polska a 9 ze Slovenska. Byly analyzovány nesignalizované OK v intravilánu se čtyřmi rameny a s jedním pruhem na okruhu. Vysvětlovaná proměnná (počet DN) byla získána z bezpečnostních ukazatelů za období 5 let. Vysvětlující proměnné představovaly: RPDÍ, které bylo určeno jako součet polovičních hodnot RPDÍ na každém rameni OK, úhel vjezdový (α), výjezdový (β) a na přímém průjezdu (ω), průměr OK, průměrná šířka vjezdu/výjezdu, výskyt přechodu pro chodce nebo přejezdu pro cyklisty.

Výsledný model byl stanoven na základě prezentované metody GLM s postupným odebráním vysvětlujících proměnných s významností $> 10\%$. Byly provedeny modely pro ČR, PL, SK. Model pro HU byl neúspěšný. Regresní koeficienty jednotlivých modelů dosahovaly řádově podobných hodnot a stejných znamének. Proto bylo přistoupeno k tvorbě modelu pro všechna území s následujícími funkcemi bezpečnosti, viz vzorec (33) a (34):

$$(33) \text{ Model s úhlem na vjezdu „}\alpha\text{“} \quad N = 0,004 \cdot RPDÍ^{0,424} \cdot e^{(0,369 \cdot Win)} \cdot e^{(-0,034 \cdot \alpha)} \quad [\text{počet } N]$$

$$(34) \text{ Model s úhlem na přímém průjezdu „}\omega\text{“} \quad N = 0,001 \cdot RPDÍ^{0,639} \cdot e^{(0,402 \cdot Win)} \cdot e^{(-0,031 \cdot \omega)} \quad [\text{počet } N]$$

Byly identifikovány dva výsledné modely. První model (33) obsahoval hodnotu úhlu α na vjezdu. Druhý model (34) obsahoval hodnotu úhlu ω na přímém průjezdu. Oba dva modely obsahovaly součet RPDÍ na vjezdu do OK a průměrnou šířku vjezdu OK w_{in} . Hodnoty úhlu α a ω byly také stanoveny průměrem ze všech ramen na příslušných křižovatkách. Výsledkem je zjištění, že úhel na vjezdu α a přímém průjezdu ω (představující podélnou deflexi průjezdu) mají vliv na rychlost projíždějícího vozidla, což vede k nižšímu počtu DN.

3.4.3. Praktická aplikace GLM na model okružních křižovatek v ČR

Pro praktickou aplikaci postupu uvedeného v teorii kapitoly 3. bylo využito vstupních dat dle kapitoly 2.3. a 2.4. V souladu s postupem byla použita GLM metoda pro vysvětlení proměnné (počet DN) pomocí vysvětlujících proměnných (tj. RPDÍ na vjezdu OK, průměru OK, průměrné hodnoty úhlu na vjezdu α aj.).

Tato analýza se zabývala hodnocením bezpečnosti na OK jako celku. Vysvětlující proměnné, které nabývaly u každého vstupního ramene křižovatky jiných hodnot, byly průměrovány, nebo selektovány dle očekávaného rizika, např. pokud úhel na vjezdu α nabýval u čtyřramenné OK hodnot 0, 20, 40, 15, tak za charakteristickou hodnotu byla považována hodnota minimální. Naopak u šířky na vjezdu byla za charakteristickou hodnotu považována hodnota maximální.

Model byl vytvářen dopřednou selekcí. Volba ponechání vysvětlující proměnné se řídila dosaženou statistickou významností (signifikancí) – většinou se požaduje hranice 5 %, výjimečně 10 %.

Jako první byl sestaven model s těmito vysvětlujícími proměnnými: RPDI, minimální hodnota úhlu na vjezdu α_{\min} a průměrná hodnota šířky vjezdu w_{in} pro jejich charakteristické hodnoty za celou křižovátku.

(35) 1. model OK v ČR dle databáze 200

OK: α_{\min}

$$N = e^{-8,812} \cdot RPDI^{1,020} \cdot e^{(0,001 \cdot \alpha)} \cdot e^{(0,272 \cdot W_{in})} \quad [\text{počet } N]$$

Výsledný model nabýval rozdílných hodnot ve srovnání se středoevropskou studií OK [110.]. U vysvětlující proměnné úhel na vjezdu α_{\min} nebylo dosaženo očekávaného znaménka a dosažená významnost spolehlivosti překročila hladinu 10 %. Podíl vysvětlené systematické variability (viz kapitolu 5.2.4.) dat byl stanoven na 57,50 %. Regresní koeficient u RPDI přesáhl hodnotu 1.

tab. 22. 1. model OK v ČR dle databáze 200 OK – úhel na vjezdu α_{\min}

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-8,812	1,0200	-10,811	-6,812	74,626	1	0,000
RPDI	1,020	0,1125	0,800	1,241	82,246	1	0,000
Úhel na vjezdu α_{\min}	0,001	0,0042	-0,008	0,009	0,024	1	0,877
Šířka vjezdu w_{in}	0,272	0,0492	0,176	0,369	30,686	1	0,000
Disperzní parametr	0,469	0,0567	0,370	0,594	-	-	-

Jako druhý byl sestaven model s těmito vysvětlujícími proměnnými: RPDI, průměrná hodnota úhlu na vjezdu $\alpha_{\text{průměr}}$ a průměrná hodnota šířky vjezdu w_{in} , pro jejich charakteristické hodnoty za celou křižovátku.

(36) 2. model OK v ČR dle databáze

200 OK: $\alpha_{\text{průměr}}$

$$N = e^{-8,792} \cdot RPDI^{1,020} \cdot e^{(-0,001 \cdot \alpha)} \cdot e^{(-0,278 \cdot W_{in})} \quad [\text{počet } N]$$

Výsledný model nabýval rozdílných hodnot ve srovnání se středoevropskou studií OK [110.]. U vysvětlující proměnné úhel na vjezdu α bylo sice dosaženo očekávaného znaménka (-), avšak dosažená významnost spolehlivosti vzrostla nad 10 %. Regresní koeficient u šířky na vjezdu má kladné znaménko, což by znamenalo, že s rostoucí šířkou vjezdu w_{in} bude počet očekávaných DN růst. Podíl systematické variability dat byl stanoven na 56,90 %, což je více než očekávaných 35 %. Regresní koeficient u RPDI přesáhl hodnotu 1.

tab. 23. 2. model OK v ČR dle databáze 200 OK – úhel na vjezdu $\alpha_{\text{průměr}}$

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-8,792	1,0214	-10,794	-6,790	74,099	1	0,000
RPDI	1,020	0,1125	0,799	1,240	82,136	1	0,000
Úhel na vjezdu $\alpha_{\text{průměr}}$	-0,001	0,0050	-0,011	0,009	0,022	1	0,883
Šířka vjezdu w_{in}	0,278	0,0503	0,180	0,377	30,580	1	0,000
Disperzní parametr	0,469	0,0567	0,370	0,594	-	-	-

Jako třetí byl sestaven model s těmito vysvětlujícími proměnnými: RPDl, minimální hodnota úhlu na přímém průjezdu ω_{\min} a průměrná hodnota šířky vjezdu w_{in} pro jejich charakteristické hodnoty za celou křižovatku.

(37) 3. model OK v ČR dle databáze 200 OK:

$$N = e^{-8,832} \cdot RPDl^{1,021} \cdot e^{(0,001 \cdot \omega)} \cdot e^{(0,273 \cdot Win)} \quad [\text{počet } N]$$

Výsledný model nabyl rozdílných hodnot ve srovnání se středoevropskou studií OK [110.]. U vysvětlující proměnné úhel na přímém průjezdu ω bylo zjištěno znaménko (+) a významnost spolehlivosti > 5 %, což znamená, že s rostoucím úhlem na přímém průjezdu ω roste i nehodovost. Ze studie i další literatury je však potvrzen opačný trend (viz kapitolu 2.2.1., bod b.). Regresní koeficient u šířky na vjezdu w_{in} nabyl kladného znaménka. To znamená, že s rostoucí šířkou vjezdu w_{in} by počet očekávaných DN rostl. To souhlasí s předpokladem. Podíl systematické variability dat byl stanoven na 57,60 %, což je více než očekávaných 35 %. Regresní koeficient u RPDl přesáhl hodnotu 1.

tab. 24. 3. model OK v ČR dle databáze 200 OK – úhel na přímém průjezdu ω_{\min}

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
konstanta	-8,832	1,0215	-10,834	-6,830	74,761	1	0,000
RPDI	1,021	0,1124	0,801	1,241	82,456	1	0,000
Úhel na přímém průjezdu ω_{\min}	0,001	0,0023	-0,004	0,005	0,127	1	0,721
Šířka vjezdu w_{in}	0,273	0,0459	0,183	0,363	35,230	1	0,000
Disperzní parametr	0,469	0,0566	0,370	0,594	-	-	-

Jako čtvrtý byl sestaven model s těmito vysvětlujícími proměnnými: RPDl, průměrná hodnota úhlu na přímém průjezdu ω a průměrná hodnota šířky vjezdu w_{in} pro jejich charakteristické hodnoty za celou křižovatku.

(38) 4. model OK v ČR dle databáze 200

OK: $\omega_{\text{průměr}}$

$$N = e^{-8,749} \cdot RPDl^{1,017} \cdot e^{(-0,001 \cdot \omega)} \cdot e^{(0,278 \cdot Win)} \quad [\text{počet } N]$$

Výsledný model nabýval rozdílných hodnot ve srovnání se středoevropskou studií OK [110.]. U vysvětlující proměnné úhel na přímém průjezdu ω bylo sice tentokrát dosaženo očekávaného znaménka (-), ale významnost spolehlivosti opět přesáhla 5 %. Regresní koeficient u šířky na vjezdu w_{in} nabyl kladného znaménka, což by znamenalo, že s rostoucí šířkou vjezdu w_{in} by počet očekávaných DN rostl. Podíl systematické variability dat byl stanoven na 57,60 %, což je více než očekávaných 35 %. Regresní koeficient u RPDl přesáhl hodnotu 1.

tab. 25. 4. model OK v ČR dle databáze 200 OK – úhel na přímém průjezdu $\omega_{průměr}$

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
konstanta	-8,749	1,0447	-10,796	-6,701	70,135	1	0,000
RPDI	1,017	0,1133	0,795	1,239	80,623	1	0,000
Úhel na přímém průjezdu $\omega_{průměr}$	-0,001	0,0029	-0,006	0,005	0,055	1	0,814
Šířka vjezdu w_{in}	0,278	0,0467	0,186	0,369	35,362	1	0,000
Disperzní parametr	0,469	0,0566	0,370	0,594	0,469	-	-

Uvedené modely měly za cíl otestovat sadu dat s výsledky popsané studie OK [110.], která se zabývá stejnou problematikou. Srovnáním modelů nehodovosti (viz tab. 26.) bylo zjištěno, že kritéria pro hodnocení modelu, jako je AIC, disperzní parametr a podíl systematické variability, nemusejí vypovídat o jeho kvalitě. Tedy ne bez předešlého ověření dosažené významnosti jednotlivých vysvětlujících proměnných uvnitř modelů (viz červeně podbarvené hodnoty sign. v tab. 22. , tab. 23. , tab. 24. a tab. 25.). Tyto parametry se mohou srovnávat jen u modelů, které mají stejný základ dat. Hodnota signifikance proměnných v modelu udává hladinu jejich statistické významnosti. Pokud se blíží k nule, proměnná má jednoznačný vliv. Pokud se její hodnota naopak blíží k jedničce, dochází k velkému rozptylu této proměnné ve vzorku. Proměnná nemá jednoznačný vliv.

tab. 26. Srovnání kvality modelů nehodovosti

Model	AIC	Disperzní parametr	% SV	$\Delta\%$ SV
1. Model: α_{min}	1303,511	0,469	57,50	
2. Model: $\alpha_{průměr}$	1303,513	0,469	56,90	-0,60
3. Model: ω_{min}	1303,407	0,469	57,60	+0,60
4. Model: $\omega_{průměr}$	1303,479	0,469	57,60	0,00

Proto je zcela nezbytné sledovat vnitřní dosaženou významnost jednotlivých vysvětlujících proměnných a znaménka regresních koeficientů. Toto je nutné srovnávat s očekáváním dle literatury a zavedenými zkušenostmi.

Nestabilita znamének regresních koeficientů u vysvětlujících proměnných a jejich dosažená významnost v modelu je známkou:

- špatně charakterizované proměnné: chybný sběr dat, nedostatečný sběr dat, systematická chyba: odvození proměnné z jiných proměnných špatnou úvahou nebo postupem,
- interní korelace mezi vysvětlovanými proměnnými,
- nebo nevhodnosti proměnné v modelu.

V tomto případě došlo k již výše zmíněnému nevhodnému odvození proměnné. Úhel na vjezdu α i na průjezdu ω byl stanoven jako minimum nebo jako průměr ze všech ramen na OK. To vede ke zkreslení jeho skutečných hodnot. Toto zobecnění má za následek vysokou signifikanci nebo špatné znaménko v modelech. Z toho vyplývá, že pro model nehodovosti bude vhodnější zavést dělení OK do kvadrantů dle ramen (viz kapitolu 2.5.1.).

3.5. Shrnutí a dílčí závěr

Model nehodovosti (funkce bezpečnosti) je sestaven na základě regresní analýzy, která odhadne hodnotu vysvětlované proměnné (očekávaný počet DN) na základě znalosti nezávislých proměnných. Cílem modelování je odhad hodnot koeficientů a , b a c , které definují průběh křivky modelu nehodovosti. K tomu byl v této práci využit statistický program IBM SPSS [97.].

Při modelování pomocí této metody je nutné mít na paměti, že statisticky prokázaná závislost nemusí nutně znamenat příčinnost. Výsledný **model by měl obsahovat takové proměnné, jejichž vztah k nehodovosti je logický.**

U proměnné, jako jsou DN, neplatí normální pravděpodobnostní rozdělení. Poissonovo rozdělení vyžaduje, aby průměr všech hodnot byl roven rozptylu. Proto je vhodné použít **negativně binomické rozdělení**, jehož průměr je roven průměru a jeho přírůstku.

Z názvu predikčního modelu může dojít k mylnému předpokladu, že tyto modely mají za úkol predikovat, tedy předpovídat bezpečnost na předmětném prvku PK. Toto však nemusí platit z několika důvodů: každý **model je platný pouze v rozsahu svých vstupních dat předmětného souboru**. Model vysvětluje pouze historická data. Jakákoliv další predikce silně závisí na zachování podmínek jeho nastavení.

Pro všechny křižovatky se základní model nehodovosti uvažuje ve tvaru rovnice (25), kde je počítáno s intenzitou na hlavní komunikaci I_H a vedlejší komunikaci I_V zvlášť. Pro OK toto dělení nelze použít, jelikož zde není hlavní komunikace definována. Toto nelze využít ani z důvodu obsahu dostupných provozních dat (RPDI), ani z důvodu rozsahu této práce. Proto tato práce vychází z intenzity na vjezdu. Matematický předpis pro model nehodovosti na OK je dle rovnice (26). Funkci bezpečnosti lze využít ke srovnání bezpečnosti různých typů opatření, vyhodnocení účinnosti navržených opatření, identifikaci nehodových lokalit na PK.

Byly identifikovány dva výsledné modely. První model (33) obsahoval hodnotu úhlu α na vjezdu. Druhý model (34) obsahoval hodnotu úhlu ω na přímém průjezdu. Oba dva modely obsahovaly součet RPDI na vjezdu do OK a průměrnou šířku vjezdu OK w_{in} . Hodnoty úhlu α a ω byly stanoveny průměrem ze všech ramen na příslušných křižovatkách. **Výsledek je zjištění, že úhel na vjezdu α a úhel na přímém průjezdu ω zastupují podélnou deflexi průjezdu. Mají vliv na rychlost projíždějícího vozidla, což vede k nižšímu počtu DN.** V tomto případě však došlo k již výše zmíněnému nevhodnému odvození proměnné. Úhel na vjezdu α i na přímém průjezdu ω byl stanoven jako minimum nebo jako průměr ze všech ramen na OK. To vede ke zkreslení jeho skutečných hodnot. Toto zobecnění má za následek vysokou signifikanci nebo špatné znaménko v modelech. Z toho vyplývá, že pro model nehodovosti bude vhodnější zavést dělení OK do kvadrantů dle ramen (viz kapitulu 2.5.1.).

Výsledný model by měl obsahovat takové proměnné, jejichž vztah k nehodovosti je jednoduchý, ale zároveň výstižný (jako například RPDI, intenzita). Rozsah vstupních dat má vliv na kvalitu modelu.

4. Rozšíření modelu nehodovosti

V předchozích kapitolách bylo postupně prezentováno:

- teoretický základ posuzování bezpečnosti PK za pomoci funkce bezpečnosti,
- požadavky na vstupní data, která charakterizují proměnné v modelu,
- studie bezpečnosti OK na vybraných místech ve čtyřech evropských zemích,
- model bezpečnosti na OK, který měl za cíl ověřit citovanou studii [110.] (identifikované návrhové prvky) čistě na území ČR. Při jeho zpracování nebylo dosaženo požadované přesnosti modelu ani jednotlivých vysvětlujících proměnných.

4.1. Rozšíření modelu: kvadranty okružních křižovatek

V původní prezentované studii [110.] byl sestaven model, který vysvětloval počet DN na celé OK pomocí vysvětlujících proměnných, a to RPDl, šířky na vjezdu w_m , úhlu na vjezdu α a úhlu na přímém průjezdu ω . V této práci byl sestaven stejný model s větším počtem OK, a to pouze na území ČR. Model však neuspěl z pohledu dosažené hladiny významnosti jednotlivých proměnných. To bylo zapříčiněno „nehodnou“ parametrizací vysvětlujících proměnných. Model byl sestaven pro OK jako celek. Jelikož se OK ze zásady skládá z jednotlivých napojení PK do kruhového objezdu křižovatky, z nichž každé obsahuje vlastní údaje o vysvětlujících proměnných, bylo nutné tyto různé hodnoty prezentovat právě jednou charakteristikou. Např. hodnota úhlu na vjezdu α se nachází na každém rameni křižovatky. Do modelu byla vložena subjektivně hodnocená hodnota (průměr, minimum nebo maximum) proměnné, která sledovala její horší vlastnosti. Tímto došlo ke zkreslení skutečného významu hodnoty proměnné.

Pro odstranění této chyby byl využit postup popsáný v kapitole 2.5.1. Díky rozdělení křižovatky na jednotlivé kvadranty (vjezdy, ramena vjezdových PK) je možné do modelu zahrnout skutečné hodnoty jednotlivých proměnných bez jejich dalšího zkreslení. Pro každý kvadrant byla současně přiřazena příslušná hodnota provozního zatížení RPDl a počet DN. Tento postup je v souladu s postupem použitým v projektu IDEKO [153.], kde byl model sestaven pro jednotlivé úseky PK. Úseky byly stanoveny dle typizované délky a změn sledovaných proměnných. Vzorek vysvětlovaných proměnných byl touto metodou v této práci rozšířen na 781 vjezdů OK.

4.2. Rozšíření modelu: jednotlivé roky

Původní data o bezpečnostních ukazatelích obsahovala celkový součet uskutečněných DN na celé OK za celé sledované období 2009 až 2016, tedy 8 let. Při rozdělení na jednotlivé kvadranty bylo zjištěno, že vstupní vzorek vjezdů je možné dále posílit o variabilitu zcela zásadní proměnné v modelu.

Hodnota RPDl na vjezdu OK byla již na počátku stanovena jako součet poloviny všech RPDl na vjezdu (postup viz kapitolu 2.3.2.). Nyní je tuto hodnotu možné stanovit pro každý vjezd (kvadrant) OK zvlášť. Rozšíření modelu spočívalo především v zavedení tzv. stavů vjezdů v jednotlivých letech. Pomocí růstových koeficientů dopravy byly stanoveny hodnoty RPDl na vjezdu v jednotlivých letech 2009–2016 (postup v kapitole 2.3.2.). Pro provedení kontroly existence vjezdu a zachování jeho parametrů za období monitoringu bylo možné do modelu zahrnout 6194 stavů vjezdů, které obsahují potřebné údaje pro metodu GLM.

Zavedení stavů vjezdů, tedy přepočítaného RPDl dle jednotlivých let v modelu, vytvořilo opakující se stejné nastavení vjezdu s jiným provozním zatížením a samozřejmě s příslušným počtem DN dle roku a kvadrantu OK.

Následuje přehled jednotlivých modelů (jedná se o model vjezdu), které byly vytvořeny s výše uvedenými specifikacemi. Modely byly vytvořeny krokově, dopřednou selekcí. Volba ponechání vysvětlující proměnné v modelu se řídila dosaženou statistickou významností (signifikancí) < 5 %. Jako vysvětlovaná proměnná byl použit absolutní počet DN na vjezdu.

Pátý model zahrnoval tyto vysvětlující proměnné: RPDl na vjezdu.

(39) 5. model vjezdu OK z DN

$$N = e^{-9,775} \cdot RPDl^{1,068}$$

[počet N]

tab. 27. 5. model vjezdu OK z DN: pouze RPDl

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-9,775	0,4149	-10,588	-8,962	555,170	1	0,0000
RPDI	1,068	0,0486	0,972	0,972	482,029	1	0,0000
Disperzní parametr	1,607	0,1006	1,422	1,422	-	-	-

Tento model obsahuje pouze vysvětlující proměnnou RPDl. Jedná se tedy o výchozí model, který bude dále dopřednou selekcí rozšiřován. Regresní koeficient u RPDl přesáhl hodnotu 1. Vysvětlující proměnná RPDl nepřekročila hladinu významnosti 5 %. Celková variabilita modelu byla stanovena na 9,20 %.

Šestý model zahrnoval tyto vysvětlující proměnné: RPDl na vjezdu, šířku vjezdu w_{in} , úhel na vjezdu α (forma spojité proměnné).

(40) 6. model vjezdu OK z DN

$$N = e^{-9,534} \cdot RPDl^{0,829} \cdot e^{(0,004 \cdot \alpha)} \cdot e^{(0,307 \cdot w_{IN})}$$

[počet N]

tab. 28. 6. model vjezdu OK z DN: RPDl a první silniční data

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-9,534	0,3884	-10,295	-8,772	602,417	1	0,000
RPDI	0,829	0,0465	0,738	0,921	317,943	1	0,000
Úhel na vjezdu α	0,004	0,0019	0,001	0,008	5,037	1	0,025
Šířka vjezdu w_{in}	0,307	0,0173	0,273	0,341	314,522	1	0,000
Disperzní parametr	0,939	0,0770	0,799	-	-	-	-

Tento model obsahuje vysvětlující proměnnou RPDl, úhel na vjezdu α , šířku vjezdu w_{in} . Regresní koeficient šířky vjezdu nabył kladného znaménka, to znamená, že s rostoucí šířkou vjezdu bude přibývat počet očekávaných nehod N . Souhlasí s předpokladem i teorií. Regresní koeficient úhlu vjezdu α nabył kladného znaménka, to znamená, že s rostoucí hodnotou úhlu na vjezdu α bude přibývat počet očekávaných nehod N . Nesouhlasí s předpokladem ani teorií. Vysvětlující proměnné nepřekročily hladinu významnosti 5 %. Celková variabilita modelu byla stanovena na 25,80 %.

Sedmý model zahrnoval tyto vysvětlující proměnné: RPDl na vjezdu, šířku vjezdu w_{in} , úhel na vjezdu α (forma kategoriální proměnné). Vysvětlující proměnná úhel na vjezdu α byla kategorizována do pěti kategorií, a to následovně: 1. (0; 20); 2. (20; 40); 3. (40; 60); 4. (60; 80); 5. (80; ∞).

(41) 7. model vjezdu OK z DN	$N = e^{-8,458} \cdot RPD I^{0,812} \cdot e^{(\alpha)} \cdot e^{(0,324 \cdot w_{IN})}$	[počet N]
$\alpha \langle 0; 20 \rangle$	$N = e^{-8,458} \cdot RPD I^{0,812} \cdot e^{(-0,730)} \cdot e^{(0,324 \cdot w_{IN})}$	[počet N]
$\alpha \langle 20; 40 \rangle$	$N = e^{-8,458} \cdot RPD I^{0,812} \cdot e^{(-0,930)} \cdot e^{(0,324 \cdot w_{IN})}$	[počet N]
$\alpha \langle 40; 60 \rangle$	$N = e^{-8,458} \cdot RPD I^{0,812} \cdot e^{(-0,838)} \cdot e^{(0,324 \cdot w_{IN})}$	[počet N]
$\alpha \langle 60; 80 \rangle$	$N = e^{-8,458} \cdot RPD I^{0,812} \cdot e^{(-0,710)} \cdot e^{(0,324 \cdot w_{IN})}$	[počet N]
$\alpha \langle 80; \infty \rangle$	$N = e^{-8,458} \cdot RPD I^{0,812} \cdot e^{(0,000)} \cdot e^{(0,324 \cdot w_{IN})}$	[počet N]

Poznámka: Pokud je v předpisu uveden pouze název proměnné, tak se jedná o kategoriální proměnnou, která je ve vzorci zastoupena pouze regresním koeficientem.

tab. 29. 7. model vjezdu OK z DN

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-8,458	0,5960	-9,626	-7,289	201,389	1	0,000
RPDI	0,812	0,0468	0,720	0,904	300,830	1	0,000
$\alpha \langle 0; 20 \rangle$	-0,730	0,4242	-1,562	0,101	2,965	1	0,085
$\alpha \langle 20; 40 \rangle$	-0,930	0,4209	-1,755	-0,105	4,882	1	0,027
$\alpha \langle 40; 60 \rangle$	-0,838	0,4221	-1,665	-0,010	3,938	1	0,047
$\alpha \langle 60; 80 \rangle$	-0,810	0,4410	-1,674	-0,054	3,376	1	0,066
$\alpha \langle 80; \infty \rangle$	0	-	-	-	-	-	-
Šířka vjezdu w_{in}	0,324	0,0172	0,290	0,357	352,494	1	0,000
Disperzní parametr	0,946	0,0769	0,806	1,109	-	-	-

Tento model obsahuje vysvětlující proměnnou RPD I, šířku vjezdu w_{in} a kategorizovaný úhel na vjezdu α . Proto se tento model dělí na 5 dílčích předpisů. Regresní koeficient šířky vjezdu nabyt kladného znaménka, to znamená, že s rostoucí šířkou vjezdu bude přibývat počet očekávaných nehod N . Souhlasí s předpokladem i teorií. Regresní koeficient úhlu vjezdu α nabyt v jednotlivých kategoriích záporného znaménka, to znamená, že s rostoucím úhlem na vjezdu α bude ubývat počet očekávaných nehod N . Souhlasí s předpokladem i teorií. Vysvětlující proměnná úhel na vjezdu α kategorie $\langle 0; 20 \rangle$ překročila hladinu významnosti 5 %, je však menší než 10 %. Celková variabilita modelu byla stanovena na 24,90 %.

Osmý výsledný model zahrnoval tyto vysvětlující proměnné: RPD I na vjezdu, úhel na vjezdu α (forma kategoriální proměnná), kolizi, odchylku úhlu mezi rameny (*odchylkaR*), výskyt pojižděného prstence (kategoriální proměnná), výskyt bypassu (kategoriální proměnná), typ vjezdu (kategoriální proměnná). Pro tento model byla speciálně vytvořena kategoriální proměnná, tj. typ vjezdu. Jedná se o proměnnou, která je složena z kategoriální vysvětlující proměnné počet pruhů na vjezdu a počet pruhů na okruhu. Byly vytvořeny čtyři kategorie typu vjezdu: 1. (1 pruh na okruhu; 1 pruh na vjezdu); 2. (1 pruh na okruhu; 2 pruhy na vjezdu); 3. (2 pruhy na okruhu; 1 pruh na vjezdu); 4. (2 pruhy na okruhu; 2 pruhy na vjezdu). Kategorie 2. typu vjezdu se ve sledovaném vzorku nevyskytla. Na sledovaném souboru vjezdu OK nebyla pozorována.

(42) 8. model vjezdu OK z DN

[počet N]

$$N = e^{-2,800} \cdot RPD I^{0,583} \cdot e^{(\alpha)} \cdot e^{(-0,005 \cdot kolize)} \cdot e^{(0,005 \cdot odchylkaR)} \cdot e^{(PRSTENEC)} \cdot e^{(BYPASS)} \cdot e^{(TYP VJEZDU)}$$

Poznámka: Pokud je v předpisu uveden pouze název vysvětlující proměnné, tak se jedná o kategoriální proměnnou, která je ve vzorci zastoupena pouze regresním koeficientem.

tab. 30. 8. model vjezdu OK z DN

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-2,800	0,5164	-3,812	-1,788	29,403	1	0,000
RPDI	0,583	0,0416	0,501	0,664	196,581	1	0,000
α (0; 20)	-0,952	0,3067	-1,553	-0,351	9,634	1	0,002
α (20; 40)	-1,183	0,3014	-1,774	-0,593	15,414	1	0,000
α (40; 60)	-1,169	0,2988	-1,755	-0,584	15,318	1	0,000
α (60; 80)	-1,122	0,3135	-1,736	-0,507	12,802	1	0,000
α (80; ∞)	0	-	-	-	-	-	-
Kolize	-0,005	0,0021	-0,010	-0,001	6,275	1	0,012
Odchylka úhlu mezi rameny	0,005	0,0020	0,001	0,008	5,103	1	0,024
PRSTENEC (NE)	0,560	0,0543	0,454	0,667	106,474	1	0,000
PRSTENEC (ANO)	0	-	-	-	-	-	-
BYPASS (NE)	-0,498	0,0706	-0,636	-0,359	49,662	1	0,000
BYPASS (ANO)	0	-	-	-	-	-	-
TYP VJEZDU 1	-1,813	0,0879	-1,986	-1,641	425,293	1	0,000
TYP VJEZDU 2	-	-	-	-	-	-	-
TYP VJEZDU 3	-1,123	0,0910	-1,301	-0,945	152,162	1	0,000
TYP VJEZDU 4	0	-	-	-	-	-	-
Disperzní parametr	0,150	-	-	-	-	-	-

Tento model obsahuje vysvětlující proměnnou RPDI, úhel na vjezdu α , kolizi, odchylku úhlu mezi rameny, výskyt pojížděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu. Vysvětlující proměnné nepřekročily hladinu významnosti 5 %. Celková variabilita modelu byla stanovena na 37,20 %.

Regresní koeficient úhlu vjezdu α nabyl v jednotlivých kategoriích záporného znaménka, to znamená, že s rostoucím úhlem na vjezdu bude ubývat počet očekávaných nehod. Nejlépe hodnocená kategorie úhlu na vjezdu je (20; 40). Souhlasí s předpokladem i teorií.

Regresní koeficient kolize nabyl záporného znaménka, to znamená, že s rostoucí vzdáleností mezi kolizními body na výjezdu a vjezdu bude počet DN klesat. Souhlasí s předpokladem i teorií. Tento parametr souvisí s rozhledem na křižovatce a brzdou dráhou vozidla. Současně má také vliv na kapacitu vjezdu.

Regresní koeficient odchylky úhlu mezi paprsky křižovatky nabyl kladného znaménka. To znamená, že s rostoucí odchylkou úhlů mezi rameny OK bude růst i počet očekávaných nehod. Pravidelné uspořádání vjezdu do OK je výhodou.

Regresní koeficient u výskytu prstence na OK v místě vjezdu nabyl kladné hodnoty v kategorii bez výskytu prstence. To znamená, že pokud na vjezdu prsteneček není, bude očekávaný počet nehod vyšší. Souhlasí s předpokladem i teorií.

Regresní koeficient u výskytu bypassu vjezdu nabyl záporné hodnoty v kategorii bez výskytu bypassu. To znamená, že pokud vjezd bypass nemá, bude očekávaný počet nehod nižší. Souhlasí s předpokladem i teorií.

Regresní koeficient typu vjezdu nabyl vždy záporného znaménka. Nejlépe hodnocený vjezd je kategorie 1 (1 pruh na okruhu; 1 pruh na vjezdu); nejhůře hodnocená je kategorie 4 (2 pruhy na okruhu; 2 pruhy na vjezdu).

4.2.1. Shrnutí

Byla provedena multifaktorová analýza návrhových prvků OK v závislosti na nehodovosti. Pro modelování byla zvolena běžně užívaná funkce bezpečnosti s negativně-binomickým pravděpodobnostním rozdělením. Vzhledem k použité metodě bylo nezbytné OK rozdělit do kvadrantů dle jednotlivých vjezdů.

Analýza prokázala, že významnými návrhovými prvky OK jsou: RPDI, úhel na vjezdu α , kolize, odchylka úhlu mezi rameny, výskyt pojížděného prstence, výskyt bypassu a typ vjezdu.

Ostatní návrhové prvky prezentované v kapitole 2.2. neprokázaly statistickou významnost v modelu nehodovosti. To však neznamená, že nemají na mechanismus DN žádný vliv. Model vychází z historických dat a je charakteristický právě těm vjezdům, které byly analyzovány. V případě použití této metodiky na jiném souboru dat lze očekávat další jeho rozšíření právě novými daty o nehodách a vysvětlujících proměnných.

4.3. Rozšíření modelu: závažnost

Jednou ze zásadních vysvětlujících proměnných je rychlost. Ta má přímý vliv na průběh a následky nehody. Získat však charakteristické informace o této proměnné je poměrně rozsáhlý úkol. Pokud bychom měli mít právě jednu vypovídající hodnotu pro vjezd na kruhový objezd křižovatky, pak musíme určit přesné místo, kde tuto hodnotu měřit. Z korelační analýzy průjezdu měřicího vozidla na přímém průjezdu OK vyplynulo, že rychlost koreluje nejen s úhlem na vjezdu α , ale i s poloměrem vjezdu R_{IV} . Dále se korelace mění vůči místu sběru dat (50 m před vjezdem, v místě vjezdu na okruhu aj.). Z toho vyplývá, že zavedení vysvětlující proměnné do modelu nehodovosti, jakou je rychlost, není tak jednoduché. V modelu nehodovosti na OK bylo tedy přistoupeno k její alternativě (náhradě), kterou představuje lokalita aneb zástavba.

Devátý model zahrnoval tyto vysvětlující proměnné: RPDI na vjezdu, úhel na vjezdu α (forma kategoriální proměnné), kolizi, odchylku úhlu mezi rameny, výskyt pojížděného prstence (kategoriální proměnná), výskyt bypassu (kategoriální proměnná), typ vjezdu (kategoriální proměnná) a zástavbu (kategoriální proměnná).

Zástavba je proměnná, která reprezentuje vliv zástavby na rychlost vozidel v obecné rovině (v podstatě zastupuje rychlost). V kategorii bez zástavby se předpokládá vyšší rychlost vozidel a vyšší následky na nehodovosti. V kategorii se zástavbou se předpokládá nižší rychlost a menší následky.

(43) 9. model vjezdu OK z DN

[počet N]

$$N = e^{-2,830} \cdot RPD I^{0,583} \cdot e^{(\alpha)} \cdot e^{(0,307 \cdot \text{kolize})} \cdot e^{(0,307 \cdot \text{odchylkaR})} \cdot e^{(PRSTENEC)} \cdot e^{(BYPASS)} \cdot e^{(TYP VJEZDU)} \cdot e^{(\text{zastavba})}$$

Poznámka: Pokud je v předpisu uveden pouze název vysvětlující proměnné, tak se jedná o kategoriální proměnnou, která je ve vzorci zastoupena pouze regresním koeficientem.

tab. 31. 9. model vjezdu OK z DN

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-2,830	0,5205	-3,850	-1,810	29,562	1	0,000
RPDI	0,583	0,0416	0,502	0,665	196,865	1	0,000
α (0; 20)	-0,934	0,3092	-1,540	-0,328	9,130	1	0,003
α (20; 40)	-1,167	0,3035	-1,762	-0,573	14,800	1	0,000
α (40; 60)	-1,152	0,3012	-1,743	-0,562	14,641	1	0,000
α (60; 80)	-1,113	0,3141	-1,729	-0,498	12,562	1	0,000
α (80; ∞)	0	-	-	-	-	-	-
Kolize	-0,005	0,0021	-0,010	-0,001	6,309	1	0,012
Odchylka úhlu mezi rameny	0,005	0,0020	0,001	0,009	5,150	1	0,023
PRSTENEC (NE)	0,557	0,0549	0,449	0,664	103,048	1	0,000
PRSTENEC (ANO)	0	-	-	-	-	-	-
BYPASS (NE)	-0,494	0,0712	-0,633	-0,354	48,137	1	0,000
BYPASS (ANO)	0	-	-	-	-	-	-
TYP VJEZDU 1	-1,810	0,0883	-1,983	-1,637	419,784	1	0,000
TYP VJEZDU 3	-1,122	0,0911	-1,300	-0,943	151,713	1	0,000
TYP VJEZDU 4	0	-	-	-	-	-	-
Zástavba (NE)	0,023	0,0509	-0,077	0,123	0,201	1	0,654
Zástavba (ANO)	0	-	-	-	-	-	-
Disperzní parametr	0,150	-	-	-	-	-	-

Tento model obsahuje vysvětlující proměnnou RPDI, úhel na vjezdu α , kolizi, odchylku úhlu mezi rameny, výskyt pojižděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu. Celková variabilita modelu byla stanovena na 37,00 %.

Regresní koeficienty nabývají obdobných hodnot jako u modelu 8. Zástavba však vykazuje nadlimitní hladinu významnosti > 10 %. Toto může být spojeno právě se skutečností, že rychlost má zásadní vliv na následky DN. Proto byla do této analýzy experimentálně použita jiná vysvětlovaná proměnná, kterou je závažnost DN. Typ vjezdu 2 se ve vzorku nevyskytoval. Tuto kategorii není možné určit. Závažnost představuje ocenění každé realizované nehody dle hodnoty průměrné celospolečenské ztráty. Postup viz v kapitole 2.2.3.

Desátý model zahrnuje tyto vysvětlující proměnné: RPDI na vjezdu, úhel na vjezdu α (kategoriální proměnná), kolizi, odchylku úhlu mezi rameny, výskyt pojižděného prstence (kategoriální proměnná), výskyt bypassu (kategoriální proměnná), typ vjezdu (kategoriální proměnná), zástavbu (kategoriální proměnná) a výskyt přechodu pro chodce (kategoriální proměnná).

Tento model byl speciálně rozšířen o vysvětlovanou proměnnou váhu celospolečenských ztrát z DN. Dále se model úspěšně podařilo rozšířit o výskyt přechodu pro chodce (kategoriální proměnná).

(44) 10. model vjezdu OK ze závažnosti

[počet N]

$$N_{závažnost} = e^{-2,830 \cdot RPDJ^{0,583}} \cdot e^{(\alpha)} \cdot e^{(0,307 \cdot kolize)} \cdot e^{(0,307 \cdot odchylkaR)} \cdot e^{(PRSTENEC)} \cdot e^{(BYPASS)} \cdot e^{(TYP VJEZDU)} \cdot e^{(zastavba)} \cdot e^{(přechod)}$$

Poznámka: Pokud je v předpisu uveden pouze název vysvětlující proměnné, tak se jedná o kategoriální proměnnou, která je ve vzorci zastoupena pouze regresním koeficientem.

tab. 32. 10. model vjezdu OK ze závažnosti

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficient	Střední chyba	95% interval spolehlivosti		Test významnosti		
			Dolní mez	Horní mez	Testové kritérium	Stupeň volnosti	Dosažená hladina významnosti
Konstanta	-2,940	0,8171	-4,541	-1,338	12,946	1	0,000
RPDI	0,583	0,0566	0,472	0,694	106,103	1	0,000
α (0; 20)	-0,946	0,5698	-2,062	0,171	2,755	1	0,097
α (20; 40)	-1,239	0,5642	-2,345	-0,134	4,826	1	0,028
α (40; 60)	-1,212	0,5621	-2,314	-0,111	4,651	1	0,031
α (60; 80)	-1,178	0,5778	-2,311	-0,046	4,157	1	0,041
α (80; ∞)	0	-	-	-	-	-	-
Kolize	-0,009	0,0037	-0,016	-0,002	6,010	1	0,014
Odchylka úhlu mezi rameny	0,006	0,0028	0,001	0,012	4,811	1	0,028
PRSTENEC (NE)	0,703	0,0759	0,554	0,852	85,813	1	0,000
PRSTENEC (ANO)	0 ^a	-	-	-	-	-	-
BYPASS (NE)	-0,521	0,1007	-0,719	-0,324	26,812	1	0,000
BYPASS (ANO)	0 ^a	-	-	-	-	-	-
TYP VJEZDU 1	-1,996	0,1415	-2,274	-1,719	199,065	1	0,000
TYP VJEZDU 2	-	-	-	-	-	-	-
TYP VJEZDU 3	-1,277	0,1381	-1,548	-1,006	85,551	1	0,000
TYP VJEZDU 4	0	-	--	-	-	-	-
Zástavba (NE)	0,188	0,0789	0,033	0,343	5,680	1	0,017
Zástavba (ANO)	-	-	-	-	-	-	-
Přechod (NE)	-0,133	0,0728	-0,275	0,010	3,336	1	0,068
Přechod (ANO)	-	-	-	-	-	-	-
Disperzní parametr	0,673	0,888	0,519	0,871	-	-	-

Tento model obsahuje vysvětlující proměnnou RPDJ, úhel na vjezdu α , kolizi, odchylku úhlu mezi rameny, výskyt poježděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu, zástavbu, výskyt přechodu pro chodce.

Regresní koeficienty nabývají obdobných hodnot jako u modelu 9. Přechod pro chodce a úhel na vjezdu α kategorie (0; 20) však vykazují vyšší hladinu významnosti, ale stále < 10 %. Celková variabilita modelu byla stanovena na 37,00 %.

4.4. Srovnání modelů: dopravní nehody a závažnost

Za účelem rozšíření a zkvalitnění modelu nehodovosti byl model nehodovosti OK agregován na kvadranty jednotlivých vjezdů v letech jejich existence. Současně byla použita nová vysvětlovaná

proměnná, která rozšířila počet DN o závažnost. V následující tab. 33. jsou prezentovány výsledné tvary vybraných čtyř modelů.

První model pochází z prezentované studie nehodovosti na OK ve čtyřech evropských státech. Tento model byl vyjádřen z DN pouze se zraněním, jelikož se DN jen s hmotnou škodou v některých zemích Evropy nehlásí policii. V tomto modelu byly identifikovány významné vysvětlující proměnné: RPDI, úhel na vjezdu α a šířka vjezdu w_{in} . Model vykázal velmi nízkou hodnotu disperzního parametru a AIC, což je pozitivní hodnocení. Nízká hodnota celkové variability je však negativní hodnocení. Model obsahoval poměrně málo dat o bezpečnostních ukazatelích, což může vést k nízké hodnotě ukazatelů validity. Nízká hodnota variability vypovídá jen o minimální shodě s původním datovým vzorkem o DN. To může být zapříčiněno jinou metodikou sběru dat. Soubory proměnných OK byly vybrány ze čtyř zemí, čtyřmi metodikami.

tab. 33. Srovnání modelů vjezdu: vyjádřeno z DN a závažnosti

Vysvětlující proměnné	Regresní koeficienty				Dosažená hladina významnosti			
	Studie	Model 9 DN	Model 9 Závažnost	Model 10 Závažnost	Studie	Model 9 DN	Model 9 Závažnost	Model 10 Závažnost
konstanta	-3,935	-2,830	-3,056	-2,940	0,120	0,000	0,000	0,000
RPDI	0,424	0,583	0,589	0,583	0,071	0,000	0,000	0,000
α	-0,034	-	-	-	0,069	-	-	-
$\alpha \langle 0; 20 \rangle$	-	-0,934	-0,926	-0,946	-	0,003	0,105	0,097
$\alpha \langle 20; 40 \rangle$	-	-1,167	-1,199	-1,239	-	0,000	0,034	0,028
$\alpha \langle 40; 60 \rangle$	-	-1,152	-1,171	-1,212	-	0,000	0,038	0,031
$\alpha \langle 60; 80 \rangle$	-	-1,113	-1,146	-1,178	-	0,000	0,048	0,041
$\alpha \langle 80; \infty \rangle$	-	0	0	0	-	.	.	.
Kolize	-	-0,005	-0,009	-0,009	-	0,012	0,012	0,014
Odchylka uhlu mezi rameny	-	0,005	0,006	0,006	-	0,023	0,047	0,028
PRSTENEC (NE)	-	0,557	0,683	0,703	-	0,000	0,000	0,000
PRSTENEC (ANO)	-	0	0	0	-	.	.	.
BYPASS (NE)	-	-0,494	-0,527	-0,521	-	0,000	0,000	0,000
BYPASS (ANO)	-	0	0	0	-	.	.	.
Vjezd šířka	0,369	-	-	-	0,010	-	-	-
TYP VJEZDU 1	-	-1,810	-1,984	-1,996	-	0,000	0,000	0,000
TYP VJEZDU 2	-	-	-	-	-	-	-	-
TYP VJEZDU 3	-	-1,122	-1,261	-1,277	-	0,000	0,000	0,000
TYP VJEZDU 4	-	0	0	0 ^a	-	.	.	.
Zástavba (NE)	-	0,023	0,136	0,188	-	0,654	0,064	0,017
Zástavba (ANO)	-	0	0		-	.	.	.
Přechod (NE)	-	-	-	-0,133	-	-	-	0,068
Přechod (ANO)	-	-	-		-	-	-	.
Disperzní parametr	0,074	0,150	0,679	0,673	14,91 %	37,00 %	34,90 %	37,00 %
AIC	187,083	8129,059	5677,512	5676,161	-	-	-	-

Pro rozšíření byl proveden model 9 bezpečnosti na OK s těmito modifikacemi: rozšíření z modelu o 72 OK (z toho 13 ČR) na 200 OK pouze v ČR, segmentace OK na jednotlivé vjezdy (781 vjezdů), stavy vjezdů v jednotlivých letech a ověření jejich existence (6194 stavů vjezdů). Pro model byly dále identifikovány tyto významné proměnné: RPDl, úhel na vjezdu α , kolize, odchylka úhlu mezi rameny, výskyt pojižděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu. Regresní koeficienty dosáhly podobných hodnot včetně znamének.

Vysvětlující proměnná **úhel na vjezdu** α byla kategorizována. Výchozí předpoklad, že s rostoucím úhlem na vjezdu α je OK bezpečnější, se nepotvrdil. Nejbezpečnější interval úhlu na vjezdu je (20; 40) stupňů. Přípustný interval je (40; 60), (60; 80). Jako nepřipustné intervaly se prokázaly (0; 20) a více než 80 stupňů, to znamená, že vjezdy s malou hodnotou úhlu α jsou nebezpečné ($\alpha < 20$). Vjezdy s úhlem na vjezdu > 80 stupňů byly také prokázány jako nebezpečné. V této kategorii však bylo nalezeno malé množství dat. Proto by bylo vhodné tuto kategorii doplnit o vzorek dat a opět vyhodnotit. Z důvodu dalšího obsahového nárůstu této práce toto provedeno nebylo.

Vysvětlující proměnná **šířka na vjezdu** w_{in} byla transformována na proměnnou **typ vjezdu** (1 až 4, viz kapitolu 2.2.1., bod q.). Tato proměnná je kategoriální a je složena z proměnné počet pruhů na vjezdu a na okruhu v místě vjezdu. Jako nejlépe hodnocený se prokázal typ vjezdu 1 (1 pruh na okruhu, 1 pruh na vjezdu), což je ve shodě s výchozí evropskou studií [110.]. Ten prokázal, že s rostoucí šířkou vjezdu roste i očekávaný počet N . U jednoho pruhu na vjezdu se očekává menší šířka na vjezdu než u dvou pruhů. Nejhůře hodnocený typ vjezdu je 4. (2 pruhy na okruhu, 2 pruhy na vjezdu). Typ 2 se ve vzorku nevyskytl (1 pruh na okruhu, 2 pruhy na vjezdu).

Kolize je vysvětlující proměnná, která v modelu prokázala svůj vliv na bezpečnost. Jedná se o vzdálenost mezi bodem odpojení na výjezdu a bodem připojení vjezdu jednoho z ramen PK, které je napojeno do okružního pásu křižovatky. Tato vzdálenost souvisí s kapacitou vjezdu a také s rozhledem pro bezpečné zastavení. Regresní koeficient v modelu prokázal, že s rostoucí hodnotou kolize klesá očekávaný počet N .

Odchylka úhlu mezi rameny představuje směrodatnou odchylku úhlů, které mezi sebou svírají jednotlivé paprsky ramen křižovatky. Pokud je uspořádání paprsků (ramen) křižovatky pravidelné, hodnota odchylky nabývá nuly, to znamená, že model nebude ovlivněn. Ve chvíli, kdy dojde ke změně úhlu alespoň jednoho ramene, hodnota odchylky roste a spolu s ní roste i očekávaný počet N . Toto souhlasí s teorií uvedenou v ČSN 73 6102 [5.].

Výskyt pojižděného prstence představuje kategoriální proměnnou. V modelu byl prokázán vliv této proměnné, a to následovně: pokud se pojižděný prstenec na OK nevyskytuje, dochází k navýšení počtu očekávaných nehod N . Prstenec rozšiřuje plochu okružního pásu pro nadrozměrná vozidla. Prstenec zvětšuje také pohledovou plochu, která může řidiče upozornit na překážku, tzn. včasné upozornění. Plocha pojižděného prstence také usnadňuje manévrování rozměrných vozidel.

Výskyt bypassu představuje kategoriální proměnnou. V modelu byl prokázán vliv této proměnné, a to následovně: pokud se na vjezdu OK bypass nevyskytuje, očekává se nižší počet nehod N . Bypass přidává do oblasti křižovatky další kolizní bod, tzn. další lokalitu, kde je vyšší pravděpodobnost expozice jevu DN.

Model 9 byl dále experimentálně proveden pro vysvětlovanou proměnnou závažnost. Tato proměnná měla za cíl identifikovat vliv rychlosti na bezpečnost vjezdů OK. Rychlost je spojena s mechanismem DN a má přímý vliv na následky DN. V tomto modelu právě proměnná **zástavba** zastupuje rychlost. Pokud je vjezd OK v zástavbě, očekává se vyšší počet nehod *N*.

Z pohledu závažnosti bylo dále možné model 9 rozšířit o proměnnou **výskyt přechodu pro chodce**. Nehody s chodci se většinou neobejdou bez zranění. Jelikož je závažnost vyjádřena právě počtem a závažností zraněných osob, je logické předpokládat tuto proměnnou v modelu 10. Výsledkem je, že pokud se na vjezd vyskytuje přechod pro chodce, očekává se vyšší počet DN a vyšší závažnost.

Ze srovnání modelu 9 z pohledu četnosti DN a jejich závažnosti vyplývá, že regresní koeficienty nabývají obdobných hodnot a – co je důležité – stejných znamének. Tím je potvrzen předpokládaný trend (vliv) jednotlivých vysvětlujících proměnných na bezpečnost vjezdů.

4.5. Praktické využití

Následuje výčet případů užití funkce bezpečnosti modelu 8 (viz vzorec (54)) na vjezd OK pro konkrétní lokalitu křižovatky s označením H-1/4/26-26. Jedná se o OK na okraji zástavby se čtyřmi rameny o průměru 26 m. Příklady jsou uvedeny na jednotlivých kvadrantech (viz výřezy na obr. 55., obr. 57., obr. 59. a obr. 61.). Do uvedeného vzorce (54) byly dosazeny parametry jednotlivých vjezdů, viz následující tab. 34.

Z výsledných hodnot očekávaného počtu nehod *E* dle modelu 8 vyplývají, že zatížení (RPDI = expozice) a geometrie každého ramene má různý vliv. Pro hodnocení celé křižovatky lze výsledky sečíst (viz poslední sloupec tab. 34.).

tab. 34. Praktické využití modelu 8 na specifické OK: H-1/4/26-26

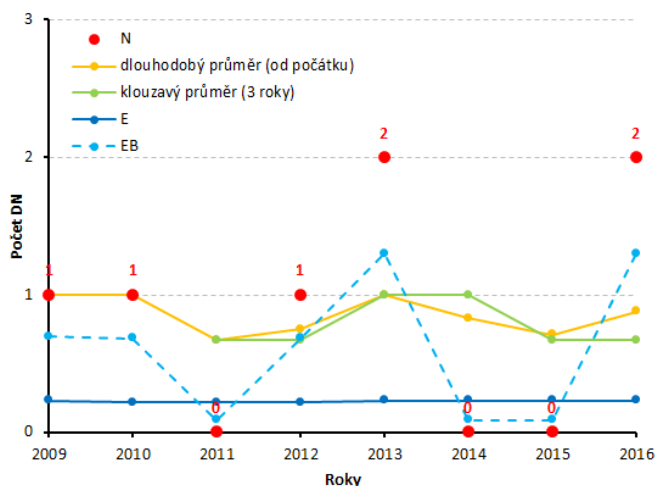
Období 2009–2016	Kvadrant 1 Rameno 1	Kvadrant 2 Rameno 2	Kvadrant 3 Rameno 3	Kvadrant 4 Rameno 4	Křižovatka
RPDI [voz/24 hod.] v letech 2009 až 2016	2499 až 2675	2195 až 2380	2201 až 2375	619 až 670	7541 až 8100
Úhel na vjezdu	2	14	21	17	Min. 2 / Max. 21 Průměr 13,5
Kolize	12	14	14	13	Min. 13 / Max. 14 Průměr 13,3
Odchylna mezi rameny	15,41	15,41	15,41	15,41	15,41
Výskyt prstence	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Výskyt bypassu	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Zástavba	Ano	Ne	Ne	Ano	Ano / Ne
Typ vjezdu	1	1	1	1	1
Okruh pruhy	1	1	1	1	1
Vjezd pruhy	1	1	1	1	1
Skutečný počet nehod prům. za rok / celkem	0,88 / 7	0,38 / 3	0,63 / 5	0,80 / 3	2,25 / 18
Očekávaný počet nehod za rok	0,22 až 0,23	0,21 až 0,22	0,17	0,10	0,7 až 0,72
Očekávaný počet za sledované období	1,76 až 1,84	1,68 až 1,76	1,36	0,8	5,6 až 5,76

4.5.1. Kvadrant 1: Rameno 1

Na obr. 55. je zobrazeno rameno 1 s typem vjezdu 1. Zobrazení skutečného počtu DN v grafu na obr. 56. je provedeno spolu s kritériem pro identifikaci kritické lokality. Dlouhodobý ani klouzavý průměr nejsou stabilní, jsou ovlivněny regresí k průměru. Kritérium stanovené na základě očekávaného počtu DN z funkce bezpečnosti vjezdu OK je výrazněji stabilnější, bez ovlivnění regrese k průměru, lokálními proměnnými a náhodnou složkou DN. Vjezd lze v pěti letech jeho existence hodnotit jako kritický na základě srovnání s ostatními lokalitami.



obr. 55. Rameno 1: DN



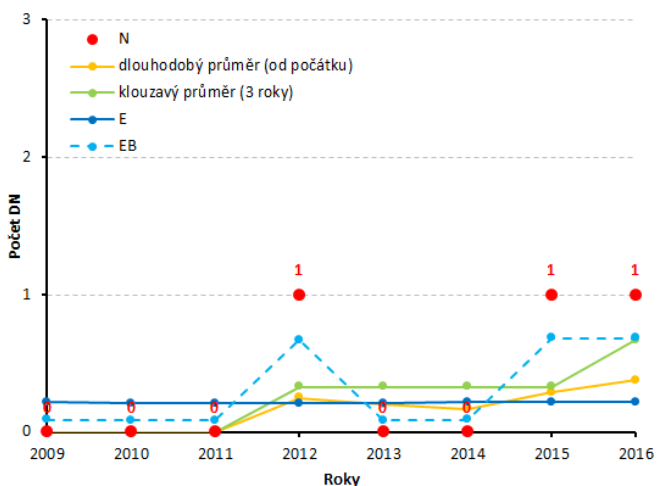
obr. 56. Hodnocení vjezdu 1

4.5.2. Kvadrant 2: Rameno 2

Na následujícím obrázku je opět zobrazen vjezd 1. typu, který byl ve třech z osmi let vyhodnocen jako kritický.



obr. 57. Rameno 2: DN



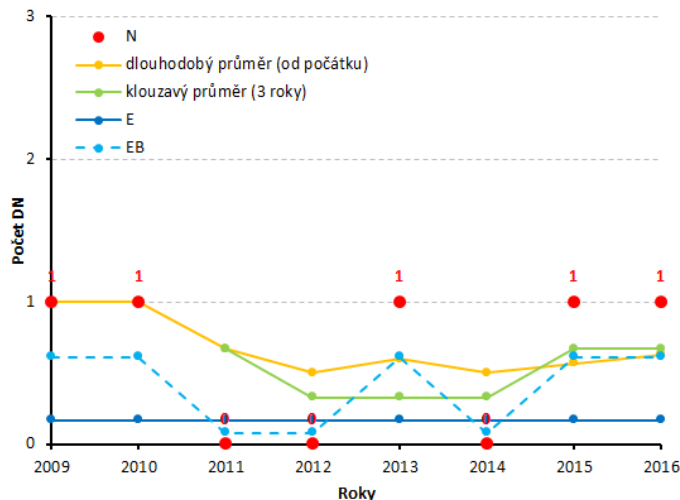
obr. 58. Hodnocení vjezdu 2

4.5.3. Kvadrant 3: Rameno 3

Na obrázku níže je prezentován další vjezd 1. typu, který byl v období pěti let z osmi kritickým.



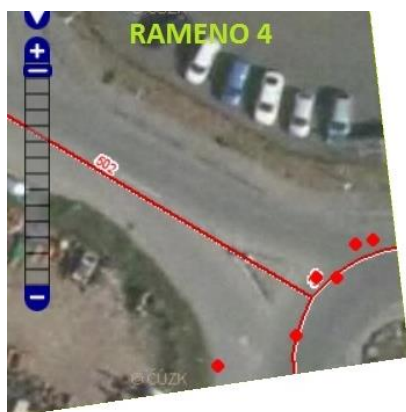
obr. 59. Rameno 3: DN



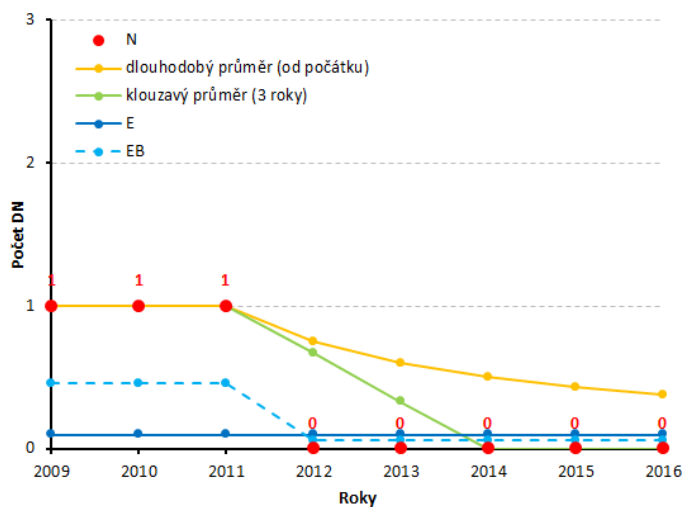
obr. 60. Hodnocení vjezdu 3

4.5.4. Kvadrant 4: Rameno 4

Vjezd 4 byl kritickým v prvních třech letech své existence.



obr. 61. Rameno 4: DN



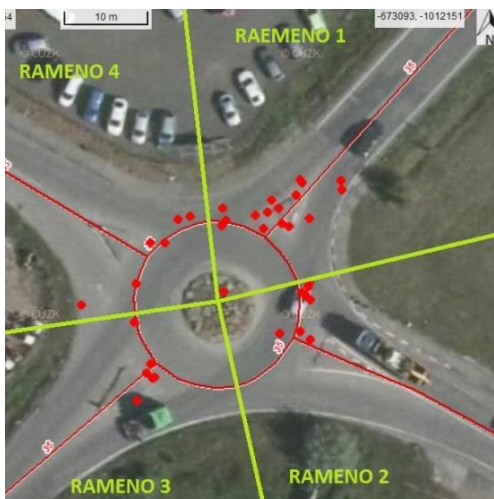
obr. 62. Hodnocení vjezdu 4

4.5.5. Křižovatka

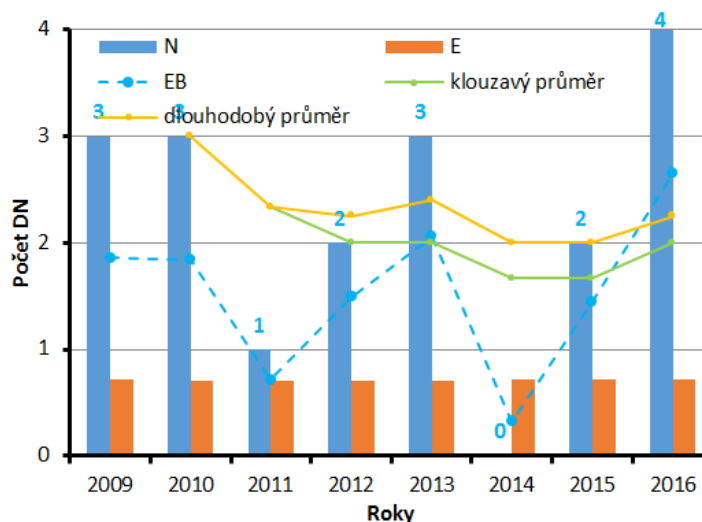
Složením jednotlivých kvadrantů předchozích vjezdů vznikne jedna celá OK. Na této OK bylo v uplynulých osmi letech možné sledovat kritické vjezdy. Pokud provedeme součet uskutečněných nehod a očekávaných nehod na celé OK dle jednotlivých vjezdů (viz vzorec (45)), zjistíme, že křižovatka je ve třech případech sledovaného období (8 let) pod hodnotou s označením kritická lokalita.

(45) Křižovatka – očekávaný počet DN

$$N_{OK} = N_{r_1} + \dots + N_{r_n}$$



obr. 63. Př. vjezd 4: DN



obr. 64. Hodnocení křižovatek

Pokud se však přihlédne ke kritériu stanovenému pomocí očekávaného počtu nehod na základě modelu z podobných lokalit, tak křižovatka nebyla kritickou lokalitou pouze v jednom roce. Je také možné přistoupit k opravě jen jednoho vjezdu (např. ramene 1 nebo 3).

4.5.6. Mapa hodnocení bezpečnosti okružních křižovatek v ČR

Mapa zobrazuje OK, které byly analyzovány pomocí multifaktorové statistické metody. Křižovatky byly seřazeny dle EB odhadu, který je měl za úkol ohodnotit jako nejkritičtější. Zobrazení je provedeno ve čtyřech kategoriích: horních 5 % EB odhadu (červené čtverečky), 10 % EB odhadu (oranžové čtverečky), 15 % EB odhadu (žluté čtverečky) a zbytek křižovatek (zelené čtverečky).

Šedá kolečka představují identifikované OK, u kterých nebylo možné funkci bezpečnosti sestavit, jelikož nebyla dostupná data o provozním zatížení. V budoucnu lze očekávat model kritických OK sestavený alespoň z jednoho vjezdu OK. PŘÍLOHA C. obsahuje podrobnější tabelizované výsledky, včetně zobrazení mapy.

4.6. Shrnutí a dílčí závěr

Za účelem rozšíření a zkvalitnění modelu nehodovosti byla funkce bezpečnosti OK transformována na kvadranty jednotlivých vjezdů a let jejich existence. Současně byla použita nová vysvětlovaná proměnná, která rozšířila počet DN o závažnost.

V původní prezentované studii [110.] byla sestavena funkce bezpečnosti pro celou OK, zahrnovala: RPDI, šířku na vjezdu w_m , úhel na vjezdu α a úhel na přímém průjezdu ω . Model sestavený v této práci však neuspěl z pohledu interní i externí validity. To bylo zapříčiněno „nevhodnou“ parametrizací vysvětlujících proměnných. Model byl sestaven pro OK jako celek. Pro odstranění této skutečnosti bylo provedeno transformování křižovatky na jednotlivé kvadranty (vjezdy).

Původní data o bezpečnostních ukazatelích obsahovala celkový součet uskutečněných DN na celé OK za celé sledované období 2009 až 2016, tedy 8 let. Při rozdělení OK na jednotlivé kvadranty bylo možné posílit variabilitu RPDI na vjezdu OK, která byla vyjádřena samostatně pro každý vjezd (kvadrant) OK zvlášť. Rozšíření modelu spočívalo především v zavedení tzv. stavů vjezdů v jednotlivých letech. Po provedení kontroly existence vjezdu a zachování jeho parametrů za období monitoringu bylo možné do modelu vložit 6194 stavů vjezdů.

Pro rozšíření byl proveden model 9 bezpečnosti na OK s těmito modifikacemi: rozšíření z modelu o 72 OK (z toho 13 ČR) na 200 OK pouze v ČR, segmentace OK na jednotlivé vjezdy (781 vjezdů), stavy vjezdů v jednotlivých letech a ověření jejich existence (6194 stavů vjezdů). Pro model byly dále identifikovány tyto významné proměnné: RPDI, úhel na vjezdu α , kolize, odchylka úhlu mezi rameny, výskyt pojižděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu.

Úhel na vjezdu má vliv na bezpečnost. Jeho hodnota byla kategorizována. Nejbezpečnější interval úhlu na vjezdu je (20; 40) stupňů.

Šířka na vjezdu má vliv na bezpečnost. V modelu byla transformována do typu vjezdu. Tato proměnná je kategoriální a je složena z počtu pruhů na vjezdu a na okruhu v místě vjezdu. **Počet pruhů na okruhu také prokázal svůj vliv na bezpečnost.** Jako nejlépe hodnocený se prokázal typ vjezdu 1 (1 pruh na okruhu, 1 pruh na vjezdu).

Kolize prokázala svůj vliv na bezpečnost. Jedná se o vzdálenost mezi bodem odpojení na výjezdu a bodem připojení na vjezdu jednoho ramene PK, které je napojeno do okružního pásu křižovatky. S rostoucí vzdáleností kolize klesá očekávaný počet DN.

Odchylka úhlu mezi rameny prokázala vliv na bezpečnost. Představuje směrodatnou odchylku úhlů, které mezi sebou svírají jednotlivé paprsky ramen křižovatky.

Výskyt pojižděného prstence prokázal svůj vliv na bezpečnost. V modelu byl prokázán vliv této proměnné, a to následovně: pokud se pojižděný prsteneček na OK nevyskytuje, dochází k navýšení počtu očekávaných nehod.

Výskyt bypassu prokázal svůj vliv na bezpečnost, a to následovně: pokud se na vjezdu OK bypass nevyskytuje, očekává se nižší počet nehod.

Ze srovnání modelu 9 z pohledu četnosti DN a jejich závažnosti vyplývá: regresní koeficienty nabývají obdobných hodnot a – co je důležité – stejných znamének. Tím je potvrzen předpokládaný trend (vliv) jednotlivých vysvětlujících proměnných na bezpečnost vjezdu.

Z pohledu závažnosti bylo dále možné model rozšířit o zástavbu a výskyt přechodu pro chodce. Pokud se na vjezdu vyskytuje přechod pro chodce, lze očekávat vyšší počet nehod a vyšší závažnost zranění.

Byla sestavena mapa, která zobrazuje kritické OK (viz PŘÍLOHA C.).

5. Ověření modelu nehodovosti

Validace modelu je určena ke kontrole výsledných regresních koeficientů a jejich znamének (ve smyslu zajištění vypovídající hodnoty modelu, aby byl model vypovídající a aplikovatelný i v jiných kontextech). Validace slouží k objektivnějšímu a méně zkreslenému odhadu celkové chyby modelu. Dále slouží pro výběr nejvhodnějšího modelu, zajištění stability modelu, k výběru proměnných do modelu a jako kontrola jeho obecné platnosti. Cílem je vybrat nejjednodušší model vysvětlující největší množství informací (viz publikaci Hoggarth 2015 [111.]).

Validita reprezentuje požadavek vhodnosti, logiky a použitelnosti modelu. Kvalita (goodness-of-fit) samotného modelu obvykle nestačí (viz publikaci Miaou and Lord 2003 [112.]), požaduje se také logika modelu (goodness-of-logic). Rozlišujeme tedy dva druhy validity. Interní validita je schopnost modelu vysvětlit modelovaný fenomén. Externí validita je schopnost modelu predikovat proměnnou v čase a prostoru.

5.1. Omezení modelu

Hlavní omezení modelu spočívá v jeho zobecnění nebo jeho přenositelnosti ve vazbě na okrajové podmínky. Omezení modelu je dáno rozsahem vstupních hodnot použitých vysvětlujících proměnných (tj. okrajových podmínek). Pro model představený touto prací jsou okrajové podmínky proměnných následující (viz tab. 35.):

tab. 35. Rozsah použitelných hodnot vysvětlujících proměnných

	RPDI (voz/24 hod)	Alfa (stupně)	Kolize (m)	Odchylna Úhlů na vjezdu (stupně)	Výskyt pojižděného prstence	Výskyt bypassu	Typ vjezdu	
							Pruhy na okruhu	Pruhy na vjezdu
Min.	5	0	0	0	0 = ne	0 = ne	1	1
Max.	24520	82	106	61	1 = ano	1 = ano	2	2

5.2. Vhodnost vysvětlujících proměnných v modelu

Validační techniku reprezentuje např. Akaikeho informační kritérium (AIC) založené na opakovaném použití pozorování (např. srovnání pravděpodobnostního rozdělení výskytu). Validační informační kritérium penalizuje počet proměnných v modelu. Výsledný model by měl být kompromisem mezi složitostí modelu a jeho přesností. Informační kritéria se používají nejčastěji pro parametrickou regresi, kdy se vybírá optimální model z modelů obsahujících různý počet vysvětlujících proměnných (lze je užít i pro neparametrické techniky).

5.2.1. Akaikeho informační kritérium (AIC)

Slouží pro srovnání dvou a více modelů, které byly modelovány na stejném souboru dat, ale liší se svými proměnnými. AIC je určeno pro posouzení schopnosti různých modelů vysvětlit variabilitu v pozorovaných datech. Vzorec následuje:

$$(46) \text{ Akaikeho informační kritérium (AIC)} \quad AIC = 2 \cdot k - 2 \cdot \ln(L) \quad [-]$$

kde je

k počet proměnných v modelu,
 L variabilita vyčerpaná modelem (max. věrohodný odhad).

AIC představuje nástroj statistiky, který zohledňuje jak věrohodnost modelu, tak jeho složitost. Preferovány jsou modely s nižšími hodnotami AIC. Indikují lepší schopnost modelu odpovídat

pozorovaným datům (**čím je menší, tím vhodnější je navržený model**). AIC je nutné srovnávat mezi modely, které mají stejný datový základ.

5.2.2. Bayesovo informační kritérium (BIC)

Empirická bayesovská metoda je podrobně rozebrána v kapitole 3.4.1. BIC je oproti AIC intenzivnější. Penalizuje za počet parametrů v modelu. V porovnání s AIC vybírá modely s menším počtem vysvětlujících proměnných (model je někdy až příliš chudý). Nejvhodnější model je ten, který má nejnižší hodnotu BIC. Následuje vzorec pro výpočet kritéria:

$$(47) \text{ Bayesovo informační kritérium (BIC)} \quad BIC = -2 \cdot L + k \cdot \ln(n) \quad [-]$$

kde je

k počet proměnných v modelu,
 L variabilita vyčerpaná modelem (max. věrohodný odhad),
 n je počet pozorování.

V této práci je pro hodnocení modelu užito AIC. V práci [110.] je pro upřesnění kritických nehodových lokalit použita Bayesova empirická metoda, kde stanovuje EB odhad a bezpečnostní potenciál, viz kapitolu 3.4.1.

5.2.3. Disperzní parametr

Disperzní parametr vychází z distribuční funkce vysvětlované proměnné (viz metodiku MFA [58.], Persaud 2001 [90.], Reurings a spol. 2005 [82.]). Obvykle souhlasí s rozptylem distribuce (např. Poissonovo rozdělení). Data o DN jsou však v modelu reprezentována negativně-binomickým pravděpodobnostním rozdělením (NB), jehož rozptyl je definován následovně:

$$(48) \text{ Rozptyl NB} \quad var(Y) = \mu + k \cdot \mu^2 \quad [-]$$

Rozptyl NB je roven průměru hodnot proměnné μ a jeho přírůstku $k \cdot \mu^2$, kde k je disperzní parametr, který se mění v průběhu modelování (viz Reuring at al. 2005 [82.]). Taktéž slouží k hodnocení kvality modelu. **Pokud je rozptyl modelovaných dat pomocí modelu vyšší než průměr dat, došlo k nadměrné disperzi.** Parametr pak představuje nadměrný rozptyl (v opačném případě podprůměrný). Cílem tohoto parametru je hledat model s jeho nejmenší hodnotou.

5.2.4. Celková variabilita

Celková variabilita sestaveného modelu pomocí GLM metody je také ověřena koeficientem determinace, viz následující vzorec (49). V klasickém modelu se výstižnost modelu (těsnost proložení) vyjadřuje obvykle pomocí koeficientu determinace, jako podíl součtu čtverců závisle proměnné vysvětlované modelem a vysvětlující proměnné.

$$(49) \text{ Koeficient determinace} \quad R^2 = 1 - \frac{S_{model}}{S_{data}} \quad [-]$$

Pro účely této práce hodnotou koeficientu rozumíme veličinu, kde S_{model} je součet čtverců z očekávaného počtu DN (závažnosti) stanoveného modelem a S_{data} je součet čtverců z původních hodnot DN, které do modelu vstupovaly na počátku.

V modelu lineární regrese s absolutním členem leží hodnota R^2 v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$ a udává, jaký podíl rozptylu v pozorování závislé proměnné se podařilo regresí vysvětlit (větší hodnoty znamenají větší úspěšnost). Obdobně lze použít i následující vzorec:

$$(50) \text{ Podíl systematické variability} \quad SV = 100 \% - \frac{\text{disperzní parametr}_{model}}{\text{disperzní parametr}_{data}} \quad [\%]$$

5.2.5. Hladina významnosti: signifikance proměnné v GLM

Model lze vytvářet dopřednou selekcí, nebo zpětnou eliminací; oba způsoby by měly ideálně vést ke stejnému výsledku. Výběr proměnných se může řídit dosaženou hladinou významnosti (signifikancí) – čím nižší, tím lepší (Ceunynck a spol. 2012 [87.] a Hilbe 2011 [113.]).

5.3. Interní validita

Interní validitu lze ověřit srovnáním jednotlivých regresních koeficientů u vysvětlujících proměnných s výsledky jiných studií (literatury), nebo lze sledovat vývoj těchto regresních koeficientů v průběhu modelování mezi jednotlivými verzemi modelu a v průběhu jeho vývoje.

Pro zajištění interní validity je také vhodné provést vizuální kontrolu průběhu funkcí jednotlivých proměnných, nebo zobrazení vývoje elasticity, či marginálního efektu. Elasticita i marginální efekt ukazují míru změny vysvětlované proměnné v závislosti na změně vysvětlující proměnné za předpokladu, že ostatní proměnné zůstávají konstantní.

Elasticita E_x^N určuje, o kolik procent se změní vysvětlovaná proměnná jako reakce na změnu vysvětlující proměnné právě o 1%. Elasticita je vhodná pro vyjádření změny u relativních proměnných.

$$(51) \text{ Elasticita} \quad E_x^N = \frac{\partial N}{N} \cdot \frac{X}{\partial X} = \beta \cdot X \quad [-]$$

Marginální efekt ME_x^N určuje, o kolik jednotek se mění vysvětlovaná proměnná jako reakce na vysvětlující proměnnou. Je vhodná např. pro vyjádření změny vlivu úhlu na vjezd na nehodovost.

$$(52) \text{ Marginální efekt} \quad ME_x^N = \frac{\partial N}{\partial X} = \beta \cdot \exp(\beta \cdot X) \quad [-]$$

5.4. Externí validita

Externí validita představuje kvalitu modelu, nebo jeho schopnost predikovat vysvětlovanou proměnnou pro nadcházející období. Lze ji ověřit dvěma způsoby:

Srovnání modelu dvou podmnožin A a B z množiny celého souboru vstupních dat. Pro tyto podmnožiny jsou stejným způsobem vytvořeny modely (funkce bezpečnosti) se stejnými proměnnými. Podmnožiny lze vytvořit s prostorovým (skupiny křížovatek A a B dle jejich typu) nebo časovým dělením (období 2009–2012 a 2013–2016).

Srovnání celkového modelu A+B s výběrovým modelem A. Vytvořený model z množiny celkových vstupních dat se srovná s modelem vytvořeným z náhodně vybrané podmnožiny, který se aplikuje na zbývající data v poměru 80 % : 20 % (viz publikaci Hilbe 2011 [113.]).

Pro porovnání shody validity modelů byl v této práci využit ukazatel MSPE (mean-squared predictive error): průměr kvadrátů odchylek mezi pozorovaným a očekávaným počtem DN.

(53) MSPE

$$MSPE = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{N}_i - N_i)^2}{n} \quad [-]$$

5.5. Praktické využití

Výsledný model charakterizující bezpečnost na vybraných OK v ČR lze zapsat jako následující rovnici (54). V této kapitole bude ověřena interní a externí validita pomocí regresních koeficientů a MSPE.

5.5.1. Interní validita

(54) 8. model vjezdu OK z DN

[počet N]

$$N = e^{-2,800} \cdot RPD I^{0,583} \cdot e^{(\alpha)} \cdot e^{(-0,005 \cdot kolize)} \cdot e^{(0,005 \cdot odchylkaR)} \cdot e^{(PRSTENEC)} \cdot e^{(BYPASS)} \cdot e^{(TYP VJEZDU)}$$

Model 8 obsahuje jak spojité, tak kategoriální vysvětlující proměnné, jejichž znaménka jsou záporná nebo kladná v závislosti na jejich vlivu na vznik DN. Z rovnice funkce bezpečnosti (model 8) lze vyjádřit dílčí vliv vysvětlující proměnné na vysvětlovanou četnost DN. Ten je součinem konstanty a jednotlivých regresních koeficientů, viz následující:

(55) Dílčí model: vliv RPD I

$$N = e^{-2,800} \cdot RPD I^{0,583} \quad [\text{počet N}]$$

(56) Dílčí model: úhel na vjezdu

$$N = e^{-2,800} \cdot e^{\alpha} \quad [\text{počet N}]$$

(57) Dílčí model: kolize

$$N = e^{-2,800} \cdot e^{(-0,005 \cdot kolize)} \quad [\text{počet N}]$$

(58) Dílčí model: odchylka R

$$N = e^{-2,800} \cdot e^{(0,005 \cdot odchylkaR)} \quad [\text{počet N}]$$

(59) Dílčí model: výskyt prstence

$$N = e^{-2,800} \cdot e^{PRSTENEC} \quad [\text{počet N}]$$

(60) Dílčí model: výskyt bypassu

$$N = e^{-2,800} \cdot e^{BYPASS} \quad [\text{počet N}]$$

(61) Dílčí model: typ vjezdu

$$N = e^{-2,800} \cdot e^{TYP VJEZDU} \quad [\text{počet N}]$$

Srovnání konstanty a regresního koeficientu vysvětlující proměnné RPD I je uvedeno v následující tab. 36. ve srovnání s jinými studii.

tab. 36. Srovnání základních modelů OK

Proměnná	Dizertační práce	Evropská studie	USA	Nový Zéland
Konstanta	0,0608	0,002	0,0013	0,00173
RPDI*	0,583	0,458	0,5923	0,530

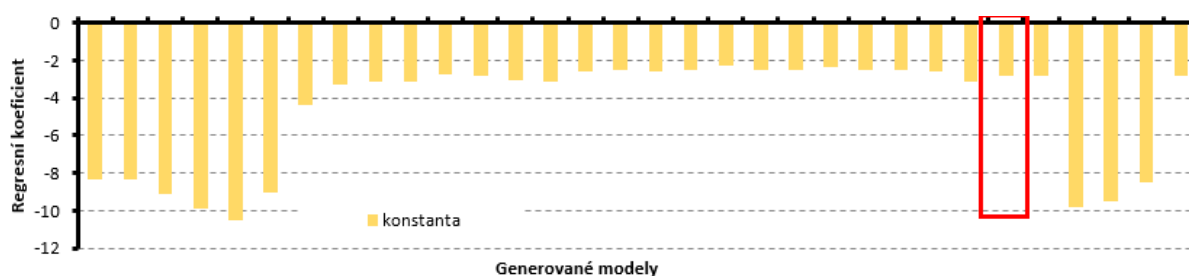
Poznámka: Regresní koeficienty byly převzaty z publikace Ambros a Novák 2016 [110].

Regresní koeficient RPD I stanovený touto dizertační prací se podobá koeficientům i z jiných studií. Konstanta modelu se liší o řád. Pravděpodobně je to způsobeno vlivem RPD I ze vzorku. V této studii jsou prezentovány jednotlivé vjezdy OK (nízká hodnota RPD I), v ostatních jsou prezentovány součty všech vjezdů do OK (vysoká hodnota RPD I). Dále se také jedná o vliv hodnoty bezpečnostního ukazatele (počet DN). U dalších modelů je to způsobeno také vlivem počtu proměnných v modelu.

Následuje srovnání regresních koeficientů jednotlivých vysvětlujících proměnných, které byly ve výsledném modelu (model 8, viz vzorec (42) na straně 91) ponechány pro svoji stabilní vypovídající

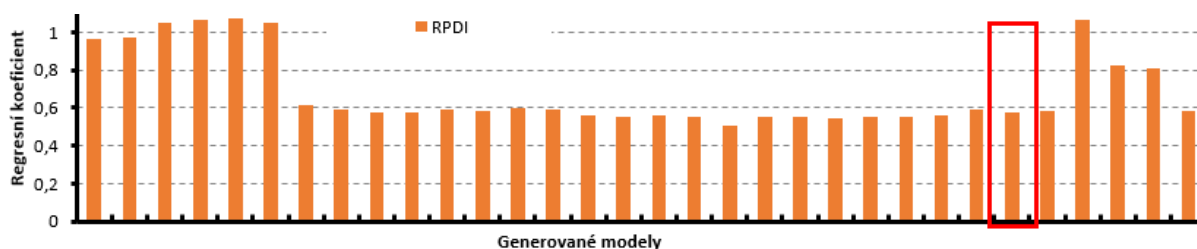
hodnotu. V této práci bylo generováno cca 150 modelů s různými kombinacemi proměnných. V případě, že v některých grafech hodnota koeficientu proměnné chybí, nebyla do modelu zahrnuta. Na ose x jsou zobrazeny postupně vytvářené (generované) modely, které byly sestaveny dopřednou metodou. Na ose y jsou zobrazeny hodnoty jednotlivých regresních koeficientů. V červeném rámečku je označen výsledný model (hodnota regresního koeficientu).

Na obr. 65 jsou zobrazeny hodnoty konstanty v průběhu vývoje modelu nehodovosti vjezdu OK. V prvních modelech byla konstanta vyčíslena pouze spolu s proměnnou RPDI v modelu. To mělo za následek její vysokou hodnotu. Potom došlo k přidání dalších proměnných, které její hodnotu snížily. Výsledná hodnota konstanty je zobrazena v červeném rámečku.



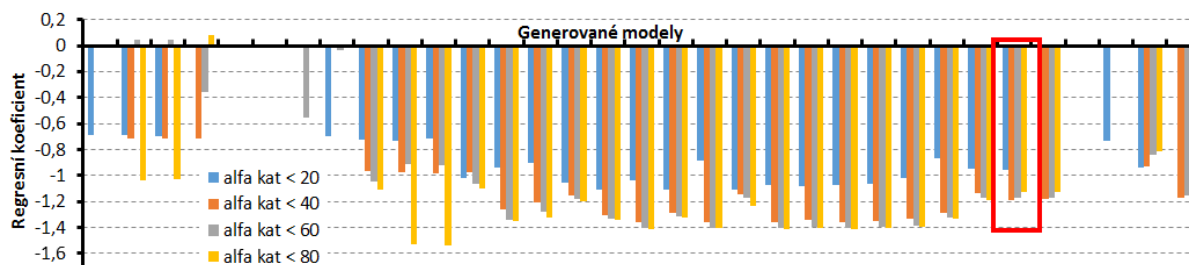
obr. 65. Vývoj regresních koeficientů: konstanta

Na obr. 66 jsou zobrazeny hodnoty regresních koeficientů proměnné RPDI. Koeficient se ustálil v případě změny charakteru proměnné úhel na vjezdu α formou kategorie. Výsledná hodnota je v červeném rámečku. Poslední čtyři modely vykazují změnu vlivem dalších nevýznamných proměnných.



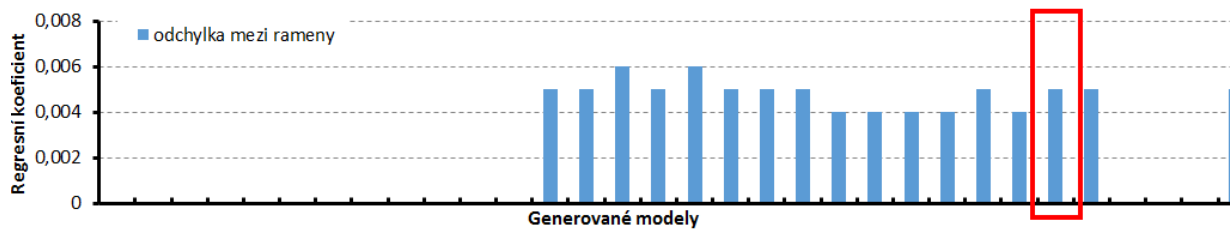
obr. 66. Vývoj regresních koeficientů: RPDI

Průběh vývoje regresních koeficientů proměnné úhlu na vjezdu α v jednotlivých kategoriích vykazuje podobnost (viz obr. 67.). Nejhůře hodnocena je kategorie $\alpha < 20^\circ$ a $> 80^\circ$.



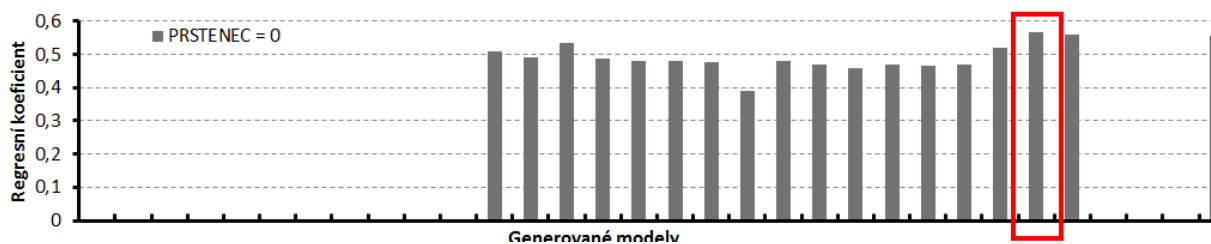
obr. 67. Vývoj regresních koeficientů: úhel na vjezdu α

Průběh vývoje regresního koeficientu odchylky úhlů mezi rameny (viz obr. 68.) také vykazuje stabilitu.



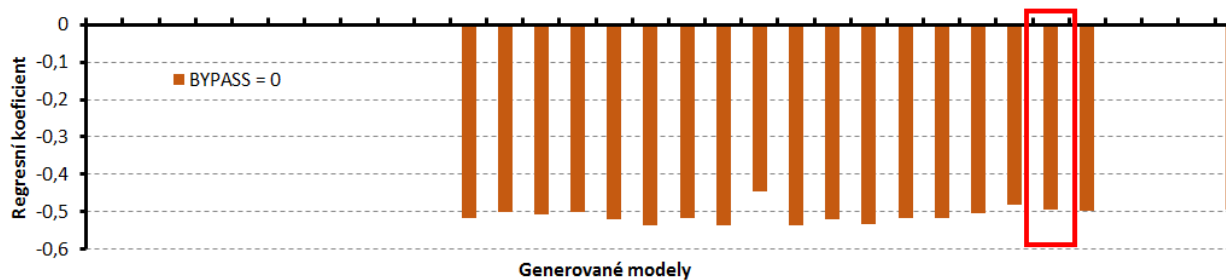
obr. 68. Vývoj regresních koeficientů: odchylka R

Průběh vývoje regresního koeficientu výskytu pojižděného prstence na OK také vykazuje stabilitu (viz obr. 69.). Druhá kategorie výskytu prstence, tj. bez výskytu, byla v GLM zvolena za srovnávací, to znamená, že je v modelu zobrazena nulovou hodnotou.



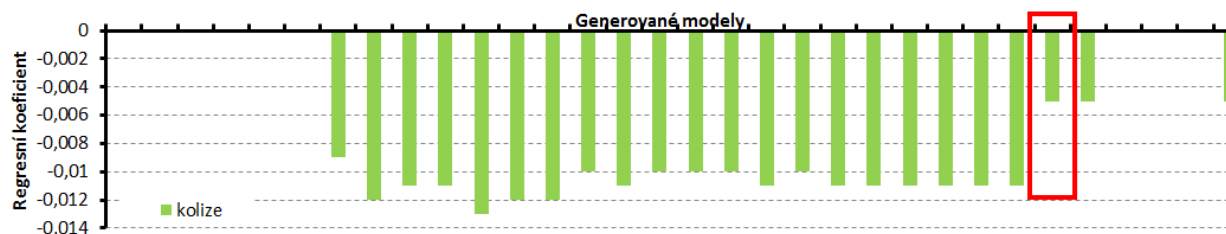
obr. 69. Vývoj regresních koeficientů: výskyt prstence (ne)

Průběh vývoje regresního koeficientu bez výskytu bypassu na vjezdu OK také vykazuje stabilitu (viz obr. 70.). Druhá kategorie s bypassem byla v GLM zvolena za srovnávací, tzn. v modelu se zobrazuje jako 0.



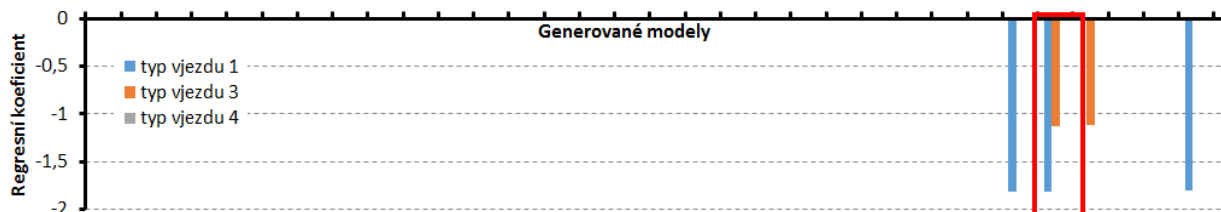
obr. 70. Vývoj regresních koeficientů: výskyt bypassu (ne)

Vývoj regresního koeficientu proměnné kolize (viz obr. 71.) zaznamenal změnu ve chvíli, kdy byla do modelu přiřazena vysvětlující proměnná typ vjezdu (viz obr. 72.).



obr. 71. Vývoj regresních koeficientů: kolize

Tyto proměnné spolu pravděpodobně souvisí, i když nebyla prokázána jejich korelace. Typ vjezdu 2 se ve zkoumaném souboru OK nevyskytl.



obr. 72. Vývoj regresních koeficientů: typ vjezdu

5.5.2. Externí validita

Pro ověření externí validity byl zvolen způsob **srovnání celkového modelu A + B s výběrovým modelem A**. Pro porovnání shody validity modelů byl v této práci využit ukazatel MSPE. Bylo realizováno 5 testů u jednotlivých podmnožin A a B, které rozdělily vstupní soubor dat (vjezdy OK) na 80 a 20 %.

Množiny A + B představují data, která sloužila pro ověření celkového výsledného modelu 8 (viz vzorec (42) na straně 91 této práce). Z dat množiny A + B byly stanoveny regresní koeficienty modelu 8 a byl stanoven počet nehod N , který byl srovnán se skutečným počtem DN v podmnožině B. Byla stanovena $MSPE^{A+B}$, viz následující vzorec:

$$(62) \quad MSPE^{A+B} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{N}_i^{A+B} - N_i)^2}{n} \quad [-]$$

Z dat podmnožiny A byly stanoveny regresní koeficienty testovaného modelu 8, ze kterého byl stanoven očekávaný počet nehod N . Výsledek byl srovnán se skutečným počtem zaznamenaných DN v podmnožině B. Dále byla stanovena $MSPE^A$, viz následující vzorec:

$$(63) \quad MSPE^A = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{N}_i^A - N_i)^2}{n} \quad [-]$$

Následuje organizace vstupních dat pro stanovení $MSPE^A$ dle modelu 8 z podmnožiny A a srovnávacích dat podmnožiny B dle pořadového identifikátoru vjezdu OK. Bylo provedeno 5 testů.

tab. 37. Podmnožiny v externí validaci

ID vjezd (OD – DO)	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
1–1038	A	A	A	A	B
1039–2076			B	A	A
2077–3114		B	A		
3115–4152		B	A		
4153–5193	B	A			

Externí validitu lze posoudit na základě srovnání podobnosti hodnot $MSPE^{A+B}$ a $MSPE^A$. Jejich hodnoty spolu s absolutním rozdílem (0,88 až 2,79 %) jsou uvedeny v následující tabulce:

tab. 38. Externí validace MSPE

ID vjezd (OD – DO)	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
$MSPE^{A+B}$	0,785	0,786	0,650	0,835	1,076
$MSPE^A$	0,792	0,793	0,660	0,859	1,095
Absolutní rozdíl	0,88 %	0,88 %	1,51 %	2,79 %	1,74 %

5.6. Shrnutí a dílčí závěr

Validita vypovídá o vhodnosti, logice a použitelnosti modelu (funkce bezpečnosti). Rozlišují se dva druhy validity: interní (schopnost modelu vysvětlit bezpečnost) a externí (schopnost modelu predikovat nehody v čase).

Interní validita prokázala, že znaménka a velikost regresních koeficientů jsou podobné a v souladu s ostatními studii.

Externí validita pomocí 5 testů MSPE podmnožiny A a B potvrdila, že výsledná chyba modelu je přijatelná.

6. Shrnutí a závěry

Název dizertační práce je *Analýza návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vliv na nehodovost*. Tato práce se nezabývala rozvojem metodologie multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti, ale její aplikací na konkrétní prvek dopravní infrastruktury. Metody z části v zahraničí již běžně používané, ale současně i rozvíjené byly pouze použity v českém prostředí, kde se doposud tato metoda využila pouze ve VaV projektu s názvem IDEKO [153.].

6.1. Shrnutí aktivit

- 1) Rešerše tuzemské ale i zahraniční literatury.
- 2) Vytipování návrhových prvků OK.
- 3) Sběr dat na území ČR.
- 4) Analýza dat: kontrola konzistence datového souboru.
- 5) Oprava dat: doplňkový sběr dat.
- 6) Explorační analýza: ověření normality a korelace proměnných.
- 7) Příprava proměnných v prostředí SPSS.
- 8) Variace GLM modelů v SPSS.
- 9) Vyhodnocení modelů.
- 10) Dělení OK na kvadranty.
- 11) Opětovné vyhodnocení dat pomocí GLM.
- 12) Rozšíření dat pomocí závažnosti.
- 13) Ověření modelu nehodovosti.
- 14) Diskuze.
- 15) Závěr.

6.2. Odpovědi na výzkumné otázky

Za hlavní hypotézu této práce lze považovat **závislost bezpečnosti křižovatky na úhlu na přímém průjezdu křižovatkou**. Úhel ω na přímém průjezdu OK zatím nemá v českých předpisech pevnou oporu. V praxi úhel představuje manévr vozidla při přímém průjezdu křižovatkou na okružním pásu křižovatky, tj. zda řidič musí otočit volantem, aby projel do protilehlého výjezdu, nebo volantem zásadně nereaguje. To znamená, že projede přímo bez omezení nebo reakce na křižovatku.

Význam úhlu na přímém průjezdu ω se pomocí multifaktorové metody (GLM) nepodařilo prokázat. Tato proměnná nevykázala v generovaných modelech bezpečnosti statistickou významnost. Nebyla prokázána ani podobnost hodnoty znamének regresních koeficientů s výsledky jiných studií.

Generované modely bezpečnosti 8, 9 a 10 však potvrdily významnost, tzn. vliv úhlu na vjezdu α . Nejbezpečnější interval úhlu na vjezdu je (20; 40) stupňů. Nejhorší následky z pohledu nehodovosti nastávají, pokud úhel na vjezdu nabývá hodnot (0; 20) stupňů. Tato proměnná koreluje s úhlem na přímém průjezdu ω . Dle zásad GLM metody není vhodné korelující proměnné v modelech používat. Úhel na vjezdu α je spojen s parametry vjezdu OK, což je místo nejčastějších nehod v oblasti křižovatky. Jeho hodnota také koreluje s poloměrem vjezdu R_{in} a podélnou deflexí trajektorie přímého průjezdu.

V úvodu práce byly stanoveny následující otázky, které se na základě dílčích závěrů a postupu práce pokusím zodpovědět:

a. Jsou OK jedním z nejbezpečnějších typů uzlů na síti PK?

Díky statistice dopravní nehodovosti PČR se podařilo zjistit, že se na OK odehrává nejmenší podíl nehod se zraněním. Ke smrtelným zraněním dochází jen ojediněle. Ze studie Ambros, Turek, Janoška (2016) [130.] vyplývá, že četnost nehod je na OK nižší v porovnání s běžnými úrovnovými křižovatkami.

Transformace standardního typu křižovatky na OK má pozitivní účinky. OK v ČR vykazují vyšší četnost nehod než jiných zemí EU.

b. Zaručují vždy OK bezpečnost lokality na PK z principu, nebo se jedná pouze o mylně interpretovaný závěr převzatý ze zahraničí nebo z doslechu?

V práci byla provedena analýza průjezdu měřicího vozidla OK. Průjezd byl proveden v době minimálního dopravního zatížení. Analyzovány byly pouze neovlivněné průjezdy. Na základě průjezdů bylo možné identifikovat závislost mezi směrovými úhly a rychlostí vozidla v jednotlivých bodech polygonu.

Realizací středového ostrova křižovatky dochází ke vzniku přirozené bariéry, kterou je vozidlo nuceno objet vpravo ve směru jízdy okružním pásem. Aby se vozidlo na tento pás dostalo, musí překonat vjezd a změnit směr své jízdy. Tato změna je dána úhlem na vjezdu α . Tento úhel koreluje s okamžitou rychlostí vozidla ve vzdálenosti 50 m před vjezdem křižovatky s rychlostí v místě napojení křivky a v místě vjezdu. Korelace však postupně klesá. Dále pak rychlost koreluje s úhlem na přímém průjezdu ω . Úhel na vjezdu α je tedy spojen s vjezdovou rychlostí vozidel.

Ze statistiky DN PČR [114.] vyplývá, že se na OK odehrává menší počet nehod se zraněním. Je zde také prokazatelně nižší četnost zranění i z pohledu závažnosti. OK jsou tedy z pohledu závažnosti zranění bezpečnější.

c. Je vhodné umožňovat přímý průjezd vozidlům na okružním pásu OK?

S úhlem na přímém průjezdu ω korelují i další návrhové prvky vjezdu OK jako je: úhel na vjezdu α , poloměry na vjezdu a výjezdu a poloměr trajektorie vozidla na průjezdu a jeho rychlost. Vyšší hodnoty úhlu na přímém průjezdu ω motivují řidiče k nižší rychlosti. Zvyšuje se tak reakční doba řidiče. Následky na DN jsou nižší. V modelu byl vliv parametrů průjezdu prokázán pomocí úhlu na vjezdu α . Nejbezpečnější interval úhlu na vjezdu α je (20; 40)°. Přípustný interval je (40; 60) a (60; 80). Jako nepřípustné intervaly se prokázaly (0; 20) a více než 80 stupňů, to znamená, že vjezdy s malou hodnotou úhlu na vjezdu jsou nebezpečné ($\alpha < 20$). Přímý průjezd vozidel na OK tedy není vhodný.

d. Stávají se na OK charakteristické nehody?

Na OK se stává mnoho typů nehod. Nejméně časté jsou ty se smrtelnými následky účastníka. Nejčastější místo vzniku DN je na vjezdu křižovatky z důvodu nevhodného způsobu jízdy (spojeno s rychlostí) a nedání přednosti v jízdě (také spojeno s rychlostí a rozhledem). Nejčetnější skupinou nehod jsou nehody jen s hmotnou škodou.

e. Vede vyšší hodnota RPD1 na vjezdu OK k vyšší nehodovosti?

Ano, vyšší hodnota RPD1 vede k vyššímu počtu nehod N. V modelu nehodovosti vjezdu OK, bylo dosaženo kladného znaménka regresního koeficientu b u proměnné RPD1. Kladné znaménko se nalézá jak v jednoduchém tvaru modelu ($b=1,068$ a to pouze s proměnnou RPD1), tak ve výsledném modelu ($b=0,583$ s více proměnnými viz vzorec (42)) obsahujícím proměnné RPD1, úhel na vjezdu α , kolizní vzdálenost, odchylku úhlů mezi rameny, výskyt pojížděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu.

f. Mají OK nalézající se v intravilánu nižší nehodovost než OK v extravilánu?

Model nehodovosti na vjezdu OK sestavený na základě závažnosti nehod prokázal, že vjezdy křižovatky nalézající se mimo zástavbu ($b=0,188$) vykazují vyšší očekávaný počet nehod N než nalézající

se v zástavbě ($b=0$). Lze říci, že na vyšší nehodovost má vliv vyšší rychlost vozidel. Toto vyplývá i ze statistiky DN PČR [114.].

g. Jsou OK se dvěma pruhy na okruhu nebezpečnější než OK s jedním pruhem?

Model nehodovosti na vjezdu OK sestavený na základě počtu DN prokázal, že nejnebezpečnější vjezd je typu 4 (tj. 2 pruhy na vjezdu a 2 pruhy na okruhu). Nejvhodnější je typ vjezdu 1 (tj. 1 pruh na vjezdu a 1 pruh na okruhu). Viz tab. 30.

h. Vedou větší průměry OK k vyšší nehodovosti?

Zda vedou vyšší hodnoty průměru OK k vyšší nehodovosti, se pomocí modelu nehodovosti nepodařilo jednoznačně prokázat.

Před agregací modelu nehodovosti na jednotlivé vjezdy bylo realizováno několik modelů pro křižovátku jako celek. V těchto modelech se hodnoty regresních koeficientů proměnné (průměru OK) neprokázaly jako stabilní. Z pohledu modelů agregovaných na jednotlivé vjezdy se průměr OK také neprokázal jako významný.

V práci byla identifikována korelace mezi průměrem OK, průměrem středového ostrova a kolizní vzdálenosti. Průměr OK má tedy vliv alespoň na jednu z proměnných ve výsledném modelu.

6.3. Výsledky a výstupy

a. Analýza návrhových prvků

Byla provedena analýza bezpečnosti návrhových prvků vjezdu OK. Pro analýzu byla zvolena multifaktorová analýza bezpečnosti založená na obecném regresním modelování. Podrobný postup viz v kapitolách 3., 4. a 5.

b. Model

Byla sestavena funkce bezpečnosti odvozená z počtu DN, která obsahuje tyto vlivné parametry vjezdu OK: RPDÍ, úhel na vjezdu α , kolizní vzdálenost, odchylku úhlů mezi rameny, výskyt pojížděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu. Viz vzorec (42) na straně 91.

Změnou vysvětlované proměnné z počtu DN na závažnost bylo dále možné identifikovat vliv výskytu přechodu pro chodce a okolní zástavby (charakterizují rychlostní parametry vozidel). Regresní koeficienty proměnných ve výše uvedeném odstavci zůstaly podobné. Viz vzorec (44) na straně 94.

c. Mapa

Mapa (viz obr. 78.) uvedená v PŘÍLOHA C. zobrazuje OK, které byly analyzovány pomocí multifaktorové statistické metody. Křižovatky byly seřazeny dle EB odhadu, který je měl za úkol ohodnotit jako nejkritičtější. Zobrazení je provedeno ve čtyřech kategoriích: horních 5 % (červené čtverečky), 10 % (oranžové čtverečky), 15 % (žluté čtverečky) a zbytek (zelené čtverečky).

6.4. Závěry pro další rozvoj teorie

Závěrem lze konstatovat, že na hodnocení návrhových prvků OK z pohledu nehodovosti byla aplikována metoda, která identifikovala tyto významné faktory vjezdu OK: **RPDÍ, úhel na vjezdu α , kolizní vzdálenost, odchylku úhlů mezi rameny, výskyt pojížděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu,**

výskyt přechodu pro chodce a okolní zástavbu. Tyto proměnné prokázaly svůj vliv na nehodovost, a je tudíž logické dbát na jejich navrhování v přípravě úprav OK.

Do budoucna bude vhodné prohloubit analýzu bezpečnosti silničního provozu o závislou proměnnou závažnost, a to ve smyslu identifikace očekávaného typu zranění (viz kapitolu 7.2.1.).

Dále bude vhodné metodu prohloubit o druhou vlnu analýzy. Tedy pro určení druhé nejvlivnější kombinace faktorů na sledovaném vzorku nehod.

Současně bude nezbytné zvážit vliv faktoru vozidla a člověka na mechanismus DN. Údaje o vozidlech lze získat z databáze PČR. Údaje o řidičích by bylo možné získat z bližší analýzy registru řidičů nebo socioekonomických vazeb v daném regionu.

V této práci byla identifikována funkce bezpečnosti pro vjezd OK. Pro ohodnocení návrhu celé křižovatky se provede součet jednotlivých očekávaných nehod na vjezdech. Do budoucna bude vhodné provést posouzení, zda v případě součtu nedochází k podhodnocení očekávaného počtu DN za celou křižovatkou. Je pravděpodobné v tomto případě očekávat vzájemné ovlivnění. Toto však již nebylo součástí této práce.

6.5. Závěry pro realizaci v praxi

Hlavním výsledkem této práce je model nehodovosti vjezdu OK, který je možné využít při navrhování úprav OK. Dopravní inženýři, projektanti nebo i správci mohou tuto funkci využít pro hodnocení úrovně navrhované geometrie vjezdu OK.

Tato metoda práce je vhodná pro identifikaci právě těch vjezdů křižovatek, které stabilně vykazují bezpečnostní deficit v porovnání s jinými podobně nastavenými lokalitami.

Pro praxi je také nezbytné si uvědomit, že funkce bezpečnosti vysvětluje jen to, co se již na křižovatkách odehrálo. Jejich prediktivní vlastnosti jsou silně ovlivněny zachováním vstupních podmínek všech proměnných, a to i těch proměnných, které do modelu nebyly zahrnuty. Ty jsou obsaženy v lokálních faktorech, které zatím není v silách modelu kvantifikovat.

7. Diskuze

Tato kapitola je zaměřena na diskuzi nad závěry a postupem řešení při zpracování tématu: *Analýza návrhových prvků okružních křižovatek v závislosti na nehodovosti*. OK již zažily tzv. boom v silniční infrastruktuře České republiky. Současně se staly jednou z nejčastěji navrhovaných úprav křižovatek na PK, u které se předpokládá kladný přínos jak v oblasti zvyšování kapacity komunikací, tak v oblasti bezpečnosti PK. Tato práce je však zaměřena pouze na bezpečnost OK.

7.1. Metoda práce

Běžným postupem pro hodnocení bezpečnosti jakékoliv lokality na PK je provedení prohlídky místa a následné zpracování zprávy obsahující popis bezpečnostních rizik a vhodných opatření k jejich odstranění. Tento postup představuje jeden z četných nástrojů Auditora bezpečnosti pozemních komunikací. Kromě toho, že tento postup vyžaduje mnoho času, je obvykle zatížen subjektivním hodnocením auditora (ovlivněno zkušenostmi nebo i účelností). Hlavní nedostatek tohoto nástroje spočívá především v jeho zaměření na lokální faktory. Z pohledu auditora jsou všechna identifikovaná bezpečnostní rizika lokální – vlastní předmětné lokalitě. K identifikaci těch faktorů, které se opakují a způsobují podobné bezpečnostní deficity i na jiných lokalitách, dochází jen výjimečně.

Tato práce byla zaměřena zejména na identifikaci faktorů (návrhových prvků OK), které se opakují na dalších místech infrastruktury a mají podobný vliv na bezpečnost. Jedná se o multifaktorovou analýzu založenou na funkci bezpečnosti, která je sestavena na základě regresní analýzy. Tato statistická metoda je schopna identifikovat faktor a jeho vliv na základě výskytu jeho vlivu na podobných lokalitách. Výhoda této metody spočívá v tom, že je prostá subjektivního hodnocení bezpečnosti. Relativní nevýhodou je její závislost na kvalitě a rozsahu vstupních dat, což lze ovlivnit navyšováním rozsahu výběru ze vzorku. Hlavní zásadou je však dodržení rozmanitosti vzorku.

Pokud byly touto metodou identifikovány jako významné tyto návrhové parametry OK: RPD1, vjezdový úhel α , kolizní vzdálenost, odchylka úhlů mezi vjezdovými paprsky (rozložení ramen na OK), výskyt pojížděného prstence, výskyt bypassu, typ vjezdu, zástavba a přechod pro chodce, tak byly identifikovány na základě selektovaného výběru ze vzorku. Funkce bezpečnosti tedy vysvětluje pouze použitá data. Další použití modelu je závislé na zachování jeho vstupních podmínek. Lze očekávat, že při dalších analýzách budou výsledkem proměnné s podobnými hodnotami, ale jejich výskyt nelze zaručit ve všech případech. Proto je důležité tyto modely srovnávat se zahraničními studiemi i nadále.

Touto metodou dále dochází k identifikaci pravděpodobně nejvýznamnějších prvků, které mají vliv na bezpečnost v nejvyšší míře. Proto nelze předpokládat, že spolehlivost modelu R^2 bude dosahovat hodnot blízkých 100 %. Hodnota spolehlivosti modelu R^2 bude i nadále ovlivňována výběrem ze vzorku. Dále tato metoda zahrnuje vliv lokálních proměnných a nahodilost DN. Dalším cílem by mělo být nalezení postupu, jak identifikovat právě ty nehody, u kterých byl vliv proměnných z modelu nejvýraznější, a ty pak ze vzorku odstranit. Dále pak provést opětovnou regresní analýzu a provádět selekci DN a proměnných až do chvíle, kdy ve vzorku zůstane pouze náhodná složka DN bez dalších faktorů.

7.2. Volba vysvětlované proměnné

Vysvětlovaná proměnná představuje závislý ukazatel bezpečnosti na levé straně rovnice bezpečnosti. Ukazatelem bezpečnosti může být cokoli, co lze vztáhnout k negativním následkům dopravního zatížení RPDI.

V této práci byl vybrán počet DN, který představuje součet všech nehod zaznamenaných Policií ČR. Nejedná se však o absolutní počet realizovaných nehod na předemných OK (jak bylo popsáno v datové části této práce). Existuje nemalý podíl uskutečněných nehod, které v záznamech Policie ČR nejsou. Absence podílu tohoto ukazatele bezpečnosti má vliv na funkci bezpečnosti. Jeho rozsah je těžké identifikovat. Nejedná se totiž o systematickou chybu, kterou by bylo možné odstranit logickou úpravou. Řešení spočívá v databázích pojišťoven a soukromých asistenčních služeb. Současně je v jednání přístup k těmto doposud neanalyzovaným datům, která by zpřesnila výsledky.

Možnou alternativu představují také dopravní konflikty, kterých se na silniční infrastruktuře děje mnohonásobně více. Jejich celoplošná analýza je však velmi rozsáhlá a nad rámec časových možností této práce.

Závažnost představuje alternativní vysvětlovanou proměnnou, která v této práci byla experimentálně použita pro analýzu vlivu návrhových prvků OK. Závažnost byla stanovena na základě výskytu typu zranění osob u jednotlivých zaznamenaných nehod. Počet těchto zranění byl pomocí celospolečenských ztrát použit jako váha k příslušným DN. Pomocí tohoto ukazatele se podařilo identifikovat obdobné prvky OK s podobným vlivem na bezpečnost. Navíc se podařilo identifikovat další dva prvky OK, a to výskyt přechodu pro chodce a zástavbu. Zástavba úzce souvisí s rychlostí vozidla, kterou v této práci substituuje. Výskyt přechodu pro chodce souvisí se závažností zranění (chodci obvykle utrpí závažné nebo smrtelné zranění).

7.2.1. Úroveň kvality geometrie (ÚKG)

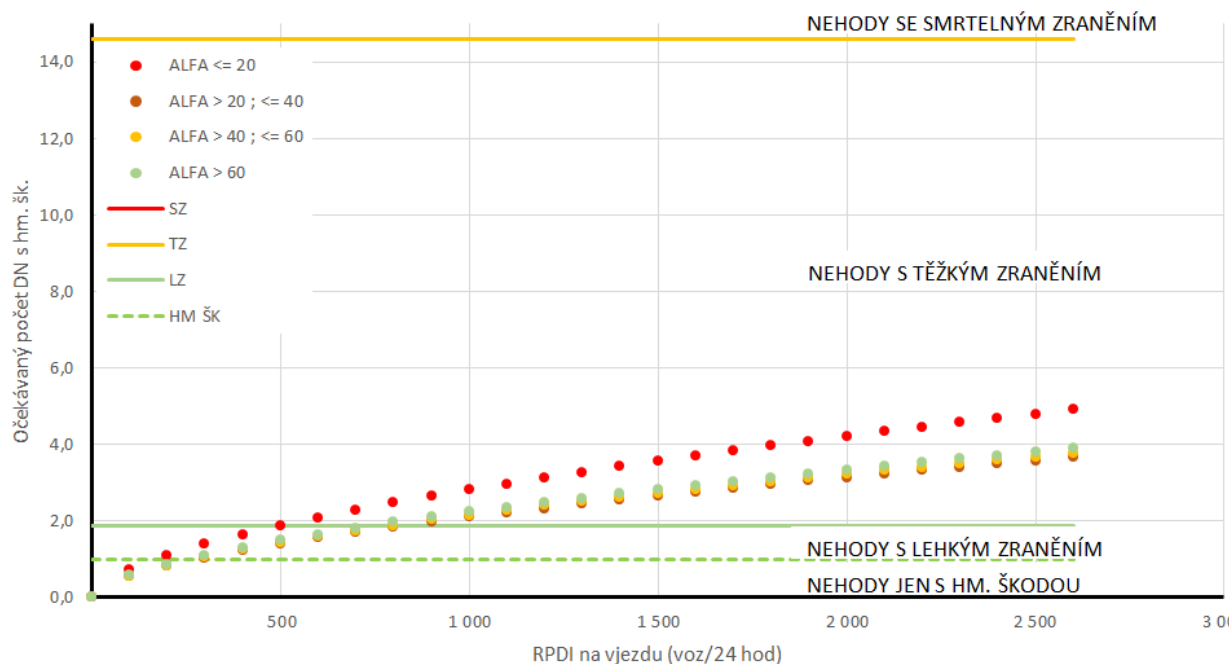
Závažnost je bezpečnostní indikátor, který má šanci nejen predikovat očekávaný počet nehod na zamýšlené geometrii, ale může i odhadnout, k jakému typu zranění může dojít.

V této práci se díky závažnosti podařilo identifikovat vliv výskytu přechodu pro chodce a zástavby. Jelikož bezpečnostní ukazatel závažnost vyšel ze závažnosti zranění osob při nehodách, je přirozené, že faktory, které mají vliv na závažnost nehody, byly identifikovány právě tímto ukazatelem. Např. pokud by nebyl ve skupině vysvětlujících proměnných výskyt přechodu pro chodce, ale přímo zatížení přechodu pro chodce (reprezentované počtem přecházejících), tak by se dalo očekávat, že tento ukazatel bude identifikován již pouhým počtem DN.

Parametr zástavba zde vypovídá o vyšší četnosti závažnějších zranění mimo zástavbu (mimo obec), kde se obecně vozidla pohybují vyšší rychlostí a je přirozené, že se zde nacházejí nehody se závažnějšími následky.

Experimentálně byla závažnost přepočítána na nehody pouze s hmotnou škodou, se záměrem vytvoření jednotkového ekvivalentu ostatních nehod s různou závažností. Výstup je prezentován na obr. 73, kde jsou hranice mezi závažností nehody prezentovány pomocí vodorovných os s popisem. Funkce bezpečnosti je zde modelována s nepříznivými výsledovanými vlastnostmi vjezdu OK: minimální úhel na vjezdu α , minimální kolizní vzdálenost, nerovnoměrné rozdělení ramen OK (vysoká hodnota odchylky úhlu

mezi rameny), bez pojižděného prstence, s bypassem, mimo zástavbu, s přechodem, dva pruhy na vjezdu, dva pruhy na výjezdu.



obr. 73. Návrh limitních hranic pro ÚKG

Poznámka: Hranice nehody se smrtelným zraněním není v grafu prezentována, jelikož se nachází na ose Y kolem hodnoty 80. Na OK se smrtelná zranění téměř nestávají.

Cílem bylo sestavit limity pro tzv. úroveň kvality geometrie (ÚKG) podle očekávané závažnosti nehody. Název jednotlivých hranic není podstatný. Lze očekávat, že nejlépe hodnocenou úrovní je bez očekávané DN, dále potom s hmotnou škodou, s lehkým zraněním. Další hranice jsou pro vjezd OK nepravděpodobné.

Využití tohoto nástroje posuzování geometrie vjezdu OK však zůstává na pravděpodobnosti výskytu nehody s daným počtem zranění. Z výše uvedeného grafu lze vyčíst, že výsledek funkce bezpečnosti dosáhl na hranici nehody s těžkým zraněním, ale je také možné, že dojde k jakékoliv nehodě s nižší závažností nebo kombinaci nehod.

Dalším problémem závažnosti je průměrné finanční ohodnocení ztráty z nehodovosti. Toto ohodnocení v sobě pokaždé zahrnuje složku průměrné hmotné škody, to znamená, že pokud se stane jedna nehoda se třemi těžkými zraněními, je dle tohoto ohodnocení hmotná škoda započítána do závažnosti nehody třikrát. Do budoucna bude vhodné finanční ohodnocení ztrát rozdělit do skupin, které mezi sebou bude možné kombinovat.

7.3. Volba vysvětlujících proměnných

Vysvětlující proměnná představuje potenciální faktor ovlivňující bezpečnost sledovaného vjezdu OK nebo jakéhokoliv jiného sledovaného prvku na PK. V této práci byly primárně sledovány geometrické prvky, které prezentují statickou složku mechanismu DN. Tyto parametry byly vybrány na základě běžně používaných předpisů ČR a dostupné literatury. Ostatní faktory jako počasí, řidič nebo vozidlo nebyly sledovány. Tyto parametry vyžadují detailnější sběr dat, který je jednak časově, ale i finančně nad rámec dizertační práce zejména s ohledem na absenci dostupných databází. Převzetí ze zahraničních studií

a využití poznatků je možné, ale pouze pro srovnávací účely. Použitá funkce bezpečnosti vždy reprezentuje pouze zkoumaný vzorek dat. A bez jeho podrobné znalosti by kombinace regresních koeficientů z jiných modelů vedla k mylným závěrům.

S ohledem na použitou metodu analýzy je také nutné uvažovat správnou parametrizaci proměnných. OK představuje uzel na silniční infrastruktuře, kde je umožněna výměna směrů. Zpravidla se zde střetává více komunikací s jiným uspořádáním (s jinými návrhovými prvky). Proto je na rozdíl od úseku možné získat pro křižovátku více hodnot jedné sledované proměnné, např. šířky vjezdu, vjezdového úhlu. Parametrizace pomocí minima, maxima nebo průměru může mít velký vliv. Proto byl model v této práci upraven z funkce bezpečnosti OK na funkci bezpečnosti vjezdu OK.

RPDI představuje vysvětlující proměnnou, která je současně mírou expozice sledovaného jevu. Základní okrajovou podmínkou je, že pokud není žádné zatížení ($RPDI = 0$ voz/24 hod.), DN se nemůže stát. Obecně lze potvrdit, že s vyšší hodnotou RPDI lze očekávat i vyšší počet DN. Tuto skutečnost však ovlivňují další faktory.

7.4. Vstupní data

Pro metodologii této práce představují vstupní data základ. Kvantita a kvalita dat přímo souvisí s vypovídající hodnotou výsledku funkce bezpečnosti.

7.4.1. Kvalita

Jak již bylo prezentováno v kapitole 2.3. o sběru a přípravě dat, v ČR existují četné databáze obsahující data nezbytná pro regresní analýzu bezpečnosti většiny prvků silniční infrastruktury. Problémem však často bývá jejich dostupnost a kvalita.

Z pohledu silničních dat je databanka v Ostravě poměrně rozsáhlá, ale neobsahuje podrobné informace o křižovatkách. Tyto informace je nejhodnější stále získávat z mapového díla mapy.cz [48.] nebo *Národního archivu leteckých měřických snímků* (viz NALMS [99.]). Toto je však nutné provádět smluvně nebo vlastním průzkumem veřejného portálu. Je to však zdlouhavé a výsledek není jistý. Např. úhel na vjezdu α je sice možné změřit, opětovným měřením však lze získat několik různých výsledků, proto je vhodné tyto hodnoty opět průměrovat. Poloměry nelze volně dostupnými nástroji získat vůbec.

Z pohledu provozního zatížení je získávání o něco snadnější. RPDI je dostupné z CSD na základní síti komunikací v ČR. Jeho dostupnost na místních komunikacích je však ojedinělá. Vzhledem k tomu, že se podstatná část nehod na křižovatkách odehrává na zastavěném území (uvnitř měst a obcí), jsou tyto údaje nezbytné. Databáze zatížení dopravou v intravilánu existují pouze ojediněle. Měření této proměnné je velmi zdlouhavé a nákladné. Pro model je však údaj o provozním zatížení nezbytný. Udává četnost neboli míru expozice (vystavení) sledovaného jevu.

Nápomocné by bylo získání dat od vlastníků a správců komunikací. To však vyžaduje čas. Pomohl by centrální sběr, který by byl součástí povolovacího procesu úprav PK a zajištění kvality kapacity PK. Alternativou se jeví modul dopravního zatížení od společnosti Google, který je zveřejněn na GoogleMaps.com. Poskytuje údaje o zdržení na vybraných úsecích PK. Do budoucna bude vhodné konzultovat jejich postup sběru a využití dat.

7.4.2. Rozsah vstupního souboru bezpečnostních ukazatelů

Zvláštní kapitolou jsou data o bezpečnostních ukazatelích. Pokud se jedná o data z dopravní nehodovosti, jsou dostupná na veřejném portálu JDVM. Podrobnější data lze získat ze statistik Policie ČR. Nejpodrobnější data jsou obsažena v záznamu o DN. Zde je problém s jejich vytěžením. Velmi by pomohlo, pokud by byl dostupný digitální scan těchto formulářů. To samozřejmě vede k vyšším časovým nárokům na straně Policie ČR, ale i na straně dopravních analytiků.

Současně setrvává problém s nenahlášenými DN pouze s hmotnou škodou. Údaje o těchto nehodách zůstávají stále nezpracovány. Přitom o nich mají záznamy a přehled pojišťovny, které provádějí náhradu vzniklých škod. CDV se dlouhodobě snaží získat přístup k těmto datům. Tato data však podléhají zákonu o ochraně osobních údajů.

Rozšířením databáze o tuto část DN by došlo ke zvětšení vzorku nejčastějšího typu DN na silniční infrastrukturu v ČR. Tento typ nehody je obzvláště nutný pro další analýzu bezpečnosti OK, kde jsou nehody se zraněním poměrně ojedinělé.

Dále je možné využít údaje o dopravních konfliktech. Tento ukazatel je však zatížen zdlouhavým a nákladným procesem záznamu a samotného vyhodnocení.

Proto se DN stále jeví jako nevhodnější ukazatel hodnocení plošné bezpečnosti silniční infrastruktury. Data existují. Je však nutné je sjednotit a využít.

7.5. Hodnocení modelu

Hodnocení modelu napomáhají informační kritéria, disperzní parametr, celková variabilita, signifikance jednotlivých proměnných, ale také postupy pro ověření interní a externí validity.

7.5.1. Kvalita

Pro stanovení kvality neboli vypovídající schopnosti modelu je nutné si uvědomit, že model pouze vysvětluje použitá vstupní data. Kvalita modelu je navíc ovlivněna výše specifikovanými vlivy v oblasti dostupnosti, sběru a analýzy dat.

Jedním z nedostatků dat, který se může projevit na kvalitě modelu, je sběr dat s malou variabilitou (sbírají se data na stejných lokalitách). Nedochozí zde k rozptylu jednotlivých proměnných. Toto má přímý vliv na regresní koeficienty v modelu (Hebák a spol. 2013 [100.]).

Další z mnohých známek kvality jsou hodnoty regresních koeficientů. Ve fázi selektivního odebírání/přidávání jednotlivých proměnných v modelu lze zároveň pozorovat změnu regresních koeficientů ostatních proměnných. V této práci byla zaznamenána jen jejich minimální změna právě u výsledných proměnných (modelů). Znaménko jejich koeficientů zůstávalo konstantní a hodnota koeficientu zůstala v řádech obdobná.

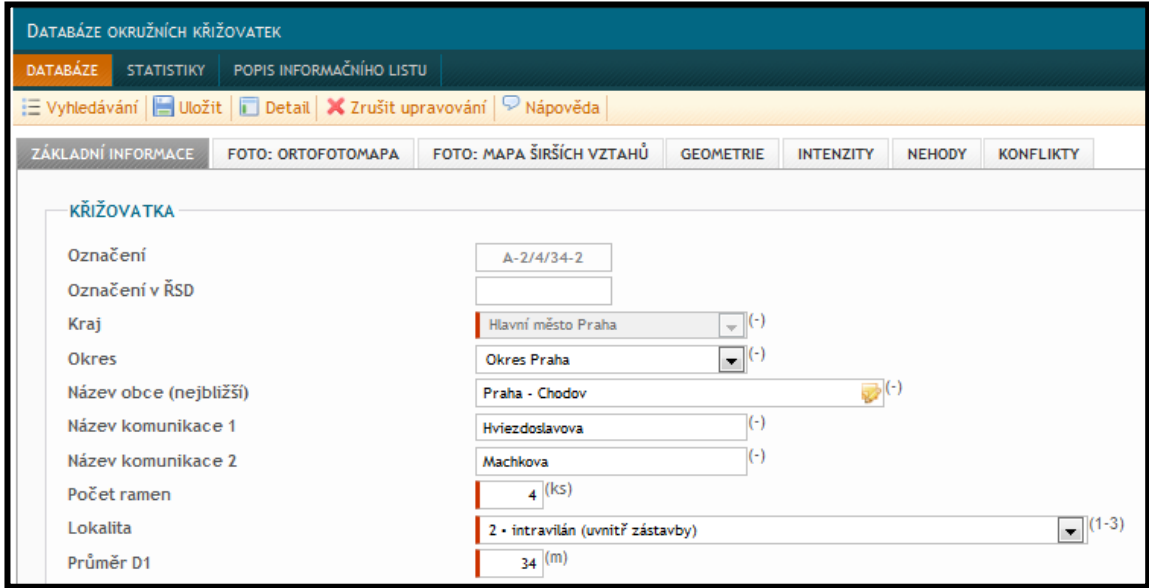
7.5.2. Validita

Pro ověření validity modelu je nevhodnější provést srovnání regresních koeficientů s jinými studii. Získání těchto studií však bývá náročné. Navíc často nelze doložit alespoň obdobnou definici sledované charakteristiky či popis datového základu. Výsledky se tedy mohou lišit.

Vhodnou metodou ověření je běžný postup pro kontrolu validace modelu pomocí MPSE stanovenou změnou rozsahu výběru ze vzorku, nebo aplikací na jinou část dat (prostorově nebo časově). V této práci bylo dosaženo úspěchu v obou možnostech validace.

PŘÍLOHA A. DATABÁZE OK

Cílem databáze OK bylo vytvořit prostředek (aplikaci), který udržuje aktuální a jednotné informace o charakteristikách OK. Tento typ databáze byl založen v Centru dopravního výzkumu, v. v. i., jako součást výstupu projektu VEOBEZplus [154.]. Databáze je organizována dle informačního listu (viz PŘÍLOHA B.).



The screenshot shows a web application interface for 'DATABÁZE OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK'. The main content area is titled 'KŘÍŽOVATKA' and contains a form with the following fields and values:

Attribute	Value
Označení	A-2/4/34-2
Označení v ŘSD	
Kraj	Hlavní město Praha (-)
Okres	Okres Praha (-)
Název obce (nejbližší)	Praha - Chodov (-)
Název komunikace 1	Hviezdoslavova (-)
Název komunikace 2	Machkova (-)
Počet ramen	4 (ks)
Lokalita	2 - intravilán (uvnitř zástavby) (1-3)
Průměr D1	34 (m)

obr. 74. Databáze: náhled na archivaci atributů OK

Databáze umožňuje vybrané skupině vědeckých pracovníků přístup k shromážděným datům OK. Je zde možné provádět editaci a filtraci dle zadaných atributů OK. Vše je navrženo flexibilně. Je možné atributy libovolně přidávat a editovat tak, aby bylo možné rozšiřovat zkoumaný vzorek OK.

Technologie aplikace je typu klient–server a webového charakteru. Serverová část aplikace je napsána v jazycích PHP a SQL, klientská část aplikace je napsána v jazycích HTML, CSS a JS. Aplikace je přístupná jednoduše přes webový prohlížeč, a to téměř kdekoliv a kdykoliv.

Koncept databáze je navržen flexibilně. Jednotlivé záznamy jsou vázány na rameno OK. DN jsou děleny dle data (rok). Případné doplnění dalších údajů je velmi jednoduché. Do databáze lze vložit libovolný počet dalších údajů.

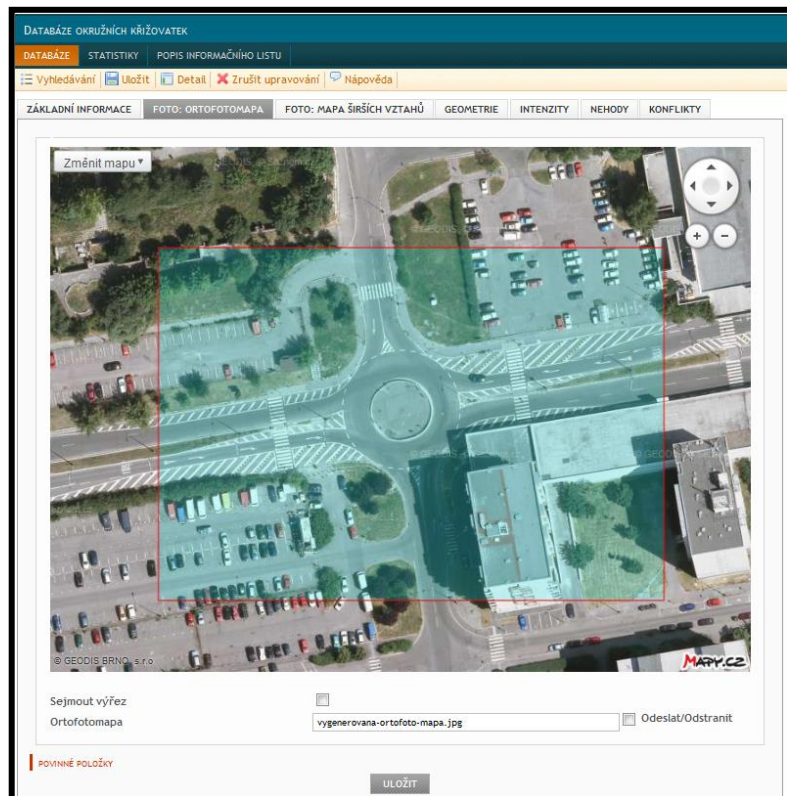
Vstupní kontrola zaručuje, že není možné, aby byla vložena duplicitní křižovatka, jelikož jedinou jednoznačnou informací (originální klíč) o křižovatce je její poloha. Poloha OK je definována středem středového ostrova a uchovává se jak ve formátu WGS-84, tak i ve formátu S-JTSK. Poloha je identifikována vyhledávacím nástrojem Mapy.cz [48.]. Hledání duplicitních křižovatek musí být založeno i na blízkém okolí křižovatky. Duplicitní křižovatka je i křižovatka, která se nachází v blízkém okolí jiné křižovatky. Okolí křižovatky je definováno jako čtverec, jehož středem je poloha křižovatky, přičemž délka strany čtverce je stanovena na 50 m. V případě nalezení shody v atributu poloha křižovatky databáze upozorní na podobnost souřadnic.

Pro uchovávání textových dat byla zvolena relační databáze MySQL, která umožňuje snadné strukturování dat. Pro uchovávání binárních dat byl zvolen souborový systém ext3. Struktura databáze je sestavena z několika tabulek (tabulky křižovatek, ramen, nehod, krajů, okresů a několika výčtových tabulek). Rameno a nehoda udržují cizí klíč křižovatky, tudíž křižovatka může obsahovat několik ramen

a několik nehod. Unikátně složený klíč seskupený z cizího klíče křižovatky a roku nehody zaručuje, že není možné, aby do křižovatky byla vložena nehoda ze stejného roku dvakrát.

Integrita dat je zajištěna hned dvakrát. Jak na úrovni aplikace, tak na úrovni databáze. Tabulky používají úložiště InnoDB, což je forma úložiště dat v databázovém systému MySQL, který je speciálně navržen pro zpracování krátkodobých transakcí, které jako jediné úložiště integritní omezení podporuje. Integritní omezení pro vložení zaručuje, že není možné, aby byla ramena a nehody vloženy do neexistující křižovatky. Integritní omezení pro odstranění zaručuje, že není možné, aby byla odstraněna křižovatka, která obsahuje ramena či nehody.

Obrazová dokumentace křižovatky sestává z několika obrázků: výkresu křižovatky, její fotografie a topografické fotografie. Každý obrázek může aplikace pořídit interakcí s uživatelem z jeho počítače. Fotografie a topografii může aplikace navíc pořídit autonomní komunikací s mapovým serverem (Mapy.cz [48.]). Mapový server poskytuje elektronickou mapu. Fotografie, resp. topografie křižovatky je v podstatě tvořena mapovým výřezem z vrstvy letecké, resp. základní elektronické mapy.



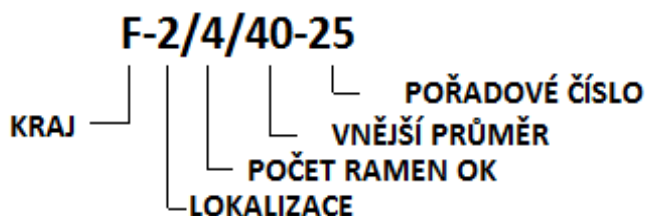
obr. 75. Databáze: náhled na identifikaci OK

Mapový výřez je obdélníkový obrázek vykrojený z některé vrstvy elektronické mapy. Vzhledem k tomu, že může být v rozměru každé křižovatky velký rozdíl, čímž nelze stanovit jednotný rozměr mapového výřezu, byl pro potřeby udávání specifikace mapového výřezu naprogramován mapový editor. Specifikace mapového výřezu je dána stupněm přiblížení a dvěma rohovými body, které jsou ve formátu WGS-84 a leží na úhlopříčce mapového výřezu. Jako mapový server byl zvolen mapový server Mapy.cz od Seznam.cz, a.s. [48.].

Mapový prohlížeč zobrazuje elektronickou mapu a disponuje základními možnostmi, jako je posunování, přibližování a oddalování mapy. Mapový prohlížeč patří do klientské části aplikace a je obvykle svázán s konkrétním mapovým serverem. Jako mapový prohlížeč bylo použito aplikační rozhraní Mapy API verze 4.7, které komunikuje s mapovým serverem Mapy.cz. V případě potřeby zahraniční elektronické mapy lze použít mapový server Google Maps od společnosti Google, Inc., který spravuje elektronickou mapu celého světa (mapový server Mapy.cz pouze elektronickou mapu Evropy se zaměřením na ČR). Lze použít i vlastní fotografii OK a následně ji vložit do databáze ve formátu *.jpg aj.

PŘÍLOHA B. INFORMAČNÍ LIST

Organizace jednotlivých OK v databázi je provedena pomocí označení OK, které se skládá z pěti základních atributů, generovaných z databáze OK. Takto nadefinovaný unikátní kód poskytuje základní informace o OK již při prvotním náhledu do databáze:



obr. 76. Kód označení OK v databázi

První část informačního listu obsahuje základní popisné informace o OK. Jedná se především o lokalizaci v souřadnicových systémech WGS 84 a JTSK. Souřadnice jsou vztaženy ke středu okružního pásu. Tato část dále eviduje počet ramen OK, lokalitu, průměr OK, počet pruhů na vjezdu/výjezdu, počet pruhů na okružním pásu, průměr středového ostrova, výskyt přechodu pro chodce, typ křižovatky a v neposlední řadě bližší popis jednotlivých ramen s názvy ulic, označení komunikací, status mezinárodní komunikace (např. E55), lokality na vjezdu, směr provozu a typ navazujícího uzlu.

Druhá část informačního listu obsahuje fotodokumentaci OK v podobě náhledu z aplikace API Mapy.cz. K vizuálnímu potvrzení OK byla využita vrstva ortofotomapy ČR firmy GEODIS BRNO, spol. s.r.o. Jednotlivé výřezy jsou vyhledávány automaticky na základě souřadnic vztažených ke středu OK.

Třetí část souboru dat informačního listu OK obsahuje hodnotový popis jednotlivých geometrických atributů OK. Jedná se o více než 40 atributů jednotlivých ramen OK, které zahrnují vzdálenosti, úhly a výskyt důležitých prvků na rameni OK (ostrůvek, přechod aj.). Z nejpodstatnějších lze uvést např. šířku vjezdu/výjezdu, počet pruhů na vjezdu/výjezdu, šířku bypassu, úhel mezi jednotlivými rameny, vjezdový úhel, výjezdový úhel, úhel na přímém průjezdu OK. Celkový přehled sledovaných prvků je uveden v kapitole 2.2.1.

Čtvrtá část souboru dat informačního listu OK obsahuje záznam intenzity dopravy v podobě RPDI na vjezdu do křižovatky. Záznam RPDI zohledňuje i skladbu dopravního proudu v kategoriích osobní vozidla, těžká vozidla a motocykly.

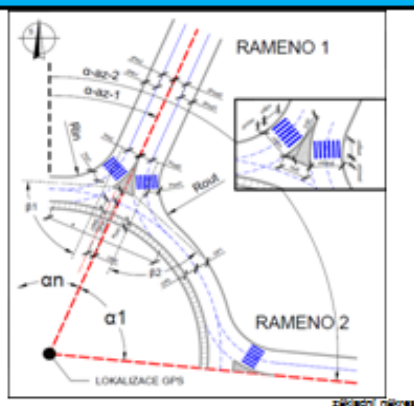
Pátá část souboru dat informačního listu OK obsahuje souhrn DN z databáze Policie ČR. DN byly vyhledány pomocí hromadného příkazu v prostředí GIS. Jednotlivé nehody jsou vybírány na základě splnění atributů: datum, lokalita nehody, druh nehody, alkohol, následky nehody, místo DN, směrové poměry.

INFORMAČNÍ LIST OKRUŽNÍ KŘIŽOVATKA Černá Hora - I/43 (E461) x II/377
00-1/5/20-01

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

1.1	Obzvláště DPK	00-1/5/20-01
1.2	Obzvláště uspoř. v záložce (DS)	244A000
1.3	Kraj	Zlímský
1.4	Okres	Čáslav
1.5	Název obce (místní):	Černá Hora
1.6	Název komunikace 1:	I/43 (E461)
1.7	Název komunikace 2:	II/377
1.8	Typ osvětlení DPK	DN 4
1.9	Lokalizace	(D) 1
1.10	Poloměr DPK	(m) 40
1.11	Poloměr OS	(m) 7
1.12	Podst. pruhů na okružnici	(D) 1
1.13	Podst. pruhů na vjezdu	(D) 1
1.14	Podst. pruhů na vjezdu	(D) 1
1.15	Podst. pruhů na vjezdu	(D) 1
1.16	Přechodový znak	(D) 1
1.17	Směr provozu	(D) 1
1.18	Typ vozidel (druh uspoř.)	2 bezim. pruhem na okružnici
1.19	Některý na vjezdu	(D) 1
20	Souřadnice WGS-84	N 49°28'54" E 16°35'56"
21	Souřadnice S-JI SK	1000 1000


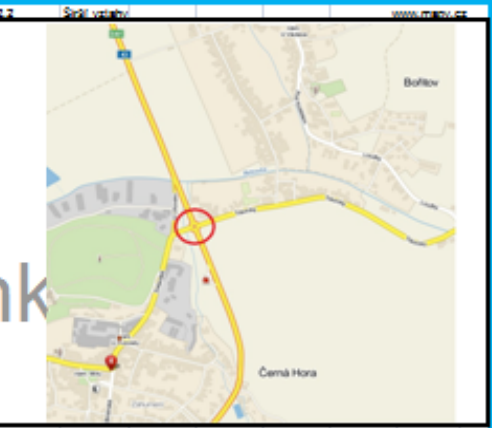
základní plán OK



	1	2	3	4	5	6	7	8	
22	Obzvláště komunikace	II/377	I/43	II/377	I/43				(označení)
23	Stavba komunikace		(E461)		(E461)				(SR)
24	Název komunikace		Třetivka		Svatýbař				(název)
25	Lokalizace na vjezdu	1	2	1	2				(D) 1
26	Směr provozu	2	2	2	2				(V/V) (D)
27	Typ vozidel (druh uspoř.)	200	200	200	200				(I-T)
28	Obzvláště rameno	00-1/5/20-01	00-1/5/20-01	00-1/5/20-01	00-1/5/20-01	00-1/5/20-01	00-1/5/20-01	00-1/5/20-01	

2 PODROBNĚNÍ

2.1	Číslo plánu	www.mary.cz	2.2	Šifra vstupu	www.mary.cz
-----	-------------	-------------	-----	--------------	-------------

3 Číslo vjezdů OK

	1	2	3	4	5	6	7	8	zkratka
3.1	Vjezd - vjezd pruh 1 - síťka	(m)							VP1
3.2	Vjezd - vjezd pruh 2 - síťka	(m)							VP2
3.3	Podst. pruhů na vjezdu	(D) 1							DP
3.4	Vjezd - Pruh 1 - síťka	(m)	2						VP1
3.5	Vjezd - Pruh 2 - síťka	(m)	2						VP2
3.6	Smerotvárný vjezd - síťka - BYPASS	(m)	2						VV1
3.7	Vjezdový poloměr	(m)							PO
3.8	Vjezd - vjezd pruh 1 - síťka	(m)							VPou1
3.9	Vjezd - vjezd pruh 2 - síťka	(m)							VPou2
3.10	Podst. pruhů na vjezdu	(D) 1							DPou
3.11	Vjezd - Pruh 1 - síťka	(m)	2						VPou1
3.12	Vjezd - Pruh 2 - síťka	(m)	2						VPou2
3.13	Smerotvárný vjezd - síťka - BYPASS	(m)	2						VVou
3.14	Vjezdový poloměr	(m)							POu
3.15	Podst. pruhů na okružnici (v místě okružnici)	(D) 1							COPO
3.16	Okružnicí okružnice 1 (v místě okružnicí) - síťka	(m)	2						COPO1
3.17	Okružnicí okružnice 2 (v místě okružnicí) - síťka	(m)	2						COPO2
3.18	Vzdálenost kolenních bodů	(m)							KB
3.19	Podst. pruhů na okružnici	(D) 1							COPO
3.20	Okružnicí okružnice - síťka pruhů 1	(m)	2						COPO1
3.21	Okružnicí okružnice - síťka pruhů 2	(m)	2						COPO2
3.22	Síťka poloběžného ramene	(m)							DP1
3.23	Asfaltové rameno křižovatky	(m)	20	20	20	20			RA-20/20
3.24	Okružnicí okružnice - síťka	(m)	20	20	20	20			RA
3.25	Okružnicí okružnice - síťka	(m)	20	20	20	20			RA-1
3.26	Okružnicí okružnice - síťka	(m)	20	20	20	20			RA-2
3.27	Okružnicí okružnice - síťka	(m)	20	20	20	20			RA
3.28	Okružnicí okružnice - síťka	(m)	20	20	20	20			RA-20/20
3.29	Přechod - vjezd - síťka	(m)							Ch-OK
3.30	Přechod - vjezd - síťka	(m)							Ch-OK
3.31	Přechod - vjezd - vzdálenost od okružnice	(m)							Ch-Vst
3.32	Přechod - vjezd - síťka	(m)							Ch-OK
3.33	Přechod - vjezd - síťka	(m)							Ch-OK

obr. 77. Ukázka informačního listu OK

PŘÍLOHA C. MAPA A SEZNAM OK

Tato příloha obsahuje seznam OK, který představují vstupní soubor 200 křižovatek pro multifaktorovou analýzu. Křižovatky jsou seřazeny sestupně dle hodnoty EB odhadu. Každou křižovátku lze dohledat dle GPS souřadnice. Na závěr je uvedeno hodnocení bezpečnosti OK v ČR dle EB odhadu.

ID	Označení OK	Název obce	GPS - N	GPS - E	Skutečný počet DN 2009–2016	Skutečná závažnost 2009–2016	Očekávaný počet DN Model 8	Očekávaná závažnost Model 10	EB odhad
9	A-2/4/100-66	Praha-Dejvice	50,100571	14,395411	193	338,93	82,41	84,71	189,64
11	A-2/4/110-56	Praha-Chodov	50,032665	14,488323	193	236,85	74,38	72,75	187,67
134	H-2/4/98-34	Hradec Králové	50,232205	15,791850	131	139,26	147,41	145,53	131,54
10	A-2/4/106-50	Praha-Chodov	50,031154	14,507027	119	150,87	62,57	62,84	116,11
100	F-2/5/68-51	Chomutov	50,461502	13,409582	88	135,95	53,06	49,69	73,83
6	A-1/4/94-48	Praha-Prosek	50,125358	14,513080	55	63,86	31,50	31,36	54,33
1	A-1/4/34-54	Praha-Chodov	50,020851	14,508801	56	65,88	26,07	25,04	52,16
18	A-2/4/33-55	Praha-Kunratice	50,020257	14,500489	46	57,23	20,23	19,35	42,81
51	B-2/5/76-82	Příbram	49,692382	14,003645	47	75,32	20,10	21,27	39,84
2	A-1/4/37-71	Praha-Libuš	49,998719	14,484940	44	49,65	17,14	17,86	39,73
80	F-1/3/107-54	Most	50,526492	13,624512	39	39,83	42,61	41,60	39,54
168	L-1/4/108-40	Olomouc	49,604151	17,218762	41	70,47	20,68	20,32	39,12
14	A-2/4/31-63	Praha-Libuš	50,017945	14,448977	43	50,16	17,29	18,13	39,10
15	A-2/4/32-49	Praha-Strašnice	50,073031	14,499787	40	76,58	13,30	13,49	35,59
186	N-1/6/139-49	Havířov	49,789421	18,413243	53	128,73	53,82	55,17	33,84
5	A-1/4/40-74	Praha-Chodov	50,036268	14,495022	27	30,59	31,48	32,18	28,20
98	F-2/4/49-53	Chomutov	50,457827	13,394661	35	84,33	10,28	10,43	26,83
52	C-1/4/139-13	České Budějovice	48,998662	14,495816	32	165,66	32,89	31,30	25,75
198	N-2/4/53-46	Radvanice	49,812189	18,336409	23	23,88	32,12	33,82	24,91
29	A-2/4/40-40	Praha-Letňany	50,149501	14,506135	21	24,35	17,38	18,39	21,18
22	A-2/4/34-65	Praha-Šeberov	50,002773	14,515980	20	20	15,17	16,01	20,73
93	F-2/4/34-60	Litoměřice	50,534050	14,138265	22	22	8,11	7,93	20,30
84	F-1/4/24-63	Lukavec	50,496803	14,090363	30	34,21	3,51	3,32	19,85
82	F-1/4/112-61	Litoměřice	50,509974	14,097250	16	34,97	17,41	16,78	17,24
170	L-2/4/100-44	Hranice na Moravě	49,552670	17,715556	16	17,46	35,78	34,10	17,08
196	N-2/4/48-63	Frýdek Místek	49,667638	18,348508	14	14,62	28,15	29,13	15,98
27	A-2/4/39-58	Praha-Libuš	50,011813	14,476297	18	21,61	6,47	6,53	15,09
13	A-2/4/29-62	Praha-Libuš	50,015427	14,451116	14	18,72	12,23	12,14	14,76
126	H-2/4/30-30	Náchod	50,412229	16,163716	15	33,17	10,73	10,87	13,46
28	A-2/4/39-67	Praha-Uhřetěves	50,038589	14,589301	14	14,64	7,25	6,67	13,10
185	N-1/4/60-48	Dolý	49,833718	18,473911	10	11,47	49,85	49,50	12,90
88	F-1/4/90-68	Louny	50,356178	13,773920	15	16,76	7,07	6,72	12,78
128	H-2/4/33-35	Jaroměř	50,348622	15,912443	13	52,14	7,89	8,12	12,73
124	H-2/4/27-12	Rychnov nad Kněžnou	50,154290	16,279674	14	43,53	10,14	9,93	12,41
120	H-1/4/26-26	Jičín	50,443954	15,334940	18	27,58	5,60	5,55	12,41
25	A-2/4/37-38	Praha-Hodkovička	50,014234	14,417062	12	18,31	8,43	8,51	12,30
197	N-2/4/50-13	Karviná	49,866426	18,549699	15	21,7	5,00	5,22	12,14
24	A-2/4/36-4	Praha-Chodov	50,032497	14,522603	15	15	7,54	7,99	11,96
97	F-2/4/46-66	Žatec	50,324151	13,531049	14	14,88	4,94	4,74	11,72
83	F-1/4/120-45	Rumburk	50,937919	14,558186	11	13,69	11,40	11,11	11,71
146	I-2/4/38-33	Litomyšl	49,875063	16,305867	14	19,43	4,54	4,42	11,70
95	F-2/4/39-37	Ústí nad Labem	50,656704	14,051170	14	19,07	4,27	4,42	11,31

Analýza návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vliv na nehodovost
autor: Ing. Jan Novák
rok vydání dizertační práce: 2017

ID	Označení OK	Název obce	GPS - N	GPS - E	Skutečný počet DN 2009–2016	Skutečná závažnost 2009–2016	Očekávaný počet DN Model 8	Očekávaná závažnost Model 10	EB odhad
193	N-2/4/36-53	Orlová	49,848769	18,415649	15	18,62	3,77	3,93	11,05
30	A-2/4/40-68	Praha-Uhřetěves	50,031368	14,608683	13	13,83	5,44	5,74	10,74
20	A-2/4/34-51	Praha-Chodov	50,033976	14,537571	9	33,09	16,90	15,62	10,70
153	J-2/5/38-21	Nové Město na Moravě	49,557763	16,072996	12	15,58	5,15	5,06	10,70
200	N-2/5/47-42	Opava	49,952031	17,870681	9	10,47	10,79	11,46	10,46
118	H-1/3/28-24	Úlibice	50,437487	15,431021	11	17,84	5,87	5,38	10,43
149	I-2/5/45-35	Svitavy	49,753887	16,474328	12	24,27	5,98	5,92	10,20
61	C-2/4/40-40	Jindřichův Hradec	49,151774	15,010584	11	17,17	6,32	6,49	10,19
147	I-2/4/40-17	Holice	50,068693	15,975361	14	32,46	4,93	4,65	10,16
44	B-2/4/37-61	Mělník	50,361707	14,469127	13	31,09	5,92	6,07	10,08
130	H-2/4/37-27	Trutnov	50,558171	15,902350	10	12,98	7,72	7,96	9,82
81	F-1/3/38-117	Litvínov	50,555824	13,601844	13	16,34	4,06	4,49	9,46
49	B-2/5/39-76	Říčany	49,998735	14,657789	11	12,24	5,45	5,29	9,42
192	N-2/4/36-50	Bludovice	49,762143	18,465339	11	17,85	7,04	7,20	9,39
56	C-2/3/32-43	České Budějovice	48,962942	14,457630	8	45,27	10,94	10,13	9,26
59	C-2/4/39-15	Třeboň	49,008412	14,757371	10	17,89	4,89	4,74	9,25
138	I-2/4/26-20	Chrudim	49,953465	15,790836	16	120,36	6,12	6,38	9,23
21	A-2/4/34-53	Praha-Chodov	50,026488	14,521869	7	7,64	12,71	12,45	9,08
123	H-2/3/35-41	Hradec Králové	50,201761	15,775398	8	12,36	7,32	7,91	8,75
104	G-2/3/23-32	Turnov	50,586350	15,155039	10	72,59	4,05	4,17	8,69
181	M-2/4/36-28	Valašské Meziříčí	49,477079	17,969913	8	100,74	5,83	5,97	8,63
38	B-1/4/50-71	Poděbrady	50,133162	15,098307	10	46,64	6,44	6,23	8,40
16	A-2/4/33-36	Praha-Podolí	50,048808	14,434778	10	12,69	3,88	3,98	8,25
86	F-1/4/38-59	Terezín	50,513366	14,139204	9	12,93	4,85	5,17	8,12
131	H-2/4/41-18	Vrchlabí	50,620707	15,596592	10	19,34	3,87	3,92	8,12
199	N-2/4/79-14	Karviná	49,861686	18,552814	6	8,74	15,01	15,89	8,09
96	F-2/4/43-69	Most	50,501836	13,631621	8	10,29	5,45	5,11	8,03
19	A-2/4/34-2	Praha-Chodov	50,031763	14,513056	7	9,12	7,20	7,39	8,01
119	H-1/3/35-56	Hradec Králové	50,177457	15,772394	9	9	4,30	4,15	7,88
54	C-2/3/28-48	Český Krumlov	48,815920	14,317627	7	7	8,23	8,11	7,84
161	K-2/4/32-47	Tišnov	49,341371	16,418808	8	10,4	4,65	4,88	7,79
79	E-2/4/34-24	Karlovy Vary	50,235774	12,837768	8	28,74	4,73	4,45	7,77
140	I-2/4/34-38	Svitavy	49,755033	16,469231	11	16,52	4,25	4,16	7,59
8	A-2/3/41-43	Praha-Černý Most	50,103368	14,589043	7	8,5	6,58	6,07	7,55
94	F-2/4/36-65	Kadaň	50,379195	13,275018	10	14,18	2,84	2,91	7,53
116	G-2/4/40-16	Liberec	50,744009	15,036426	8	13,6	4,33	4,46	7,53
78	E-2/3/43-15	Karlovy Vary	50,233486	12,843919	8	15,24	4,17	4,11	7,51
176	M-2/3/30-31	Kroměříž	49,296792	17,388784	8	11,9	4,22	3,98	7,42
125	H-2/4/28-39	Nové Město	50,147673	15,494210	9	9,64	3,47	3,66	7,41
76	E-2/3/35-18	Cheb	50,080494	12,376222	7	8,26	5,30	5,55	7,37
141	I-2/4/35-12	Lázně Bohdaneč	50,075973	15,679692	8	30,08	3,96	4,12	7,30
90	F-2/3/27-114	Bílina	50,546036	13,770387	8	10,92	3,54	3,29	7,25
70	D-2/4/33-23	Rokycany	49,741983	13,581591	7	10,17	4,59	4,69	7,23
151	J-2/3/36-18	Jihlava	49,404575	15,587093	7	9,95	5,53	5,67	7,23
37	B-1/4/45-72	Poděbrady	50,144681	15,172436	7	10,78	5,24	4,95	7,22
17	A-2/4/33-52	Praha-Chodov	50,029173	14,525662	7	8,24	7,72	7,94	7,18
71	E-1/4/31-17	Aš	50,194000	12,216141	11	111,34	3,41	3,24	7,12
113	G-2/4/36-10	Česká Lípa	50,683755	14,546214	10	13,17	2,57	2,68	7,11
99	F-2/5/30-32	Ústí nad Labem	50,665508	14,032000	17	21,36	2,40	2,46	7,03

Analyza návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vliv na nehodovost
autor: **Ing. Jan Novák**
rok vydání dizertační práce: 2017

ID	Označení OK	Název obce	GPS - N	GPS - E	Skutečný počet DN 2009–2016	Skutečná závažnost 2009–2016	Očekávaný počet DN Model 8	Očekávaná závažnost Model 10	EB odhad
77	E-2/3/36-46	Sokolov	50,188439	12,636161	13	31,04	8,21	8,02	6,96
129	H-2/4/35-13	Kostelec nad Orlicí	50,122835	16,215902	8	12,14	4,17	4,25	6,83
65	D-1/4/37-38	Draženov	49,456905	12,868137	8	20,42	3,88	3,68	6,80
31	A-2/5/28-42	Praha-Satalice	50,125547	14,571799	6	6,62	5,09	5,25	6,66
132	H-2/4/41-45	Vamberk	50,121158	16,284067	6	6	4,62	4,17	6,61
173	L-2/4/59-2	Přerov	49,451424	17,462774	4	6,52	9,37	9,97	6,58
111	G-2/4/33-43	Jilemnice	50,606777	15,509821	8	48,42	3,70	3,89	6,50
142	I-2/4/35-18	Chrudim	49,952086	15,787750	7	21,83	5,05	4,96	6,46
148	I-2/5/24-28	Choceň	49,999915	16,226892	12	52,59	3,57	3,38	6,35
85	F-1/4/36-58	Račíněves	50,390191	14,225114	10	46,59	3,08	2,97	6,31
47	B-2/5/36-5	Sedlčany	49,653935	14,426700	6	6	4,27	4,31	6,28
189	N-2/4/31-47	Šenov	49,793949	18,370674	7	23,28	3,46	3,64	6,17
171	L-2/4/39-27	Zábřeh	49,876393	16,892188	6	7,5	3,53	3,33	6,17
133	H-2/4/47-31	Nový Bydžov	50,241501	15,490921	7	9,59	3,27	3,36	6,17
135	H-3/3/38-47	Čestice	50,127995	16,143131	13	27,64	2,55	2,35	6,13
40	B-2/3/26-81	Příbram	49,688698	14,008898	5	5	5,79	5,78	6,11
191	N-2/4/34-41	Krnov	50,087798	17,705669	7	10,81	3,13	3,24	6,09
145	I-2/4/38-30	Lanškroun	49,910322	16,608174	7	14,1	3,46	3,58	6,08
114	G-2/4/36-38	Jablonec nad Nisou	50,734275	15,188388	7	9,54	3,14	3,24	6,07
165	K-2/4/40-6	Černá Hora	49,418486	16,585738	6	7,71	4,99	5,06	6,04
190	N-2/4/31-55	Orlová	49,876836	18,436348	6	25,01	3,75	3,87	5,96
64	D-1/3/103-44	Plzeň	49,754609	13,375724	10	14	17,22	19,01	5,85
164	K-2/4/38-27	Znojmo	48,856492	16,074032	3	4,28	10,39	9,84	5,81
7	A-2/3/24-5	Praha-Kunratice	50,013525	14,485231	6	8,35	3,54	3,48	5,77
23	A-2/4/34-75	Praha	50,047875	14,555321	6	6,83	4,46	4,55	5,76
106	G-2/3/37-57	Jablonec nad Nisou	50,728449	15,153870	7	31,03	2,49	2,40	5,72
53	C-1/5/38-46	Český Krumlov	48,819247	14,324366	8	8	3,27	3,48	5,61
162	K-2/4/36-36	Slušovice	49,248837	17,799366	6	17,36	3,02	3,15	5,55
12	A-2/4/24-34	Praha-Řepka	50,144645	14,470763	5	7,12	4,36	4,25	5,54
50	B-2/5/44-77	Kutná Hora	49,959668	15,285178	4	4	5,51	5,72	5,51
73	E-2/3/25-14	Karlovy Vary	50,233543	12,860528	6	6,62	3,74	3,63	5,47
159	K-2/4/25-2	Blansko	49,365459	16,644237	4	23,28	5,45	5,61	5,43
195	N-2/4/47-62	Třinec	49,683801	18,668324	7	12,18	3,33	3,44	5,32
150	J-2/3/35-19	Humpolec	49,534532	15,353156	5	8,48	3,57	3,50	5,31
92	F-2/4/29-148	Rumburk	50,949126	14,557250	5	5	3,35	3,51	5,21
158	K-2/3/30-7	Lipůvka	49,335825	16,552919	4	6,69	7,79	7,49	5,21
4	A-1/4/40-73	Praha-Ruzyně	50,108887	14,275045	4	5,46	5,03	4,73	5,21
91	F-2/4/26-92	Roudnice nad Labem	50,422051	14,253709	5	5	5,27	4,88	5,19
183	N-1/3/45-64	Třinec	49,661424	18,659910	4	4	5,37	5,11	5,16
62	C-2/5/37-62	Písek	49,297568	14,143844	5	39,58	3,22	3,32	5,13
60	C-2/4/40-34	Písek	49,311813	14,161638	5	7,66	3,35	3,29	5,12
117	G-2/5/35-11	Česká Lípa	50,685664	14,531280	12	15,94	3,02	3,10	4,91
89	F-2/3/19-93	Roudnice nad Labem	50,422551	14,254075	5	5	6,33	5,90	4,86
121	H-2/3/24-72	Nová Paka	50,493294	15,520806	5	5	3,98	3,93	4,83
187	N-2/3/30-39	Krnov	50,090278	17,697238	4	4,64	3,95	4,14	4,81
178	M-2/4/31-20	Valašské Meziříčí	49,469780	17,973286	5	7,96	5,84	5,98	4,78
180	M-2/4/33-1	Vsetín	49,341304	17,992928	3	4,46	5,28	5,35	4,76
26	A-2/4/37-72	Praha	50,069616	14,511566	3	3	4,70	4,31	4,73
177	M-2/4/31-15	Valašské Meziříčí	49,483951	17,965938	3	3,64	5,16	4,97	4,73

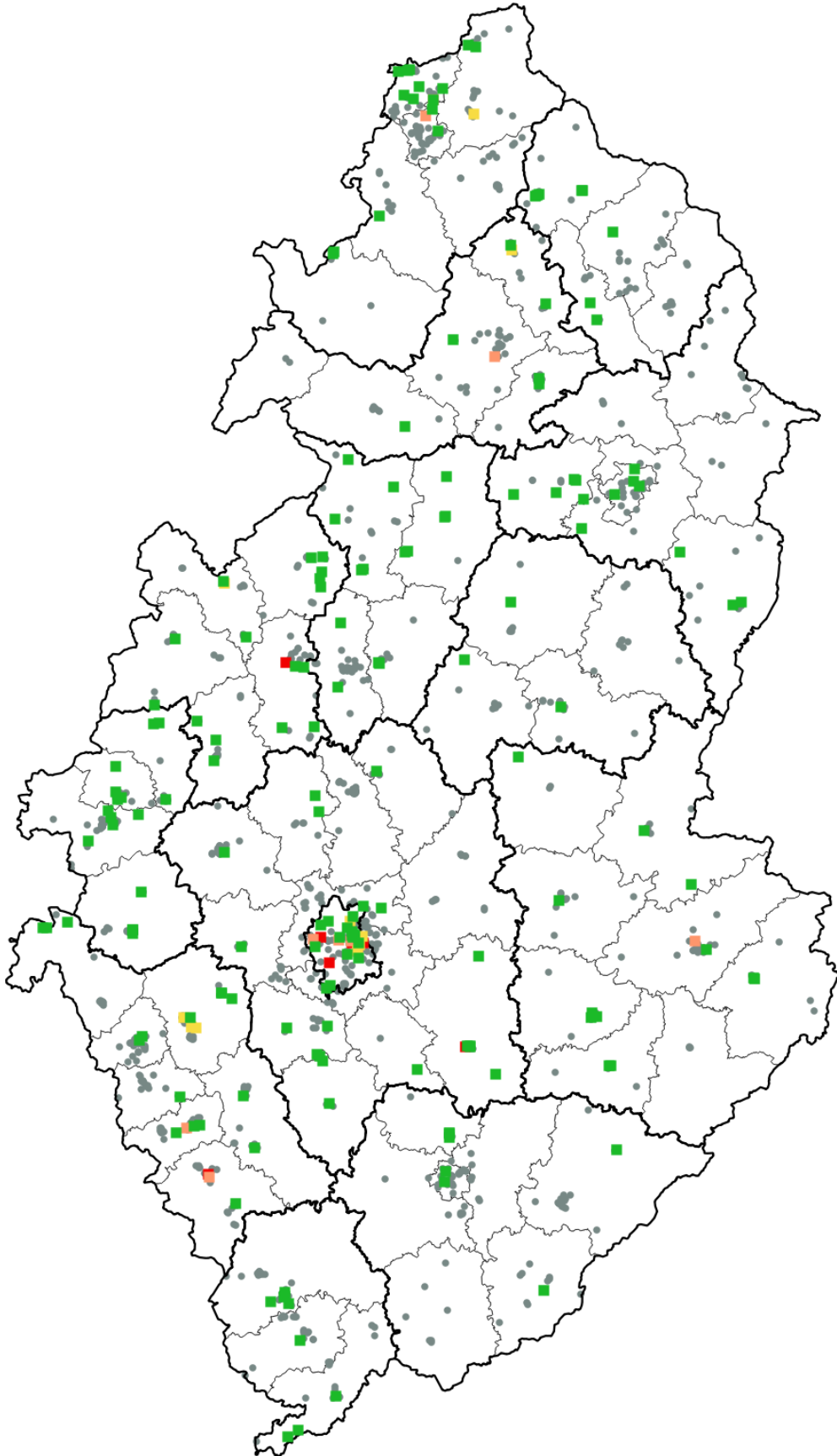
Analyza návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vliv na nehodovost
autor: Ing. Jan Novák
rok vydání dizertační práce: 2017

ID	Označení OK	Název obce	GPS - N	GPS - E	Skutečný počet DN 2009–2016	Skutečná závažnost 2009–2016	Očekávaný počet DN Model 8	Očekávaná závažnost Model 10	EB odhad
46	B-2/4/48-80	Rožmitál pod Třemšínem	49,602765	13,877001	5	7,69	2,66	2,49	4,66
152	J-2/4/38-16	Ždírec nad Doubravou	49,696911	15,806106	3	5,69	5,02	5,01	4,65
66	D-2/3/27-42	Sušice	49,237104	13,523354	4	10,81	3,70	3,66	4,63
69	D-2/4/31-24	Rokycany	49,742789	13,602214	3	5,52	4,21	4,31	4,61
102	G-1/3/54-39	Vratislavice nad Nisou	50,756757	15,100920	7	10,33	3,86	3,64	4,60
174	L-2/5/37-51	Prostějov	49,469788	17,117696	11	13,48	2,29	2,34	4,48
127	H-2/4/32-29	Náchod	50,417283	16,168998	7	39,01	3,67	3,64	4,44
112	G-2/4/35-37	Tanvald	50,735456	15,308089	5	5,62	3,16	3,28	4,42
41	B-2/3/42-85	Mladá Boleslav	50,413301	14,908298	7	27,1	2,18	2,27	4,40
45	B-2/4/45-32	Příbram	49,678482	14,004565	3	5,69	4,50	4,44	4,39
143	I-2/4/37-36	Moravská Třebová	49,750517	16,657270	3	5,08	3,80	3,69	4,38
57	C-2/3/38-31	Strakonice	49,254074	13,914804	3	3,62	4,24	4,43	4,31
36	B-1/4/43-83	Příbram	49,678150	14,007349	6	6	3,41	3,43	4,29
154	K-1/4/27-50	Brno-Slatina	49,182284	16,691961	2	4,34	8,94	8,37	4,25
35	B-1/4/34-143	Stochov	50,138636	13,967185	6	10,81	2,84	2,99	4,15
163	K-2/4/37-46	Letovice	49,547053	16,576853	3	6,48	3,71	3,50	4,11
175	L-2/5/66-43	Prostějov	49,472365	17,090414	12	25,17	5,14	5,38	4,08
58	C-2/3/39-33	Písek	49,312447	14,140934	3	3,88	3,72	3,81	4,08
103	G-1/4/41-19	Liberec	50,747967	15,072876	4	4,64	3,55	3,66	3,85
179	M-2/4/32-7	Hulín	49,315439	17,469649	2	3,46	5,24	5,14	3,83
184	N-1/4/32-72	Ostrava	49,776571	18,270021	8	8,83	2,35	2,24	3,80
166	K-2/5/23-16	Brno-Černovice	49,184755	16,637014	1	1	7,11	7,02	3,77
172	L-2/4/40-59	Hranice	49,556831	17,735284	1	1	5,72	5,97	3,76
137	I-2/4/24-34	Litomyšl	49,865890	16,311407	3	7,15	3,20	3,32	3,72
87	F-1/4/59-1	Most	50,487269	13,635751	5	8,33	4,60	4,30	3,70
48	B-2/5/37-60	Kladno	50,229116	14,090908	7	29,28	3,27	3,39	3,68
68	D-2/4/27-25	Rokycany	49,740453	13,599457	4	7,93	4,02	4,11	3,59
144	I-2/4/37-37	Červená Voda	50,044260	16,738970	5	7,72	1,97	2,07	3,48
109	G-2/4/28-41	Hodkovice nad Mohelkou	50,668339	15,085934	5	5,64	1,44	1,54	3,48
42	B-2/4/28-65	Hořovice	49,837729	13,897728	2	2	3,70	3,73	3,41
115	G-2/4/39-42	Jilemnice-Hrabačov	50,621993	15,507642	2	4,12	3,10	3,18	3,39
122	H-2/3/32-14	Častolovice	50,129791	16,185156	2	2,62	3,52	3,41	3,38
167	K-2/6/38-4	Blansko	49,360901	16,641964	2	15,59	3,17	3,27	3,06
169	L-2/3/25-35	Šternberk	49,731453	17,295984	5	5,88	1,54	1,58	3,06
182	M-2/4/45-17	Vsetín	49,338989	17,991209	1	1,64	3,87	3,63	2,95
63	C-2/6/45-32	Strakonice	49,260084	13,914027	2	3,24	3,97	4,07	2,91
136	I-1/4/35-27	Žamberk	50,084832	16,461669	2	4,1	2,56	2,67	2,84
3	A-1/4/40-20	Praha-Hostivice	50,099861	14,287536	0	0	6,29	6,10	2,80
43	B-2/4/29-45	Rakovník	50,102424	13,738277	2	2	3,65	3,83	2,76
155	K-1/4/29-51	Znojmo	48,881860	16,060311	1	1	3,17	3,01	2,62
74	E-2/3/25-23	Mezirolí	50,277079	12,814271	1	1	3,06	2,83	2,61
101	F-3/4/42-146	Dolní Podluží	50,875138	14,583538	4	4,64	1,43	1,29	2,61
67	D-2/4/21-3	Plzeň	49,752585	13,421564	5	7,69	1,87	1,92	2,55
34	B-1/4/30-132	Braškov	50,106413	14,101544	2	2,88	2,50	2,58	2,46
55	C-2/3/29-37	Tábor	49,410369	14,683880	0	0	4,40	4,39	2,35
156	K-2/3/29-68	Moravský Krumlov	49,044933	16,304704	1	1	2,52	2,47	2,35
157	K-2/3/30-14	Brno-Medlánky	49,240976	16,572959	1	1	2,21	2,32	2,22

ID	Označení OK	Název obce	GPS - N	GPS - E	Skutečný počet DN 2009–2016	Skutečná závažnost 2009–2016	Očekávaný počet DN Model 8	Očekávaná závažnost Model 10	EB odhad
107	G-2/3/39-55	Jablonec nad Nisou	50,717398	15,163182	0	0	3,55	3,46	2,00
32	B-1/3/43-97	Všechromy	49,945194	14,650355	1	2,24	2,38	2,26	1,96
105	G-2/3/28-49	Mimoň	50,660491	14,724528	4	4	1,89	1,97	1,78
75	E-2/3/31-59	Aš	50,225696	12,187559	4	6,66	1,04	1,04	1,71
188	N-2/3/35-10	Petrovice u Karviné	49,896138	18,544664	0	0	1,92	2,02	1,62
139	I-2/4/31-29	Choceň	50,006463	16,221547	3	38,87	1,38	1,48	1,57
33	B-1/3/62-48	Lány	50,129720	13,957552	0	0	1,87	1,77	1,55
160	K-2/4/31-48	Brno-Komárov	49,165908	16,616757	1	1	2,50	2,38	1,48
108	G-2/4/25-69	Chrastava	50,814619	14,961924	5	6,71	1,16	1,04	1,46
39	B-1/5/60-59	Lány	50,121979	13,934916	0	0	1,39	1,33	1,40
72	E-1/4/54-5	Karlovy Vary	50,223256	12,805373	2	2,88	0,50	1,10	0,00
110	G-2/4/30-1	Česká Lípa	50,684738	14,546389	10	11,46	0,40	1,00	0,00
194	N-2/4/40-11	Havířov	49,790956	18,413718	3	4,24	0,35	0,90	0,00

Následuje mapa hodnocení bezpečnosti vybraných 200 OK v ČR. K úpravě je doporučeno:

- horních 5 % křižovatek dle EB odhadu (červeně),
- horních 10 % křižovatek dle EB odhadu (oranžově),
- horních 15 % křižovatek dle EB odhadu (žlutě),
- zbylých 85 % křižovatek (zeleně).



obr. 78. Mapa kritických OK ze vzorku 200 křižovatek

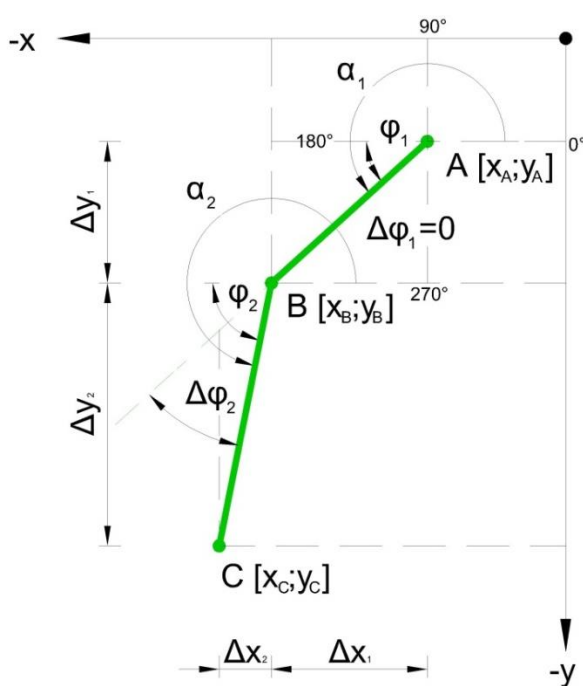
PŘÍLOHA D. TRAJEKTORIE POHYBU VOZIDLA

Trajektorie pohybu vozidla (v případě této práce měřicího vozidla) je skupina po sobě jdoucích bodů, které definují polohu vozidla vůči počátku souřadnicového systému (S-JTSK, GPS). Trajektorie je vytvořena odečítáním charakteristik polohy vozidla za pohybu v reálném čase. Výstupem je grafické znázornění trasy vozidla v souřadnicovém systému, kdy v každém bodě trasy lze číst informace o stavu vozidla (např. rychlost, náklon, čas, souřadnice, zrychlení).

Následuje popis postupu analýzy trajektorie pohybu vozidla za přímého průjezdu OK za účelem identifikace parametrů charakteristického směrového polygonu (přímá, pravý oblouk, levý oblouk, pravý oblouk, přímá).

Body (souřadnice S-JTSK)

Souřadnice bodů (X, Y) byly pořízeny měřicí jednotkou GPS vestavěnou měřicímu vozidlu při frekvenci 100 Hz (10krát za sekundu). Každý bod představuje skupinu měřených charakteristik, ze kterých lze odvodit polohu, směr pohybu, zrychlení aj. Na obr. 79. je znázorněna obecná trajektorie pohybu vozidla (z počátečního bodu A do koncového bodu C přes bod B).



- Legenda:*
 Bod A ... počáteční bod
 Bod B... mezilehlý bod
 Bod C ... koncový bod
 X_i... souřadnice bodu (osa X)
 Y_i... souřadnice bodu (osa Y)
 α_i... směrový úhel
 φ_i... úhlová odchylka
 Δx... přírůstek ve směru pohybu na ose X
 Δy... přírůstek ve směru pohybu osy Y
 Δφ... odchylka směru pohybu

obr. 79. Obecná trajektorie pohybu vozidla

Stanovení směrového úhlu φ_i

Směrový úhel φ_i představuje hodnotu ve stupních, kterou nabývá úhel, jež svírá kladná osa X a osa směru pohybu k následujícímu bodu (B) pohybu vozidla. Úhel je stanoven z rozdílu souřadnic po sobě jdoucích bodů (B – A) goniometrickými funkcemi.

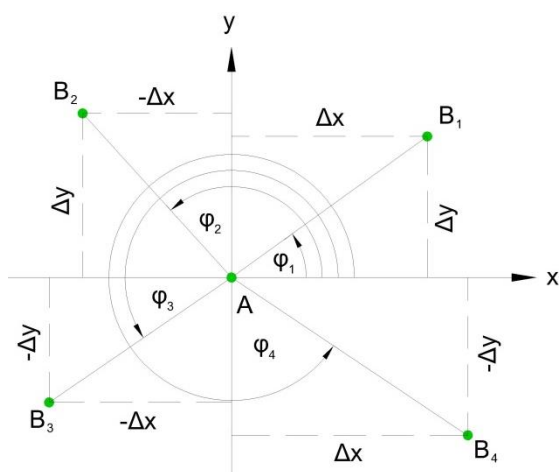
(64) Rozdíl souřadnic

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_B - X_A \\ \Delta Y &= Y_B - Y_A \end{aligned} \quad [m]$$

Jelikož rozdíl souřadnic Δ po sobě jdoucích bodů může nabývat kladných (+Δ) i záporných (-Δ) hodnot, bylo nutné zavést do výpočtu směrového úhlu φ_i podmínku, která zohlední jeho orientaci vůči

souřadnicovému systému (S-JTSK) dle výskytu následujícího bodu B v kvadrantu (I, II, III, IV) relativního souřadnicového systému vůči poloze bodu A.

Ve vzorci (65) jsou uvedeny případy kladných a záporných hodnot rozdílů souřadnic (ΔX ; ΔY). Uvažuje se rozdíl vždy následujícího bodu (B) a výchozího bodu (A). Pokud jsou oba rozdíly kladné, je posun po trajektorii orientován ve směru kvadrantu jedna. Pomocí goniometrické funkce (tangens φ) je potom určen směrový úhel. Pokud rozdíly souřadnic bodů vycházejí v jiných kvadrantech, tak se dle podmínky přičítá k vypočtenému úhlu hodnota 90, 180 nebo 270 °. Díky této úpravě lze z hodnoty směrového úhlu odhadnout orientaci pohybu vozidla dle směrových stran.



Podmínky úhlu:
 Pokud je:
 (+ ΔX ; + ΔY) ... 1. kvadrant

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\Delta Y}{\Delta X}; \alpha_n = \varphi_i \quad [-]$$

(- ΔX ; + ΔY) ... 2. kvadrant

$$\left(\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right); \alpha_n = \varphi_i + 90 \quad [-]$$

(- ΔX ; - ΔY) ... 3. kvadrant

$$\left(\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right); \alpha_n = \varphi_i + 180 \quad [-]$$

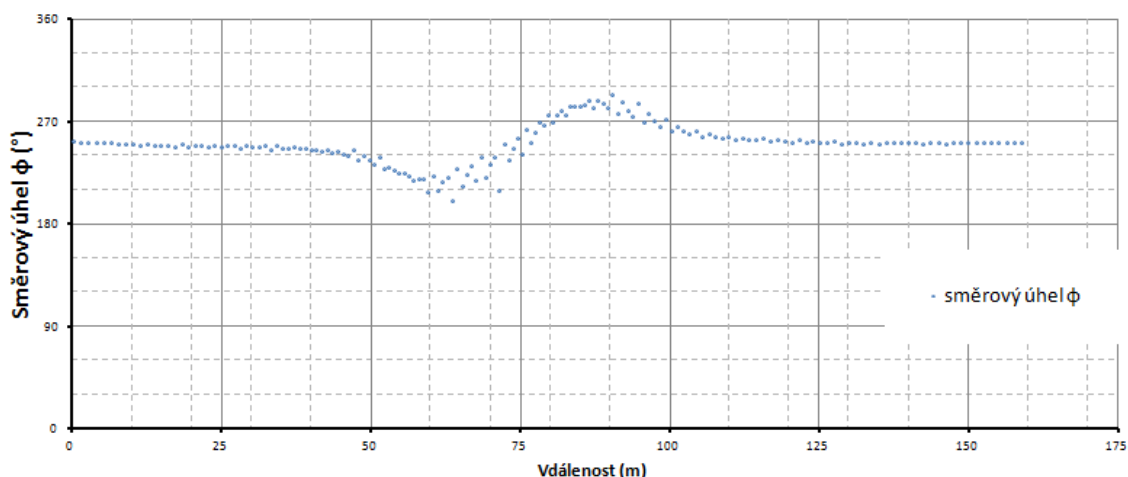
(+ ΔX ; - ΔY) ... 4. kvadrant

$$\left(\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right); \alpha_n = \varphi_i + 270 \quad [-]$$

(65) Směrový úhel φ_i

obr. 80. Výpočet směrového úhlu φ_i

Průběh směrového úhlu φ_i při přímém průjezdu OK (z vjezdu do protějšího výjezdu) je znázorněn na obr. 81. v závislosti na vzdálenosti od počátku trajektorie. Průběh směrového úhlu φ_i lze rozdělit do několika částí: konstantní hodnoty úhlu naznačují pohyb po přímce, měnící se hodnoty znamenají pohyb po křivce, hodnoty v klesající nebo rostoucí přímce znamenají kružnici.



obr. 81. Směrový úhel φ_i

Stanovení směrového úhlu φ_i pro jednotlivé body trajektorie pohybu vozidla je velmi důležité pro rekonstrukci pohybu vozidla na OK. V této práci se vychází z předpokladu, že vozidlo na OK přijíždí po přímce, vjíždí po dráze blízké kružnici směrem doprava, pohyb po okruhu má tvar blízký

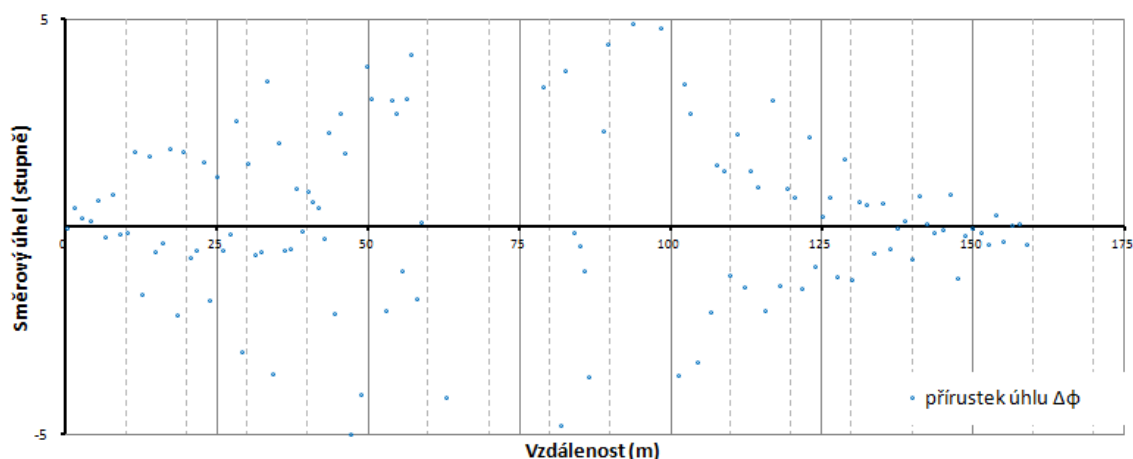
levotočivé kružnici, výjezd má tvar blízky pravotočivé kružnici a dále vozidlo pokračuje opět po přímce. Jedná se tedy o soustavu tří protilehlých oblouků, které mají tvar blízky kružnici (viz obr. 94.). Křivková část pohybu vozidla po přechodnici je zanedbána, i když je v reálném provozu velmi pravděpodobná. V případě pohybu vozidla v prostoru OK nedochází k vytváření dlouhých přechodnic, které by měly za následek velké hodnoty úhlu τ , který by mohl ovlivňovat model nehodovosti. Pro účely této práce postačí nahrazení složeného oblouku (přechodnice, kružnice, přechodnice) pouze kružnicovou částí.

Stanovení odchylky směru $\Delta\varphi_i$

Ze směrového úhlu φ_i se vypočte odchylka směru $\Delta\varphi_i$. Ta představuje rozdíl následujícího směrového úhlu φ_i a předchozího φ_{i-1} . Odchylka směru $\Delta\varphi_i$ v počátečním bodě ($i = 0$) nabývá hodnoty 0. Tomuto bodu nepředchází žádná souřadnice. V tomto místě nabývá hodnoty pouze směrový úhel ($\varphi_i = 0$ až 360).

(66) Odchylka směrů $\Delta\varphi_i$ $\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_{i-1}$ [stupně]

Následující obr. 82. znázorňuje průběh odchylky směru $\Delta\varphi_i$ (modré body) ze směrových úhlů odvozený z po sobě jdoucích bodů. Souřadnice bodů vykazují odchylku (systematickou instrumentální chybu měřicí jednotky GPS).



obr. 82. Odchylka směrů $\Delta\varphi_i$

Instrumentální chyba se projevuje především odchylkou od skutečné polohy, ale také samotným způsobem měření. Jelikož jsou parametry trajektorie odečítány s frekvencí 10krát za sekundu, dochází ke vzniku systematické chyby ve vzdálenosti bodů vlivem rychlosti vozidla.

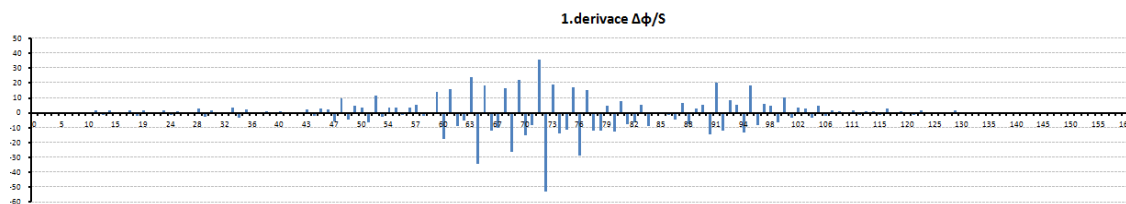
Vzdálenost bodů

Vzdálenost bodů je vypočtena z Pythagorovy věty (vzorec (67)). Vzdálenost je ovlivněna rychlostí pohybujícího se vozidla. Důkazem je 1. derivace odchylky směrů $\Delta\varphi_i$ dle vzdálenosti mezi body S_i (viz obr. 83) a derivace odchylky směrů $\Delta\varphi_i$ dle rychlosti V_i (viz obr. 84.).

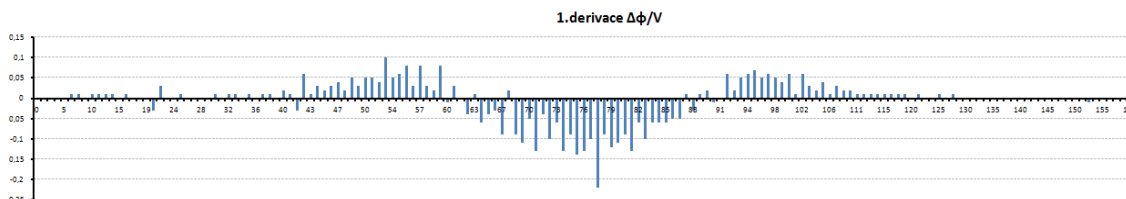
(67) Vzdálenost bodů $s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ [m]

Odchylka směrů $\Delta\varphi_i$ je nejvíce ovlivněna právě v křivkových částech trajektorie, kde dochází ke změně rychlosti vozidla, to znamená, že se mění i vzdálenost bodů trajektorie.

Vliv rychlosti vozidla V_i na vzdálenost bodů je znatelný právě v křivkových částech trajektorie, jelikož se jeho rychlost při průjezdu OK musí přizpůsobit geometrii (stavební úpravě) křižovatky, to znamená, že vozidlo zpomaluje při vjezdu do křižovatky. Konstantní rychlost drží na okruhu a zrychluje při výjezdu.

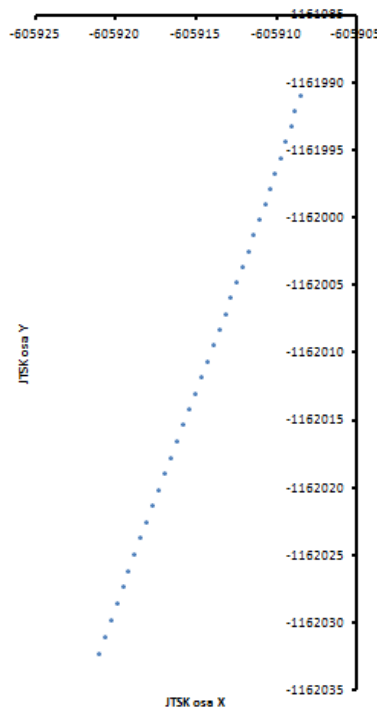
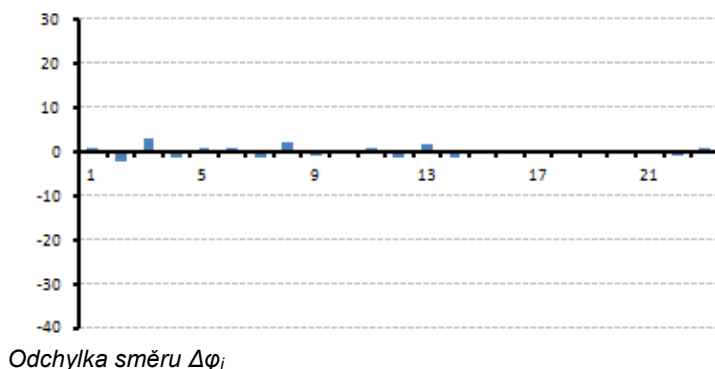
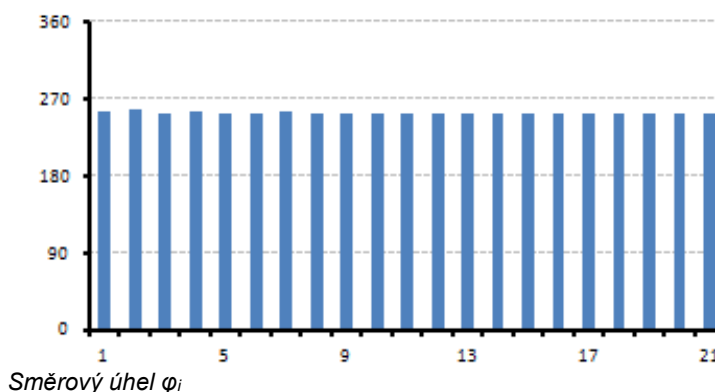


obr. 83. Derivace odchyly směru $\Delta\phi_i$ podle vzdálenosti



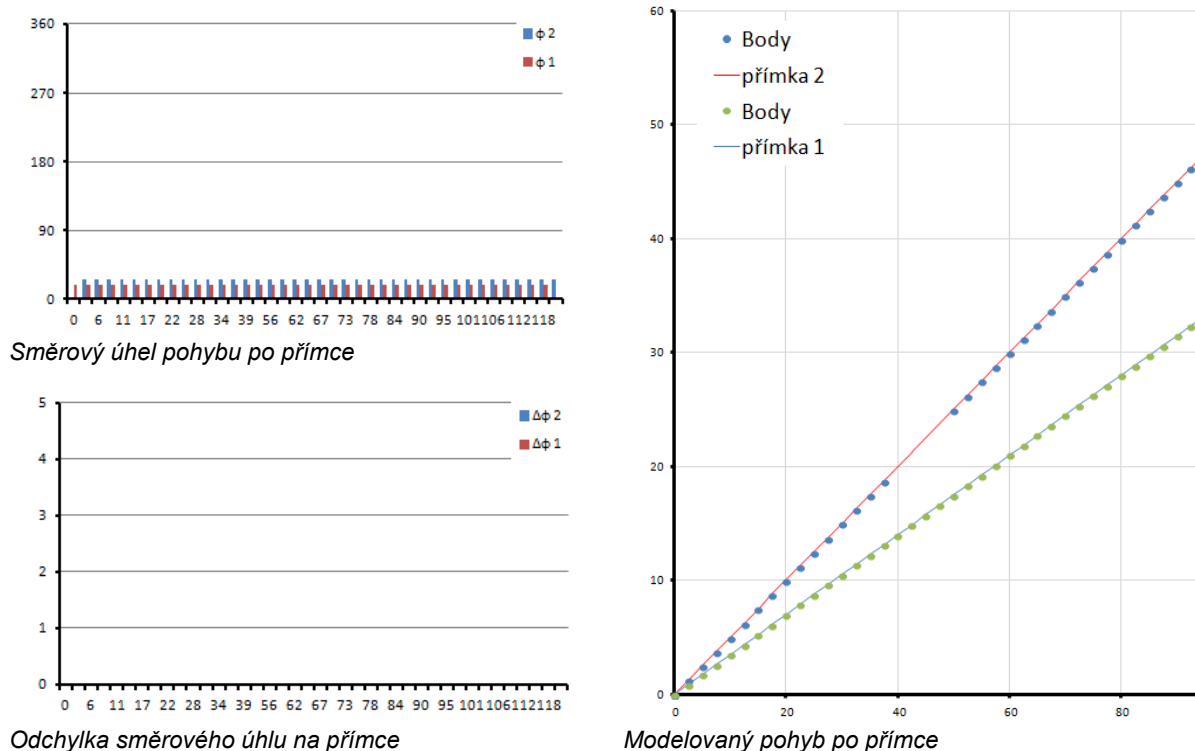
obr. 84. Derivace odchyly směru $\Delta\phi_i$ podle rychlosti

Přímý směr pohybu vozidla je prezentován přímkou. Směrový úhel ϕ_i pohybujícího se vozidla nabývá stále stejných hodnot (např. na sever = 90 °). To znamená, že ani odchylna směrů $\Delta\phi_i$ nemůže nabývat významných hodnot (doloženo na obr. 85.). Konstantně se pohybuje kolem nuly.



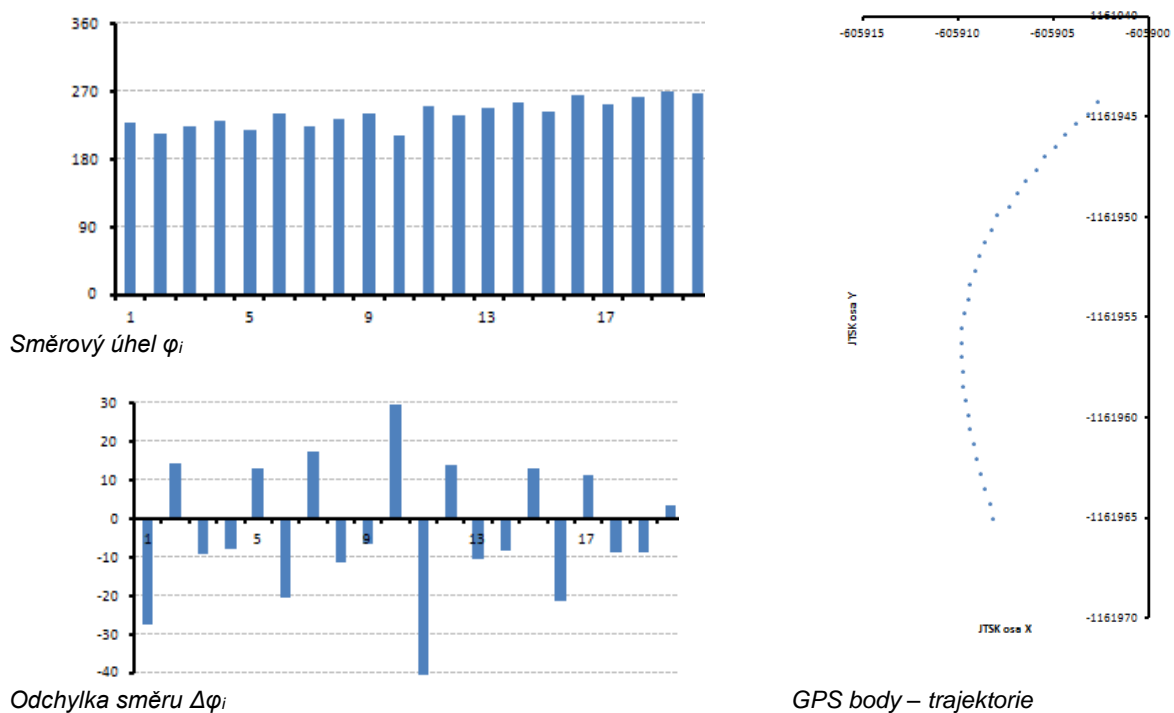
obr. 85. Body – měřená přímka

Ideální případ pohybu vozidla po přímce při zachování rychlosti vykazuje následující (viz obr. 86.): směrový úhel nabývá stále stejných hodnot, odchylna směru nabývá nulových hodnot, v případě jednorázové změny rychlosti dojde pouze k ovlivnění vzdálenosti bodů na jednom úseku, úhly zůstávají nezměněny. Při změně rychlosti nedochází ke změně směrového úhlu ani odchylny směru.



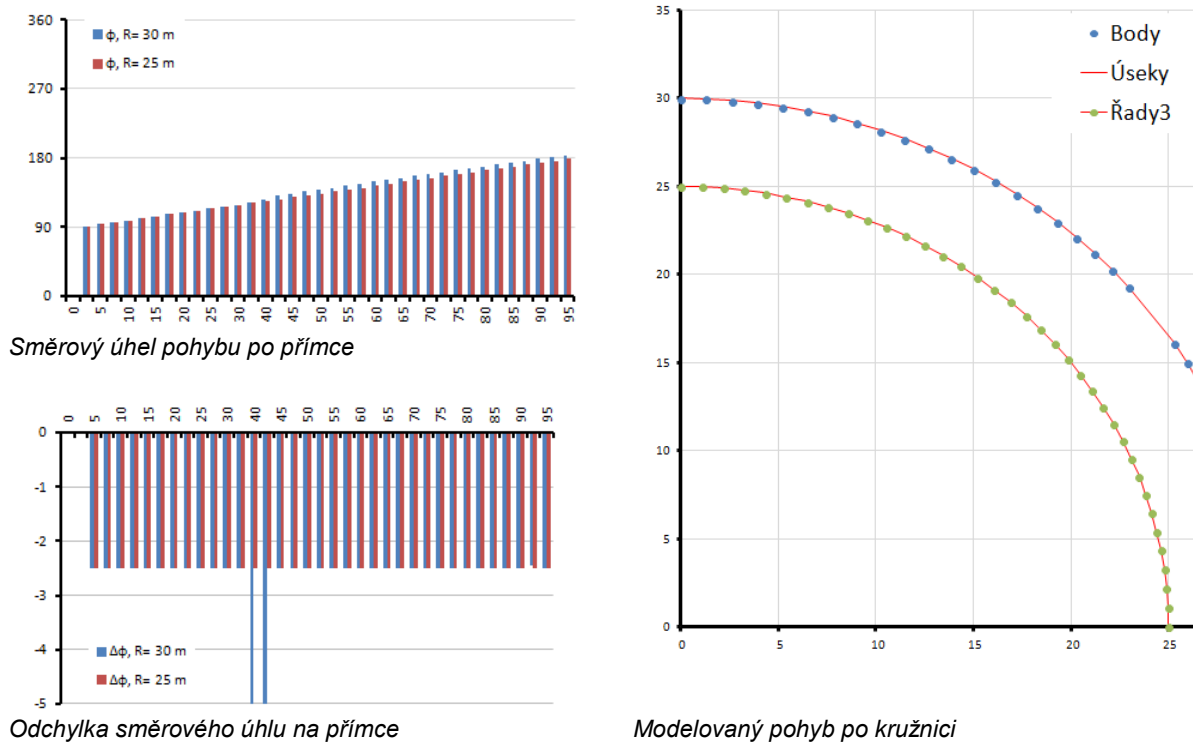
obr. 86. Model přímky

Změna směru pohybu vozidla je prezentována křivkovou částí. V případě změny směru pohybu vozidla směrový úhel ϕ_i nabývá v každém bodě jiné hodnoty až do doby, kdy vozidlo dosáhne svého nového cílového směru (opustí pohyb po křivce a přejde v přímku). Odchylka směru $\Delta\phi_i$ v tomto případě nabývá konstantních hodnot. Pokud při pohybu po křivce dochází ke změně rychlosti vozidla, dochází ke změně vzdálenosti bodů, tím i ke změně odchylky směru $\Delta\phi_i$ (doloženo na obr. 87.).



obr. 87. Body – měřená křivka (oblouk)

Ideální případ pohybu vozidla po křivce (kružnici) při zachování rychlosti vykazuje následující obr. 88.: směrový úhel nabývá rostoucích nebo klesajících hodnot, odchylka směru nabývá konstantních hodnot, v případě jednorázové změny rychlosti dojde k ovlivnění vzdálenosti bodů na jednom úseku, odchylka směru se jednorázově změní, směrový úhel se změní. Při změně rychlosti dochází ke změně směrového úhlu a odchylky směru.



obr. 88. Model kružnice

Vlivem rychlosti vozidla dochází ke změně vzdáleností bodů, a tím i ke změnám ve směrových úhlech (včetně odchylek směru). Pro identifikaci přímkových a křivkových částí trajektorie je nezbytné stanovit podmínky pro hledání těchto prvků.

V této práci se vychází z odchylky směru pohybu vozidla $\Delta\phi_i$ s ohledem na jeho přechod do jiné části trajektorie. Dle derivace odchylek směru $\Delta\phi_i$ podle vzdálenosti bodů S lze identifikovat přechodové oblasti (hranice prvků). Měřená data jednotlivých bodů však nekopírují modelovaný tvar přímek a oblouků. Řady bodů se těmito tvarům pouze podobají. Teprve vyrovnáním těchto řad dochází k redukci odchylek $\Delta\phi_i$ a k přesné identifikaci hranice prvku (přímky, křivky).

Podmínka sledované vzdálenosti

Podmínka vzdálenosti slouží k identifikaci počtu úseků (vzdáleností bodů), pro které se stanovuje vážený průměr směrového úhlu ϕ_i . Tento průměr se počítá pro vyrovnání řady bodů a jejího ošetření o vliv rychlosti V_i . Počet úseků se stanovuje ze sledované rychlosti, která je pro účely této práce s ohledem na užitý model měřicího vozidla stanovena na 10 m.

$$(68) \text{ Sledovaná vzdálenost} \quad S = 1,5 \cdot \text{délka vozidla} = 10 \quad [\text{m}]$$

Samotný počet úseků se stanoví jako součet po sobě jdoucích vzdáleností bodů, který je menší nebo roven sledované vzdálenosti.

(69) Počet úseků – krok 1
$$\sum_{i=1}^t x_{i,j} = MAX \left\{ k \in \{1, 2, \dots, n\}, \sum_{i=1}^k s_i \leq S \right\} \quad [-]$$

Po stanovení počtu úseků v první pozici, kde $n = 1$ až P_u , kde P_u je počet úseků, dojde k přiřazení hodnoty počtu úseků na střed celého posuzovaného intervalu $S = \langle 1 ; P_u \rangle$.

(70) Počet úseků – krok 2
$$\sum_{i=j+1}^t x_i, P = MAX \left\{ k \in \{j + 1, \dots, n\}, \sum_{i=j+1}^k s_i \leq S \right\} \quad [-]$$

V dalším kroku se podmínka stanovení počtu úseků posouvá o pozici dále, tedy $n = 2$. Výsledek se opět zapisuje na prostřední pozici. Pokud je počet úseků sudý, vyplňují se dvě prostřední pozice. První neobsazené pozice počtu úseků se vyplňují první obsazenou hodnotou. Takto se vytváří klouzavá hodnota počtu úseků od prvního členu řady až po poslední.

(71) Počet úseků – krok 3
$$\sum_{i=p+1}^t x_i, t = MAX \left\{ k \in \{p + 1, \dots, n\}, \sum_{i=p+1}^k s_i \leq S \right\} \quad [-]$$

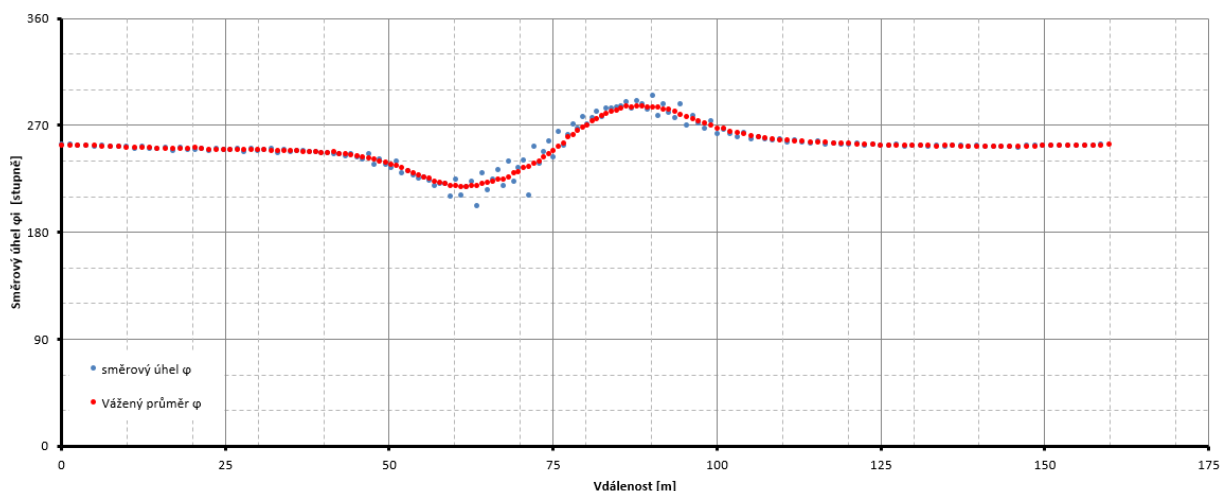
Počet úseků definuje počet hodnot směrového úhlu, ze kterých se bude počítat vážený průměr směrového úhlu φ_i .

Vyrovnání směrového úhlu φ_i

Vyrovnaný směrový úhel φ_i se vypočítá z váženého průměru původních směrových úhlů φ_i (dle výpočtu ze souřadnic bodů) s váhou vzdálenosti bodů S , viz následující vzorec (72). Hodnota se opět přiřazuje na střed zkoumaného intervalu bodů dle podmínky sledované vzdálenosti.

(72) Vážený průměr směrového úhlu φ_i
$$\varphi_i = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \cdot \varphi_i}{\sum_{i=1}^n s_i} \quad [\text{stupně}]$$

Na následujícím obr. 89. je prezentován vyrovnaný směrový úhel φ_i , který je ošetřen o vliv změny rychlosti vozidla na průjezdu.



obr. 89. Vyrovnaný směrový úhel φ_i

Vyrovnaní odchylky směru $\Delta\varphi_i$ na střed

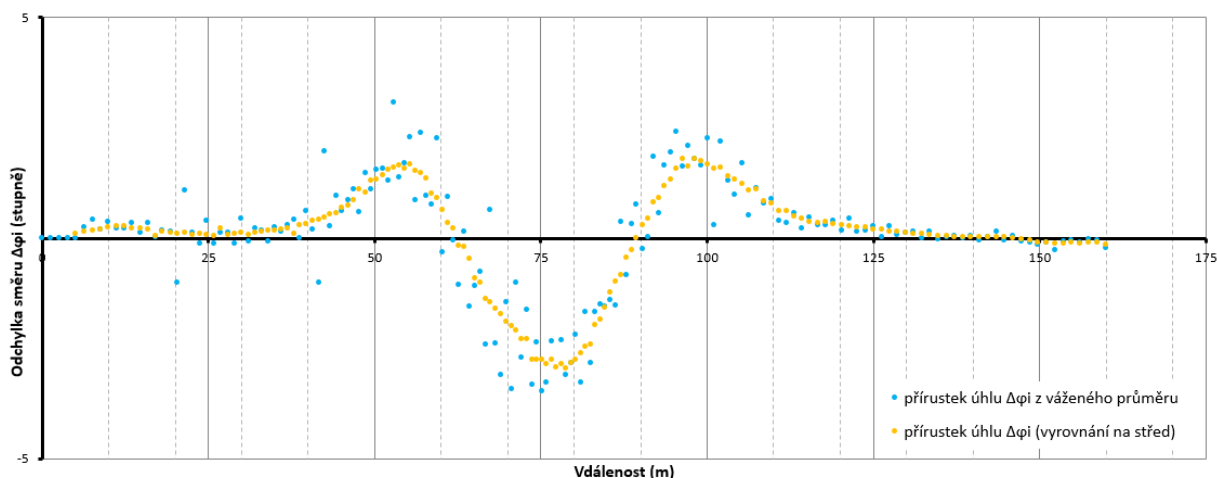
Odstranění vlivu vzdálenosti bodů na směrový úhel φ_i dochází i k vyrovnaní řady hodnot směrových úhlů φ_i . Nyní je vhodné stanovit hodnotu odchylky směru obdobným způsobem jako u předchozí odchylky, tedy rozdílem následující hodnoty směrového úhlu od předchozí (modré body na obr. 90.).

Následuje vyrovnaní průměrné odchylky směru $\Delta\varphi_i$ na střed intervalu sledované vzdálenosti.

(73) Průměr odchylky směru $\Delta\varphi_i$ [stupně]

$$\overline{x_{\Delta\varphi_i}} = \frac{1}{P_u} \sum_{i=1}^{P_u} \Delta\varphi_i$$

Průměrnou hodnotou odchylky směru $\Delta\varphi_i$ je dosaženo vyrovnaní řady změny směru. Nyní je možné přistoupit k přibližnému odhadu hranice počátku a typu prvků trajektorie.



obr. 90. Vyrovnaná odchylka směru $\Delta\varphi_i$

Stanovení rozptylu a směrodatné odchylky směrového úhlu φ_i

Z předchozích kapitol vyplývá, že pohyb vozidla po přímce vykazuje jistá specifika směrového úhlu φ_i . Tato specifika lze vyhledat pomocí rozptylu směrového úhlu φ_i a jeho směrodatné odchylky.

(74) Rozptyl směrového úhlu φ_i [stupně]

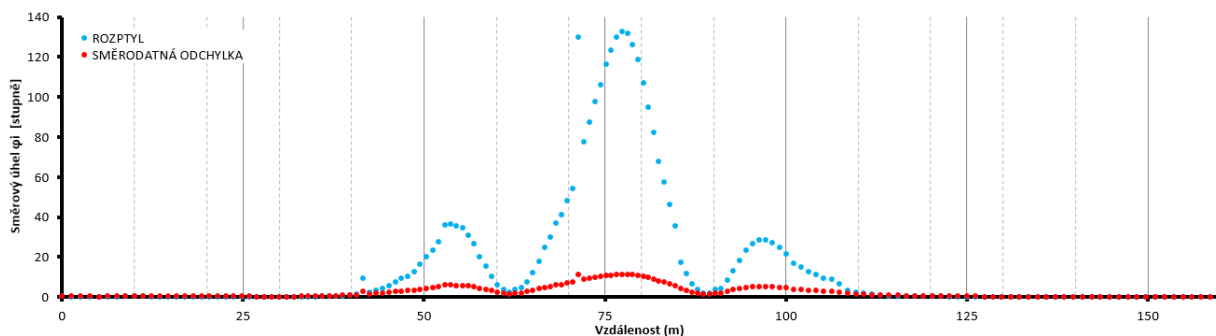
$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 - [\overline{x_{\varphi_i}}]^2$$

Pokud rozptyl hodnot směrového úhlu φ_i náležící do intervalu dle podmínky sledované vzdálenosti (daný počet úseku nepřesahující v součtu 10 m) nabývá stále stejných (nulových) hodnot, jedná se o přímku. Pokud se rozptyl mění od nuly, jedná se o křivku.

(75) Směrodatná odchylka směrového úhlu φ_i [stupně]

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

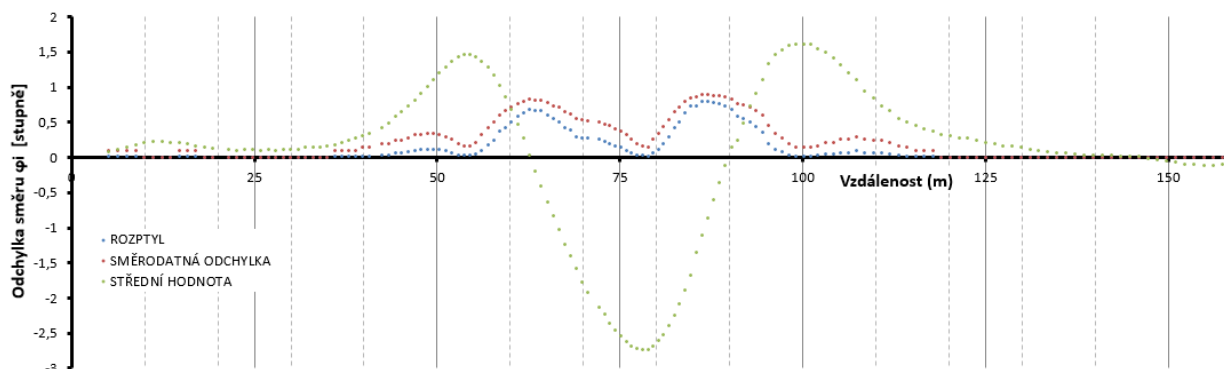
Směrodatná odchylka udává míru odlišnosti hodnot směrového úhlu φ_i v rámci zkoumaného intervalu. V místech, kde dochází k protnutí řady rozptylu a směrodatné odchylky, se nacházejí hranice prvků trajektorie (viz obr. 91.).



obr. 91. Rozptyl, směrodatná odchylka – směrový úhel φ_i

Stanovení rozptylu a směrodatné odchylky směru $\Delta\varphi_i$

Stanovení rozptylu a směrodatné odchylky pro odchylku směru $\Delta\varphi_i$ se provede obdobným způsobem a ze stejných důvodů jako u předchozího kroku. Střední hodnota (zelené body na obr. 92.) odchylky směru udává také hranice prvků trajektorie.



obr. 92. Rozptyl, směrodatná odchylka – odchylka směru $\Delta\varphi_i$

Identifikace prvku trajektorie

Identifikace prvků trajektorie vychází z průběhu rozptylu, směrodatné odchylky vyrovnaného směrového úhlu φ_i a odchylky směru $\Delta\varphi_i$. Identifikace prvku trajektorie se provádí od prvního směrového úhlu φ_i , kde $i = 1$ až po poslední prvek $i = n$.

Přímka vykazuje jen minimální rozdíl mezi rozptylem a směrodatnou odchylkou směrového úhlu φ_i . V této práci je zavedena tolerance $0,5^\circ$.

(76) Podmínka pro přímku $|\sigma^2 - \sigma| < 0,5$ [stupně]

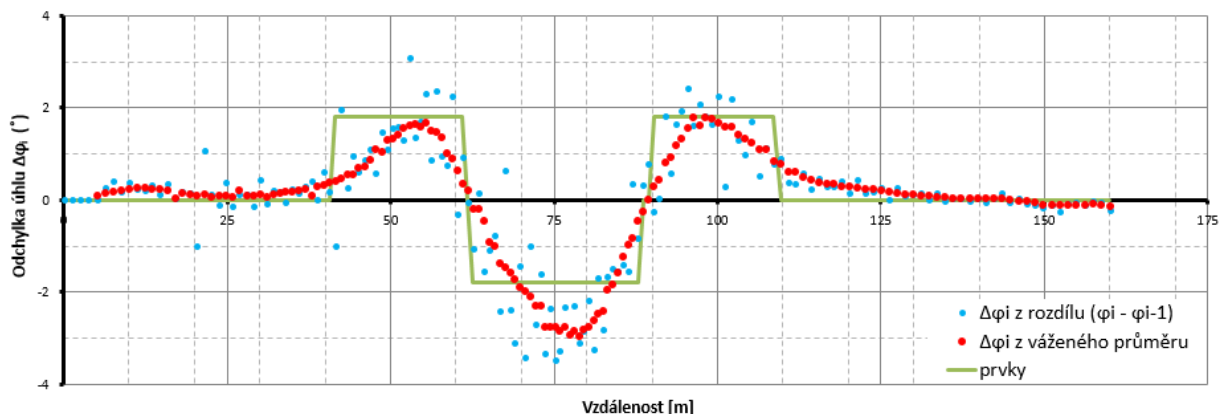
Pravý oblouk vykazuje kladné hodnoty odchylky směru $\Delta\varphi_i$. V první řadě je však nutné vyloučit výskyt přímky.

(77) Podmínka pro pravý oblouk $\Delta\varphi_i > 0$ [stupně]

Levý oblouk vykazuje záporné hodnoty odchylky směru $\Delta\varphi_i$. Opět je nutné nejprve vyloučit výskyt přímky.

(78) Podmínka pro levý oblouk $\Delta\varphi_i < 0$ [stupně]

Na obr. 93. je znázorněn průběh prvků na trajektorii při průjezdu křižovatkou v tomto pořadí: přímka, pravý oblouk, levý oblouk, pravý oblouk a přímka.



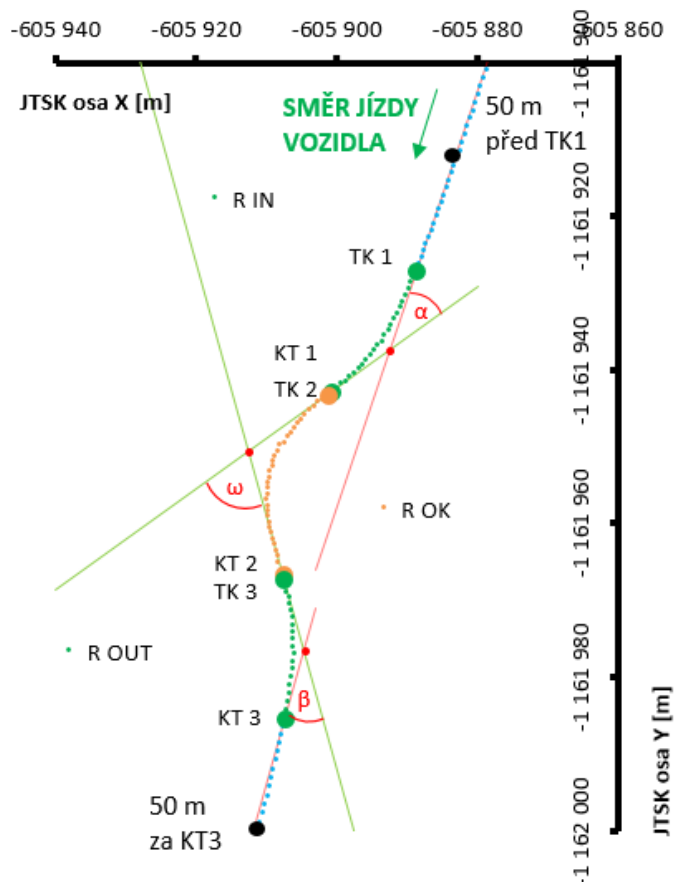
obr. 93. Identifikace prvků trajektorie pomocí rozdílů směrových úhlů

Hranice počátku každého prvku se určí posloupností řady směrových úhlů. Z analýzy identifikace prvku trajektorie se každému přiřadí 0, 1 nebo -1. První změna v pořadí udává hranici prvku. Počátek náleží v poloze $i = 1$.

U některých trajektorií dochází k nahodilému výskytu střídání prvků v posloupnosti řady. Jedná se především o inflexní části trajektorie, kdy prvky mezi sebou přecházejí. Tyto zdánlivě náhodné hodnoty jsou ve výpočtu kompenzovány analytickou podmínkou prvku, tak aby v případě ojedinělého výskytu (0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, ...) byl prvek nahrazen následujícím (0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, ...).

Parametrizace prvku trajektorie

Přímka pro analýzu prvku není nijak významná. Označuje pouze počátek navazující obloukové části. U prvního oblouku je nezbytné identifikovat počáteční, prostřední a poslední bod. Nutné je získat souřadnice bodů v metrech (počátek [A; B]; prostředek [C; D]; konec [E; F]). Provede se dosazení do rovnice kružnice a vypočte se soustava tří rovnic o třech neznámých. Tak se vypočtou souřadnice středu kružnice. Na základě polohy středu kružnice, počátku a konce oblouku se vypočte úhel na vjezdu α , který je dle konstrukce směrového polygonu (přímka, kružnice, přímka) stejný jak v jeho vrcholu, tak ve výseči oblouku. Poloměr oblouku se stanoví z rozdílu středu kružnice a počátečního bodu oblouku (dle goniometrických funkcí a Pythagorovy věty).



obr. 94. Prvky trajektorie

Na obr. 94. je znázorněna trajektorie pohybu vozidla na průjezdu OK, která je proložena směrovým polygonem. Návrh zobrazuje jednotlivé prvky a body, kde přímka přechází v kružnicovou část.

(79) Rovnice kružnice $r^2 = (x - M)^2 + (x - N)^2$ [-]

(80) Rovnice kružnice – parametr N
$$N = \frac{(E^2 + F^2 - C^2 - D^2)(C - A) - (C^2 + D^2 - A^2 - B^2)(E - C)}{2[(B - D)(E - C) - (D - F)(C - A)]}$$
 [-]

(81) Rovnice kružnice – parametr M
$$M = \frac{C^2 + D^2 + A^2 + B^2 + 2N(B - D)}{2C - 2A}$$
 [-]

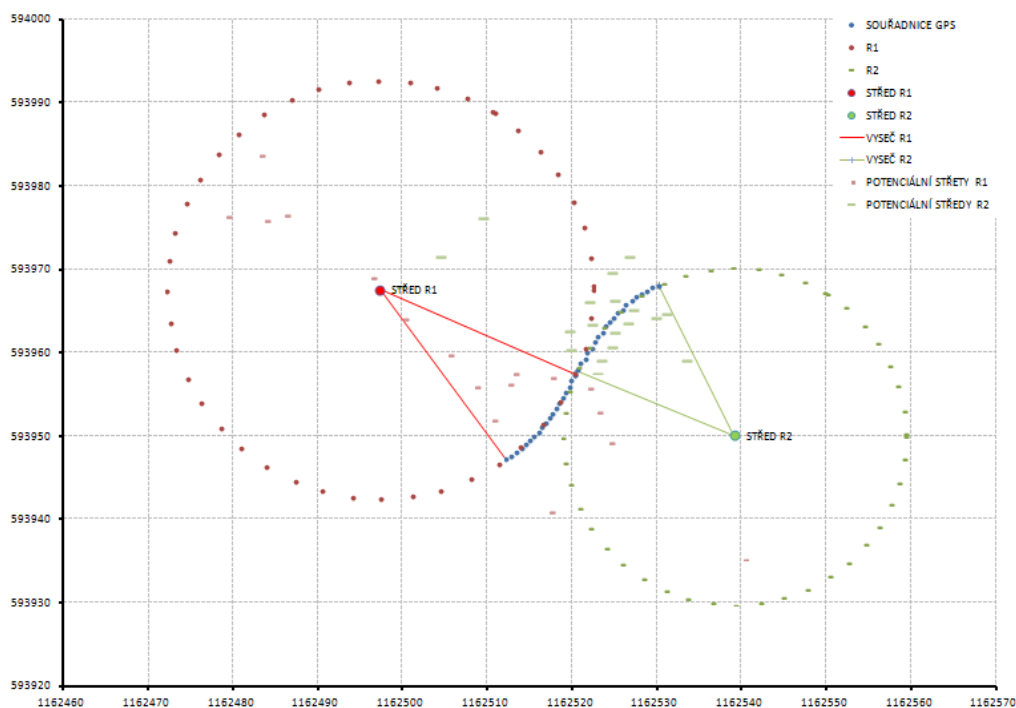
Vjezdový (α), průjezdný (ω) ale i výjezdový úhel (β) se stanoví obdobným postupem. Je nutné identifikovat vždy střed kružnice a počátek oblouku.

(82) Vjezdový úhel $\alpha = \varphi(S_{Rin\ počátek}; S_{Rin\ počátek}) - \varphi(S_{Rin\ konec}; S_{Rin\ konec})$ [stupně]

Vjezdový (R_{in}), průjezdný (R_{circle}), ale i výjezdový poloměr (R_{out}) se stanoví obdobným postupem. Je také nutné identifikovat vždy střed kružnice a počátek oblouku, určit rozdíl jejich souřadnic Δ , následně poloměr R Pythagorovou větou.

(83) Vjezdový poloměr
$$R = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$
 [m]

Pomocí výše uvedené analýzy trajektorie pohybu vozidla při přímém průjezdu OK je možné stanovit reálné parametry úhlů a poloměrů průjezdu vozidla OK, které jsou ovlivněny stavebními úpravami křižovatky a jejím dopravním zatížením. Na následujícím obr. 95. jsou znázorněny dva protilehlé oblouky, které jsou proloženy kružnicemi. Na jejich styku je identifikován inflexní bod, kde vozidlo přechází z levého do pravého oblouku. V tomto místě lze hledat i krátkou přímou, která však vjezdový úhel ani poloměr neovlivní.



obr. 95. Trajektorie – inflex

Vliv směrového úhlu polygonu na poloměr oblouku

Z korelační analýzy vyplývá vztah mezi směrovým úhlem a poloměr oblouku (viz tab. 20. na straně 72). Tato skutečnost vylučuje použití vjezdového poloměru jako vysvětlující proměnné v modelu.

Pomocí analýzy trajektorie pohybu vozidla byly identifikovány její přímkové a křivkové části. Křivková část v některých výjimečných případech odpovídá průjezdu po kružnici. Ve většině případů se však jedná o přechodovou křivku, která je podobná klotoidě, která je běžně využívána pro navrhování směrových oblouků PK. Tato práce se dále nezabývala bližším určením parametrů této průjezdové křivky.

Pro bezpečnostní analýzu se směrový úhel α jevil jako významnější. Tím však není vliv poloměru nijak popírán. Pro jeho parametrizaci bude nutné provést četnější průjezdy se zajištěním variability jak řidičů, tak vozidel. Toto v rámci dizertační práce není možné.

PŘÍLOHA E. MĚŘICÍ VOZIDLO

Vestavěná GPS jednotka má přesnost v horizontálním měření 1,0 m, ve vertikálním měření 2,0 m. Při měření rychlosti výrobce uvádí 0,1 m/s. Přístroj zaručuje nízkou chybu časové odezvy při měření vzdáleností mezi přístrojem a GPS menší než 2 ns.



Vozidlo



Vyhodnocovací jednotka



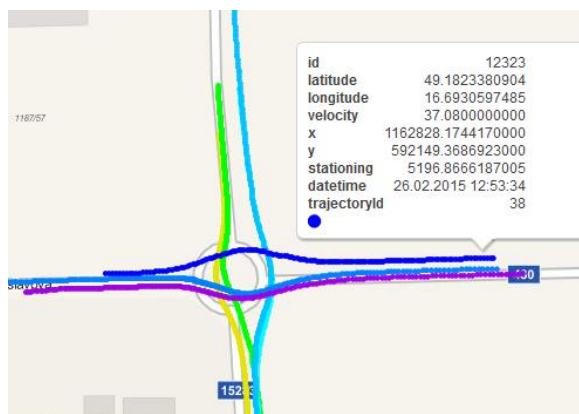
Kabina

obr. 96. Měřicí vozidlo (inspekční vozidlo)

HW vybavením měřicího vozidla je: vyhodnocovací jednotka, GPS jednotka (přesnost měření 2 m), gyroskopický snímač, digitální kamery (přední, boční, zadní), tablet, PC a další snímače. Na obr. 97. je zobrazen vzorek více průjezdů měřicího vozidla na stejné křižovatce.

Výstupy z průjezdu měřicího vozidla na OK

Na obr. 97. je zobrazeno 6 trajektorií pohybu měřicího vozidla na přímém průjezdu OK. Podklad je mapa StreetNet.



obr. 97. Trajektorie: OK – Bedřichovická (Brno-Slatina)

Trajektorie zachycují vychýlení trasy vozidla při přímém průjezdu OK. Lze tedy grafickou analýzou trajektorie určit vjezdový α , výjezdový úhel β a dále úhel na přímém průjezdu ω .

Pokud bude v jednom směru realizováno více průjezdů, je možné určit průměrnou hodnotu těchto parametrů.

tab. 39. Měřicí vozidlo: zaznamenávané charakteristiky

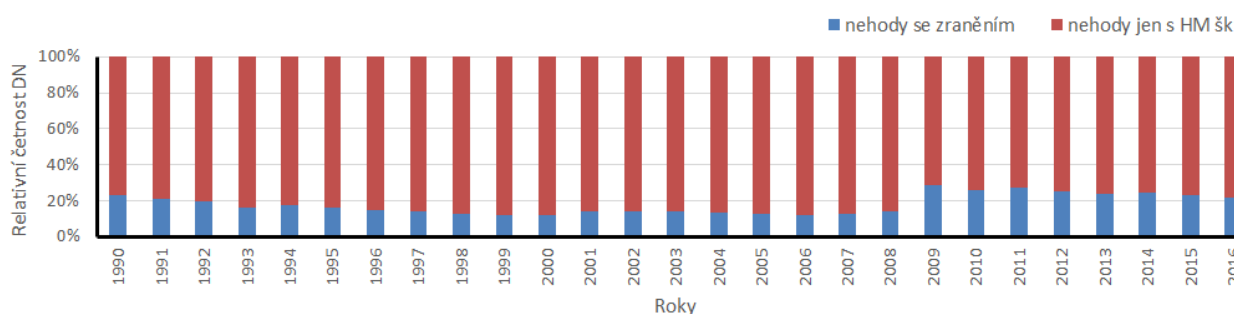
Charakteristika	Jednotka
identifikační údaje záznamu	(-)
staničení	(m)
rychlost	(km/h)
čas záznamu	dd.mm.rrrr hh:mm:ss
zrychlení	m/s ²
souřadnice GPS	N xx°x.xxxxx', E xx°x.xxxxx'
souřadnice S-JTSK	(lat, lon) (m)
výška v metrech	(x, y) (m)
vektorová rychlost	(m/s)

Poznámka: Charakteristiky v tabulce jsou získávány měřicí jednotou a gyroskopem vestavěným inspekčnímu vozidlu.

PŘÍLOHA F. PŘEHLED NEHODOVOSTI DLE STATISTIKY PČR

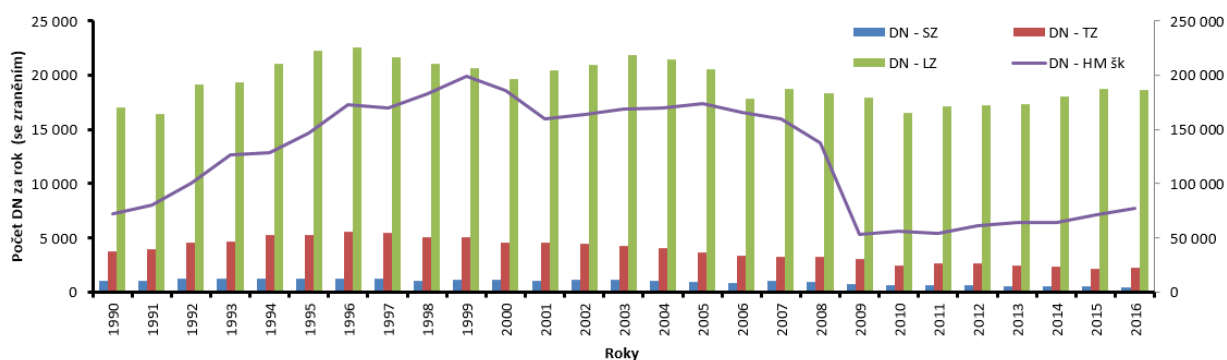
Policie ČR na svých stránkách umožňuje nahlédnout do ročenky *Statistiky dopravní nehodovosti* [114.], kde uvádí základní údaje o DN na území ČR. Statistika poskytuje přehled DN dle zranění, škody, zavinění, příčiny, místa, dále pak čas, druh nehod a následky nehod podle kategorií řidičů (osob).

Na obr. 98. je zobrazen vývoj DN dle následku v ČR od roku 1990 do roku 2016. Podíl nehod se zraněním nepřesahuje 1/3 z uskutečněných nehod. Ve statistice mají dominantní postavení nehody pouze s hmotnou škodou (nehody bez zranění).



obr. 98. Rozložení DN v ČR dle následků (1990–2016)

Fialová čára na obr. 99. představuje průběh DN jen s hmotnou škodou v kontrastu s DN dle závažnosti zranění. Součet DN pouze s hmotnou škodou se pohybuje v řádově jiných jednotkách. V letech 2001 a 2009 jsou patrné změny způsobu evidence tohoto typu DN. Průběh četnosti DN se zraněním zůstává bez výraznějších změn.

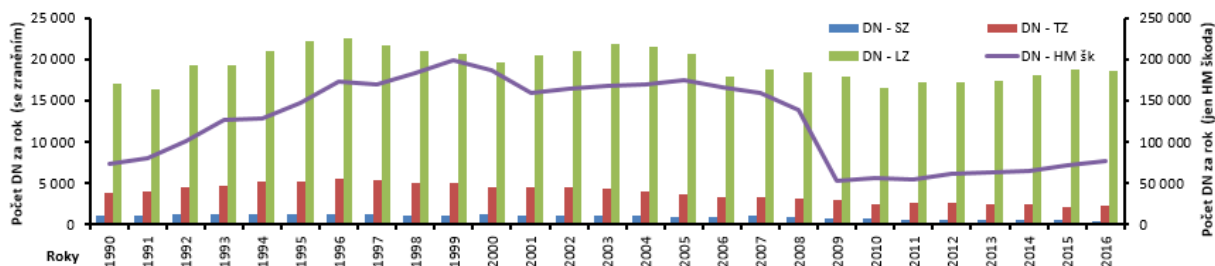


obr. 99. Počet DN v ČR dle následků (1990–2016)

Nejvýraznější změna evidence DN pouze s hmotnou škodou nastala v roce 2009, kdy došlo ke změně výše odhadované hmotné škody, kterou jsou řidiči povinni nahlásit, a to z 50 000 Kč na 100 000 Kč. Z důvodů změn způsobu evidence DN jen s hmotnou škodou je vhodné pro analýzu modelu nehodovosti na OK využívat data pouze od roku 2009 do roku 2016 (8 let).

Na obr. 100. je znázorněna četnost DN dle závažnosti zranění osoby při nehodě. Pro přehlednost zde nejsou zobrazeny nehody pouze s hmotnou škodou. Z DN se zraněním mají na ČR největší zastoupení nehody s lehkým zraněním, potom těžké DN a na konec smrtelné. Smrtelné nehody se pohybují do 5 %.

Analyza návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vliv na nehodovost
 autor: Ing. Jan Novák
 rok vydání dizertační práce: 2017



obr. 100. Četnost DN se zraněním v ČR dle závažnosti zranění (1990–2016)

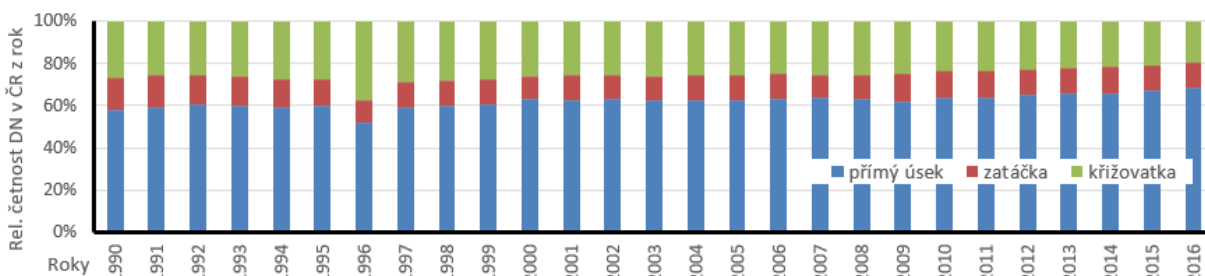
Z údajů Policie ČR je možné provést analýzu DN dle směrových poměrů PK (viz tab. 40.). OK jsou jedním z nejbezpečnějších typů křižovatek na PK. Hodnoty v tabulce jsou však částečně zavádějící. DN jsou zde vyjádřeny v absolutních číslech. Nejsou vztaženy k počtu realizovaných OK na síti PK a stejně tak jiné hodnoty v tabulce k přímým úsekům, úsekům za zatáčkou (obloukem) aj. Jedná se o stejný princip vyjádření bezpečnosti dopravy z počtu nehod a přepravených osob s dělením na leteckou, lodní, železniční a silniční dopravu. Letecké havárie mají tragické následky, ale z pohledu dopravního výkonu jsou ty nejbezpečnější. Pro vhodnou analýzu je nutné stanovit rozsah sítě PK a počet dopravních uzlů s dělením na požadované typy.

tab. 40. Přehled DN v ČR dle prvků dopravní infrastruktury

Roky	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CELKEM	182 736	160 376	74 815	75 522	75 137	81 404	84 398	85 859	93 067	98 863
přímý úsek	107 039	92 331	40 715	43 332	42 629	47 020	49 762	51 670	56 875	62 128
úsek za zatáčkou	9 592	9 048	5 809	5 165	5 353	5 858	5 699	5 130	5 506	5 858
zatáčka	19 612	17 695	9 784	9 330	9 527	10 029	10 388	10 410	11 380	11 569
křižovatka čtyřramenná	19 848	17 789	8 138	7 894	7 767	8 056	8 009	7 993	8 253	8 166
křižovatka tříramenná	23 487	20 364	9 047	8 427	8 536	9 037	9 153	9 145	9 500	9 727
křižovatka víceramenná	988	1 083	496	530	444	446	490	458	477	350
kruhový objezd	2 170	2 065	826	844	881	958	897	1 053	1 076	1 065

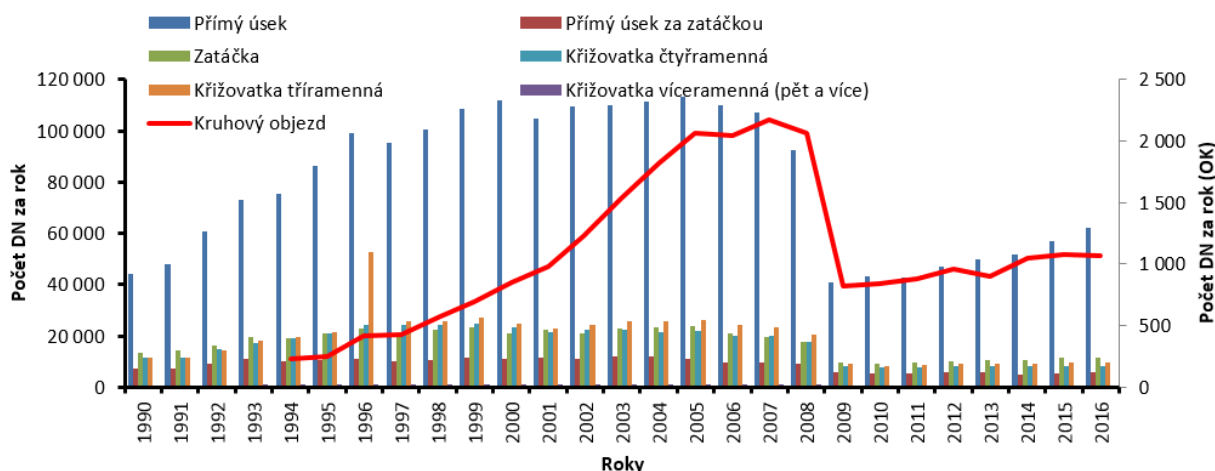
Poznámka: Zdroj: Statistické údaje o nehodovosti na území ČR

Na obr. 101. jsou zobrazeny DN v ČR od roku 1990 do roku 2016 dle jejich výskytu na síti PK. Významný podíl představují DN na přímých úsecích, které v relativním měřítku vždy přesahují 50 % z celkového počtu DN. Zatáčky (oblouky) zabírají přibližně 10 % DN a na křižovatkách se odehrává cca 30 až 40 % DN. Opět je na místě poznamenat, že evidence DN má svá pozitiva, ale nezohledňuje rozsah infrastruktury ani její dopravní zatížení.



A, přehled DN dle prvku PK v ČR

Na tomtéž obrázku je v jeho druhé části B patrný průběh DN na OK. Je zde viditelná změna způsobu evidence DN s hmotnou škodou na OK (červená čára), přičemž podíl DN na kruhových objezdech (OK) je ve srovnání s jinými prvky infrastruktury téměř zanedbatelný (cca 1,13 % z celkového počtu DN).

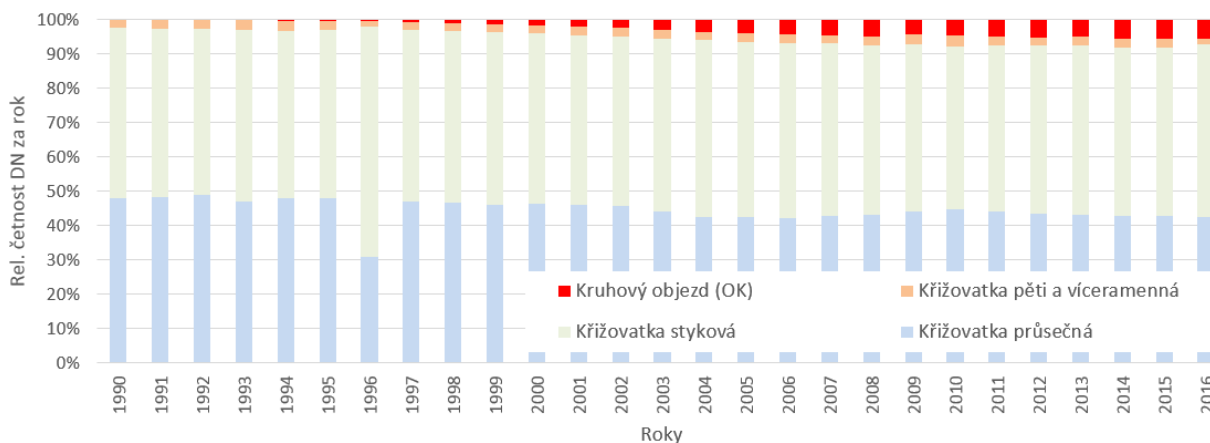


B, přehled DN na kruhových objezdech (OK)

obr. 101. DN dle výskytu na síti PK v ČR (1990–2016)

Aby mohla mít statistika DN dle výskytu na PK vypovídající hodnotu, muselo by dojít k identifikaci rozsahu sítě PK v jednotlivých letech, tedy tak, aby zohledňovala skutečnou délku přímých úseků nebo jejich počet a dále pak počet dopravních uzlů s dělením na jejich druhy (tříramenné, čtyřramenné, víceramenné, kruhové objezdy). Jedině pak je možné vyjádřit relativní hodnoty podílu DN, a stanovit tak odhad bezpečnosti prvku na PK.

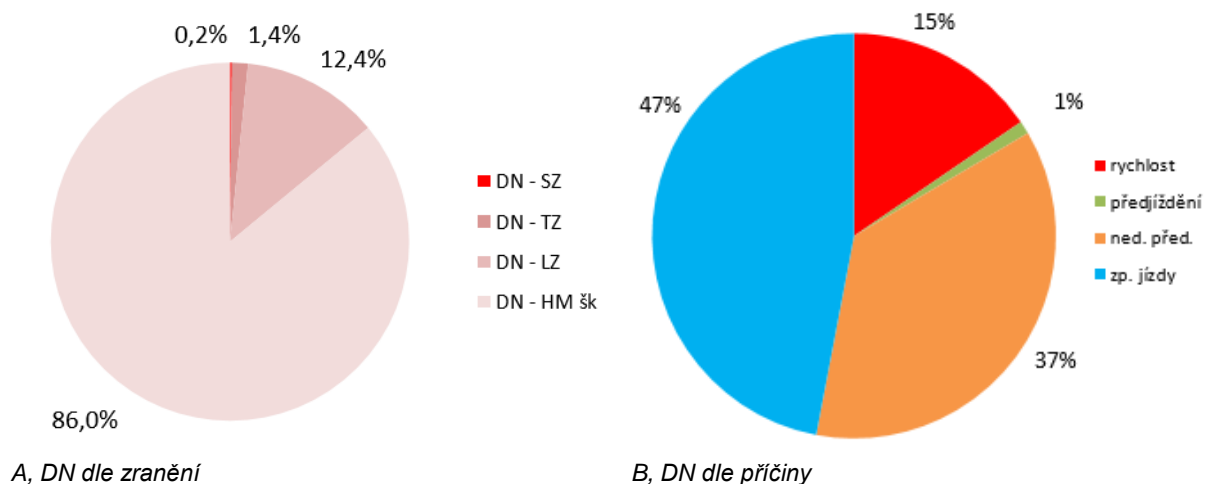
Na obr. 102. jsou zobrazeny relativní hodnoty podílu DN na křižovatkách. Zde je opět zanedbán vliv absolutního počtu křižovatek dle jejich typu a dále pak dopravního zatížení. Z obr. 102. může vyplynout, že se nejvíce DN odehrává na průsečných a stykových křižovatkách. Ale to nevypovídá o nejnebezpečnějším typu křižovatky. Například počet DN na OK (červené sloupce) se jeví být v průběhu času rostoucí. Ale ve skutečnosti je tomu tak proto, že dochází ke stále častější výstavbě OK nebo úpravě stávajících průsečných nebo stykových křižovatek na okružní. Tomu nasvědčuje klesající četnost DN na průsečných a stykových křižovatkách.



obr. 102. Četnost DN dle typu křižovatky v ČR (1990–2016)

Co lze ze Statistiky DN Policie ČR vyčíst jednoznačně, je podíl DN se zraněním na kruhových objezdech (OK). Tak jako u jiných typů křižovatek je jednoznačně dominující podíl nehod pouze s hmotnou škodou. Na nehodovosti se významně podílejí nehody s lehkým zraněním, částečně těžká a smrtelná zranění. Na rozdíl od jiných typů křižovatek (průsečné, stykové aj.) na OK dochází jen ojediněle k nehodám se smrtelnými následky. Nejčastějším druhem jsou nehody s lehkým zraněním osob a velmi málo těžkých zranění osob. Na obr. 103. v části A je zobrazen podíl nehod se zraněním v procentech. V průměru se podíl DN se zraněním na OK pohybuje od roku 2009 kolem 13 %.

Na obr. 103. jsou v části B prezentovány pravděpodobné příčiny DN na kruhových objezdech (OK). Jako velmi častá příčina DN se jeví nedodržení přednosti v jízdě nebo nevhodný způsob jízdy vozidla. Dále se na nehodovosti na OK významně podílí rychlost vozidel. To je v souladu se zjištěním, že se nejvíce nehod na OK odehrává právě v místě vjezdu, kde řidiči nedávají přednost v jízdě ať už z důvodu vysoké rychlosti, špatného rozhledu nebo nesprávného způsobu jízdy.



obr. 103. Průměrné rozdělení DN na OK dle zranění a příčin

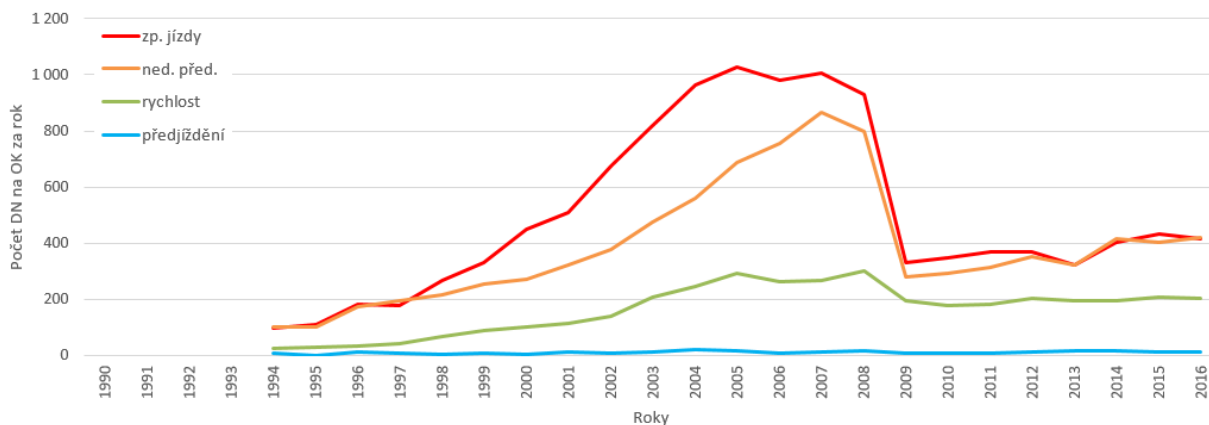
Z pohledu dlouhodobého vývoje DN na OK je zřejmý jednoznačný přínos tohoto typu křižovatky. Od roku 2007 se počet DN se smrtelným zraněním drží téměř v minimálních hodnotách.

tab. 41. Přehled DN v ČR dle následků na OK

Roky	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CELKEM	2170	2065	826	844	881	958	897	1053	1076	1065
počet DN SZ	1	2	4	1	2	2	2	2	3	0
počet DN TZ	12	30	14	20	19	23	22	22	22	23
počet DN LZ	150	185	169	162	217	230	200	270	244	223
počet DN HMŠ	2007	1848	639	661	643	703	673	759	807	819
usmrceno osob	1	2	4	1	2	2	2	2	3	0
těžce zraněno osob	12	31	14	20	21	23	22	22	23	26
lehce zraněno osob	167	226	190	174	243	259	218	306	269	250
hmotná škoda (tis. Kč)	74 345	75 760	38 245	44 990	39 965	44 819	42 635	46 313	51 725	51 167

Poznámka: Zdroj: Statistické údaje o nehodovosti na území ČR

Co se týče průměrného počtu DN za rok, který se pohybuje kolem 880, došlo k navýšení počtu DN od roku 2014. Toto je způsobeno právě stále častější transformací stávajících průsečných a stykových křižovatek na okružní. Na obr. 104. je opět viditelný pokles počtu DN vlivem změny evidence DN PČR. Způsob jízdy nebo nedání přednosti v jízdě či nepřiměřená rychlost na OK většinou vedou k nehodám pouze s hmotnou škodou.



obr. 104. Příčiny DN na OK (1994–2016)

Základní problematikou statistického zpracování evidence DN však stále zůstává identifikace příčiny DN. Díky statistice dopravní nehodovosti je možné stanovit skupinu DN, které se nejčastěji stávají na síti PK v ČR, a seznámit se tak s rozsahem problému, vyvolat veřejné povědomí, objevit způsob, jak předejít nehodám, a odhadnout vývoj opatření ke snížení ztrát z dopravní nehodovosti. Hlubšímu porozumění lokálních vlivů (parametrů) na mechanismus DN to však příliš nepomůže. Je nutný podrobnější sběr dat, hlavně v oblasti rozsahu a charakteristik infrastruktury, a jejich statistické zpracování z pohledu pravděpodobnosti vzniku nehody.

PŘÍLOHA G. MATICE KORELAČNÍCH KOEFICIENTŮ VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH

VYSVĚTLUJÍCÍ PROMĚNNÉ	RPDI	podilTNV	InTNV	OK_prumer	OSTROV_prumer	alfa	omega	beta	uhelmezirameny	odchylkauhlumeziR
RPDI	1	0,121	0,716	0,155	0,130	0,019	0,039	0,146	0,083	0,114
podilTNV		1	0,533	0,078	0,097	0,116	0,085	0,069	0,032	0,029
InTNV			1	0,163	0,156	0,064	0,025	0,062	0,094	0,059
OK_prumer				1	0,956	0,498	0,332	0,464	0,141	0,044
OSTROV_prumer					1	0,554	0,348	0,502	0,140	0,063
alfa						1	0,341	0,401	0,057	0,067
omega							1	0,273	0,153	0,014
beta								1	0,170	0,034
uhelmezirameny									1	0,028
odchylkauhlumeziR										1

VYSVĚTLUJÍCÍ PROMĚNNÉ	ODSUN_sirka	kolize	OKRUH_sirka	PRSTENEC_sirka	VJEZD_sirka	VYJEZD_sirka	BYPASS_sirka	OK_kruhovy tvar	alfa_kategorie	ODSUN_vyskyt	OKRUH_pruhy
ODSUN_sirka	1	0,037	0,026	0,010	0,048	0,068	0,005	0,094	0,046	0,852	0,056
kolize		1	0,367	0,308	0,474	0,448	0,018	0,045	0,167	0,085	0,441
OKRUH_sirka			1	0,585	0,273	0,315	0,108	0,068	0,088	0,010	0,433
PRSTENEC_sirka				1	0,156	0,161	0,070	0,073	0,043	0,009	0,325
VJEZD_sirka					1	0,688	0,029	0,054	0,136	0,072	0,379
VYJEZD_sirka						1	0,011	0,043	0,063	0,073	0,361
BYPASS_sirka							1	0,062	0,044	0,004	0,064
OK_kruhovy tvar								1	0,020	0,095	0,090
alfa_kategorie									1	0,054	0,239
ODSUN_vyskyt										1	0,115
OKRUH_pruhy											1

VYSVĚTLUJÍCÍ PROMĚNNÉ	PRSTENEC_vyskyt	VJEZD_pruhy	VYJEZD_pruhy	BYPASS_vyskyt	kategorie komunikace	vyskyt/vpohybu	zastavka MHD	parkovani	sjezd	charakter provozu	zmenasmeru provozu
PRSTENEC_vyskyt	1	0,316	0,224	0,109	0,178	0,120	0,084	0,048	0,177	0,189	0,048
VJEZD_pruhy		1	0,691	0,025	0,029	0,257	0,056	0,104	0,221	0,166	0,032
VYJEZD_pruhy			1	0,066	0,023	0,168	0,021	0,093	0,157	0,092	0,028
BYPASS_vyskyt				1	0,025	0,102	0,078	0,022	0,062	0,089	0,036
kategorie komunikace					1	0,152	0,125	0,116	0,088	0,102	0,088
vyskyt/vpohybu						1	0,311	0,293	0,811	0,391	0,011
zastavka MHD							1	0,109	0,018	0,051	0,014
parkovani								1	0,139	0,206	0,056
sjezd									1	0,336	0,015
charakter provozu										1	0,010
zmenasmeru provozu											1

VYSVĚTLUJÍCÍ PROMĚNNÉ	prilehla križovatka	prechodna OK	pocetramen naOK	typkrižovatky	lokalita_OK	typ_vjezdu
prilehla_križovatka	1	0,098	0,044	0,055	0,086	0,045
prechodnaOK		1	0,084	0,127	0,368	0,158
pocetramennaOK			1	0,095	0,039	0,094
typkrižovatky				1	0,146	0,841
lokalita_OK					1	0,181
typ_vjezdu						1

PŘÍLOHA H. ŽIVOTOPIS AUTORA

OSOBNÍ ÚDAJE:

Jméno: Ing. Jan Novák
Datum narození: 28. 05. 1986
E-mail (pracovní): jan.novak@cdv.cz
E-mail (student): novak.j1@fce.vutbr.cz

VZDĚLÁNÍ:

2011 – dosud VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ; Brno 602 00, Veveří 95
Studijní program: doktorský (distanční)
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby
Stav: státní doktorská zkouška úspěšně složena
Obhajoba: v roce 2017

2011 (červ–srp) Absolvent kurzu zahraniční jazykové školy (anglický jazyk)
Intrax San Francisco (Soukromá jazyková škola)
101 Spear Street, 94105 San Fransisco, (California)

2009–2011 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ; Brno 602 00, Veveří 95
studijní program: magisterský
studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby
akademický titul: inženýr (zkratka Ing.)

2006–2009 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ; Brno 602 00, Veveří 95
studijní program: bakalářský
studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby
akademický titul: bakalář (zkratka Bc.)

2001–2005 Střední průmyslová škola stavební; Brno 602 00, Kudelova 8
zaměření: dopravní stavby
ukončení: maturita

PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI:

2011 – dosud Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Pracovní pozice: výzkumný pracovník. Práce na projektech vědy a výzkumu v oboru bezpečnosti dopravy a dopravního inženýrství. Organizace a prezentace výstupů projektů VaV.

2011–2017 Doktorské studium na VUT v Brně v oboru Konstrukce a dopravní stavby
V prvním semestru byl zapsán ve formě denního studia a věnoval se práci na výzkumných projektech, výuce studentů a dalším pracím pro ústav PKO. Ve druhém semestru přestoupil na kombinované studium. Dále aktivně plní studijní povinnosti a věnuje se doktorské práci.

2010 – dosud Živnostenské oprávnění
Poradenská a konzultační činnost, zpracování odborných studií a posudků; Projektování pozemkových úprav; Příprava a vypracování technických návrhů, grafické a kresličské práce; Služby v oblasti administrativní správy a služby organizačně hospodářské povahy.

2007–2010 Práce v projekčním Ateliéru DPK s.r.o. se zaměřením na dopravní stavby
Pracovní náplň tvořily především projekty dopravních staveb v rozsahu studie, dokumentace územního rozhodnutí, stavebního povolení, realizace stavby.

2001 – 2005 Brigády různého charakteru

REFERENČNÍ PROJEKTY:

LO1610 – NPU (PROJEKT V ŘEŠENÍ)

Národní program udržitelnosti I, projektu Dopravní VaV centrum je projekt zaměřený na podporu řešení specializované problematiky v bezpečnosti a dopravním inženýrství. Jsou řešeny bezpečnostní odstupy, prahová hodnota vnímání řidičů vozidel, prahová hodnota bezpečného zastavení, rozdělení rychlosti. Dále se řeší využitelnost mikrosimulací z pohledu kapacitního posudku dle TP.

CELOSTÁTNÍ SČÍTÁNÍ DOPRAVY SLOVENSKÉ REPUBLIKY 2015

Ing. Novák zastával v řešitelském týmu pozici organizátora sčítacích termínů. Jeho práce spočívala především v kontrole rozdělení sčítačů na místech a poskytování podkladů pro sčítací lokality, návrhu školící a informační aplikace. Kontrola přebraných sčítacích listů, ověření analyzovaných dat a mnohé další.

ÚZEMNÍ GENEREL DOPRAVY HL. MĚSTA SLOVENSKÉ REPUBLIKY BRATISLAVY

Ing. Novák se aktivně podílel na řešení této úlohy především v oblastech, organizace dopravních průzkumu, jejich realizace, zpracování a validace dat, jejich vyhodnocení. Inženýrské a grafické výstupy: směrový průzkum, profilový průzkum, analýza rychlosti, průzkum statické dopravy.

CERTIFIKÁTY:

Auditor bezpečnosti pozemních komunikací, povolení k výkonu činnosti, datum vydání povolení:
4. 1. 2013, číslo povolení: 089, předseda zkušební komise: Ing. Milan Dont, Ph.D.

ŠKOLENÍ:

Zahraniční odborná stáž na univerzitě v německém Karlsruhe, Institut für Technologie, Institut für Verkehrswesen, zaměřením na dopravní modelování pomocí PTV VISSIM v období duben a květen 2017.

Pravidelné školení auditorů bezpečnosti pozemních komunikací, absolvované ve dnech 2.–3. 11. 2015 v rozsahu 16 hodin, školení bylo provedeno pracovníky Centra dopravního výzkumu, v. v. i.

Školení auditorů bezpečnosti pozemních komunikací, absolvované ve dnech 5.–9. 11. 2012 v rozsahu 40 hodin, školení bylo provedeno pracovníky Centra dopravního výzkumu, v. v. i., číslo akreditace Ministerstva dopravy: 002, číslo jednací: 144/2012-120-ORG2/2

Zahraniční školení S-Paramics microsimulation, absolvované v listopadu 2012 v Edinburghu, školitel: Malcolm Calvert. Jedná se o školení mikro-simulačních modelů dopravní sítě zaměřené na křižovatky řízené světelným signalizačním zařízením.

Zahraniční školení PTV VISSIM, Basic Course for Public, absolvované ve dnech 17.–18. 10. 2012 ve Vídni, školitelé: Petr Hofhansl, Petr Sukennik. Jedná se o školení mikro-simulačních modelů dopravní sítě zaměřené na úrovňové křižovatky, cyklisty a chodce.

Školící seminář „Novely stavebního zákona č. 350/2012 Sb.“, absolvovaný dne 30. 4. 2013 v Brně, školitel: Vzdělávací servis Brno.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A. DATABÁZE OK	119
PŘÍLOHA B. INFORMAČNÍ LIST	121
PŘÍLOHA C. MAPA A SEZNAM OK	123
PŘÍLOHA D. TRAJEKTORIE POHYBU VOZIDLA	129
BODY (SOUŘADNICE S-JTSK)	129
STANOVENÍ SMĚROVÉHO ÚHLU ϕ_i	129
STANOVENÍ ODCHYLKY SMĚRU $\Delta\phi_i$	131
VZDÁLENOST BODŮ	131
PODMÍNKA SLEDOVANÉ VZDÁLENOSTI	134
VYROVNÁNÍ SMĚROVÉHO ÚHLU ϕ_i	135
VYROVNÁNÍ ODCHYLKY SMĚRU $\Delta\phi_i$ NA STŘED	136
STANOVENÍ ROZPTYLU A SMĚRODATNÉ ODCHYLKY SMĚROVÉHO ÚHLU ϕ_i	136
STANOVENÍ ROZPTYLU A SMĚRODATNÉ ODCHYLKY SMĚRU $\Delta\phi_i$	137
IDENTIFIKACE PRVKU TRAJEKTORIE	137
PARAMETRIZACE PRVKU TRAJEKTORIE	138
VLIV SMĚROVÉHO ÚHLU POLYGONU NA POLOMĚR OBLOUKU	140
PŘÍLOHA E. MĚŘICÍ VOZIDLO	141
PŘÍLOHA F. PŘEHLED NEHODOVOSTI DLE STATISTIKY PČR	143
PŘÍLOHA G. MATICE KORELAČNÍCH KOEFICIENTŮ VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH	148
PŘÍLOHA H. ŽIVOTOPIS AUTORA	150

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJE

- [1.] ČSN 73 6100-1 Názvosloví pozemních komunikací – Část 1: Základní názvosloví, 11/2008, Z1 7/2011
- [2.] ČSN 73 6100-2 Názvosloví pozemních komunikací – Část 2: Projektování pozemních komunikací, 11/2008
- [3.] ČSN 73 6100-3 Názvosloví pozemních komunikací – Část 3: Vybavení pozemních komunikací
- [4.] ČSN73 6101 Projektování silnic a dálnic, říjen 2004, Český normalizační institut, 2004; ČSN 73 6101: 2004/Oprava 1 (květen 2005); ČSN 73 6101:2004/Z1 (leden 2009)
- [5.] ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na silničních komunikacích, listopad 2007, Český normalizační institut, 2007; ČSN 73 6102:2007/Z1 (srpen 2011)
- [6.] ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací, leden 2006, Český normalizační institut, 2006; ČSN 73 6110:2006/Z1 (únor 2010)
- [7.] TP 170 Navrhování vozovek na pozemních komunikacích, Schváleno MD ČR OPK pod č.j. 517/04-120-RS/1 ze dne 23. 11. 2004 s účinností od 1. 12. 2004
- [8.] TP 188 Posuzování kapacity neřízených úroňových křižovatek; EDIP s.r.o.; (2007); Technické podmínky; Schváleno MD – OI č.j. 1085/07-910-IPK/1 ze dne 5. 12. 2007, s účinností od 1. 1. 2008; ISBN 978-80-902527-6-9
- [9.] TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích; EDIP s.r.o.; (2008); Technické podmínky; Schváleno MD – OI č.j. 1086/07-910-IPK/1 ze dne 5. 12. 2007, s účinností od 1. 1. 2008; ISBN 978-80-248-2123-8
- [10.] TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích, Schváleno MD – OPK č.j. 489 /05-120 – RS/1 ze dne 6. 9. 2005 s účinností od 1. 10. 2005
- [11.] TP 225 Prognóza intenzit automobilové dopravy (II. doplněné vydání), EDIP s.r.o., listopad 2012, Schváleno MD ČR s účinností od 12. 10. 2012. Současně se ruší a nahrazují technické podmínky TP 225 schválené dne 10. 6. 2010
- [12.] TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek; EDIP s.r.o.; (2011); Technické podmínky; Schváleno MD – OPK a ÚP č.j. 620/2011-910-IPK/1 ze dne 31. 8. 2011, s účinností od 1. 9. 2011; ISBN 978-80-87394-02-01
- [13.] Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy
- [14.] Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách, účinnost 1. 1. 1995
- [15.] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a související předpisy
- [16.] Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích § 30
- [17.] Zákon č. 191/2008 Sb., o územním plánování a stavebním řádu
- [18.] Zákon č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu
- [19.] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu
- [20.] Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů
- [21.] Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích
- [22.] Vyhláška č. 398/2009 Sb., o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb
- [23.] Vyhláška č. 317/2011 Sb., ze dne 20. 10. 2011, kterou se mění vyhláška č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů
- [24.] Vyhláška č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích
- [25.] Vyhláška č. 30/2001 Sb., kterou se provádějí pravidla o provozu na pozemních komunikacích a úprava a řízení provozu na pozemních komunikacích
- [26.] Zákon č. 274/2008 Sb., ze dne 17. 7. 2008, kterým se mění některé zákony v souvislosti s přijetím zákona o Policii ČR
- [27.] Zákon č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů
- [28.] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/96/ES ze dne 19. 11. 2008, o řízení bezpečnosti silniční infrastruktury
- [29.] Šenk, P., Ambros, J., Daňková, A. *Metodika hodnocení účinnosti opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2011. ISBN 978-80-86502-14-4. Uznáno jako uplatněná certifikovaná metodika osvědčením Ministerstva dopravy č.j. 33/2012-520-TPV/1 ze dne 2. 4. 2012. <http://veobez.cdvinfo.cz/>
- [30.] VEOBEZ, *Vývoj metodiky hodnocení účinnosti opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích*, výzkumný projekt pro zadavatele Ministerstvo vnitra, CG711-078-160, trvání projektu: 2007–2011
- [31.] Elvik, R. *Effects on Road Safety of Converting Intersections to Roundabouts*. Review of Evidence from Non-U.S. Studies; Transportation Research Board of the National Academies (USA), ISSN 0361-1981, (leden 2007), Odborný článek: Účinky na bezpečnost silničního provozu při konverzi křižovatky na okružní křižovatku
- [32.] Brilon, W. *Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned*. International TRB-roundabout conference, carmel, Indiana, (Germany), (květen 2011), Odborný článek: Studie na kruhových objezdech v Německu: získané zkušenosti
- [33.] Kocourek, J. Sledování dopravních konfliktů jako ukazatelů bezpečnosti dopravy. Odborný článek v časopise: Silnice a železnice (publikováno 10. 9. 2010)

- [34.] Kocourek, J. *Analýza bezpečnosti na okružních křižovatkách*. (duben 2007); ČVUT Praha; Od koněspřežné železnice k vysokorychlostním dopravním systémům
- [35.] Mahdalová, I., Křivda, V. *Analýza dopravní nehodovosti na okružních křižovatkách České republiky*. Analysis of Traffic Accidents on Roundabouts in the Czech Republic; Příspěvek byl zpracován v rámci projektu výzkumu a vývoje č. CG911-008-910; ročník 5., číslo 1, duben 2010
- [36.] Mahdalová, I. Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod. Projekt výzkumu a vývoje č. CG911-088-910, Ministerstvo dopravy, Česká republika, Roční zpráva za rok 2009, leden 2010
- [37.] Šenk, P., Ambros, J., Daňková A. *Predikce ekonomických škod z dopravních nehod na okružních křižovatkách*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.; Odborný článek/zpráva, 2011
- [38.] Šenk, P., Ambros, J. *Odhad počtu nehod na nově budovaných okružních křižovatkách*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.; Odborný článek ve sborníku, Silniční konference 2011, Zlín
- [39.] Lord, D. *Modelling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: Examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter*. Accident Analysis and Prevention, vol. 38 (2006), s. 751–766. https://ceprofs.civil.tamu.edu/dlord/Papers/DLord_LMP_and_Dispersion_Parameter.pdf
- [40.] Turner, S. A., Roozenburg, A. P., Smith, A. W. *Roundabout crash prediction models*. NZ Transport Agency research report 386, 2009. ISBN 978-0-478-35220-7. <http://www.nzta.govt.nz/resources/research/reports/386/docs/386.pdf>
- [41.] Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. *Explaining variation in safety performance of roundabouts*. Accident Analysis and Prevention, vol. 42 (2010), s. 393–402.
- [42.] Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. *Extended prediction models for crashes at roundabouts*, Safety Science, vol. 49 (2011), s. 198–207.
- [43.] Ředitelství silnic a dálnic ČR 2010, Celostátní sčítání dopravy 2010 [online]. [cit. 2012-12-06]. Dostupné na: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/results/default.aspx>
- [44.] Silniční databanka ŘSD, odbor ŘSD se sídlem v Ostravě, spadá pod úsek informatiky, <http://www.rsd.cz/Silnicni-a-dalnicni-sit/Silnicni-databanka>
- [45.] Rácz, L. *Mapa okružních křižovatek v Praze*. Diplomová práce. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2011. <http://d2051.fsv.cvut.cz/software/mapaok/index.html>
- [46.] ARCADY 8, *Prediction of capacities, queues, delays and accidents at roundabouts*, TRL Software, Delivering Transport Science Through Software, contact: software@trl.co.uk
- [47.] Meloun, M., Militký, J. *Kompendium statistického zpracování dat*. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha 2012, ISBN 978-80-246-2196-8
- [48.] Mapy CZ; Autor: Seznam.cz, a.s.; Aktualizace: denně; Popis: Internetový portál zabývající se digitálním zobrazením České republiky a přilehlých států. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [49.] Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD); Aktualizace: denně; Popis: Internetový portál zabývající se informací v oboru dálniční a silniční sítě na zemi ČR Dostupné z: <http://www.rsd.cz/>, <http://www.rsd.cz/Silnicni-a-dalnicni-sit/Intenzita-dopravy>
- [50.] *Highway capacity manual 2010*, zkratka HCM 2010, Transportation research board of the national academies (TRB), ISBN 978-0-309-16077-3
- [51.] *Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen*, Ausgabe 2001, Fassung 2009, zkratka: HBS 2009, Köln, 2009, ISBN 978-3-941790-35-3
- [52.] *Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/96/ES* ze dne 19. listopadu 2008 o řízení bezpečnosti silniční infrastruktury
- [53.] *Roundabouts – Application and design, A practical manual*, Ministry of transport, Public Works and Water management, partners for Roads, June 2009, file: B5381-01.001, registration number: VB/SE2008.0772
- [54.] *Metodický pokyn velké okružní křižovatky*. Andres, J. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, duben 2005, ISBN 80-86502-15-5
- [55.] *Manuál bezpečnosti dvoupruhových pozemních komunikací v extravilánu*. Adesiyun, A., Pokorný P. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, listopad 2012, ISBN 978-80-86502-43-4, dostupné na www.cdv.cz
- [56.] *Metodika bezpečnostní inspekce pozemních komunikací*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, leden 2009, ISBN 978-80-86502-87-8
- [57.] *Hlubková analýza dopravních nehod: Metodika uplatnění výsledků výzkumu*. Andres, J. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2009, ISBN 978-80-86502-99-1
- [58.] *Multifaktorová analýza dopravní nehodovosti: metodika provádění*, Ambros, J., Valentová, V., Striegler, R. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2014, ISBN 978-80-88074-01-4
- [59.] *Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu: metodika provádění*. Striegler, R., Ambros, J., Valentová, V. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2012, ISBN 978-80-86502-47-2
- [60.] *Řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu: metodika provádění*. Striegler, R., Havránek, P., Lipl, M., Novák, J. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2013, ISBN 978-80-86502-70-0

- [61.] Metodika stanovení délky a rozsahu průzkumů chování účastníků silničního provozu s ohledem na efektivní vynakládání finančních prostředků. Havránek, P., Lipl, M., Simonová, E. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2014, ISBN 978-80-86502-79-3
- [62.] *Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod*. Andres, J., Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2001, Schváleno MDS ČR pod č.j. 21088/01-150 ze dne 19. 4. 2001; ISBN 80-902141-9-3
- [63.] *Audit bezpečnosti pozemních komunikací: metodika provádění*. Pokorný, P., Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2012, ISBN 978-80-86502-44-1
- [64.] *Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek*. Striegler, R., Valentová, V., Vyskočilová, L., Novák, J. a další, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2013, ISBN 978-80-86502-68-7
- [65.] *Metodika sledování nepřímých ukazatelů bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích*. Heinrich, J., Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno, 2008; v rámci České národní observatoře na pozemních komunikacích, ISBN 80-86502-007
- [66.] *Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů*. Kocourek J., České vysoké učení technické, Praha, 2010; ISBN 978-80-01-04752-1
- [67.] Oxley J., Flides B., Corben B., Langford J. *Intersection design for older drivers*. Transportation Research Part F: Psychology and Behaviour, (září 2006), (USA), Odborný článek
- [68.] Cinneide, D. O., Troutbeck, R. J. *At-Grade Intersection/Worldwide review*. International Symposium on Highway, Geometric Design Practices, August 30 – September 1, 1995, Boston, Massachusetts, Odborný článek; (USA)
- [69.] Elvik, R. *Effects on Road Safety of Converting Intersections to Roundabouts: Review of Evidence from Non-U.S. Studies*, Transportation Research Board of the National Academies (USA), ISSN 0361-1981, (leden 2007), Odborný článek, Český název: Účinky na bezpečnost silničního provozu při konverzi křižovatky na okružní křižovatku, WEB odkaz: <http://trb.metapress.com/content/351020648vq5x605/>
- [70.] Brilon, W. *Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned*. International TRB-roundabout conference, Carmel, Indiana, (Germany), (květen 2011), Odborný článek, Český název: Studie na kruhových objezdech v Německu: získané zkušenosti, (květen 2011), online: http://www.ruhr-uni-bochum.de/verkehrswesen/download/literatur/Brilon_roundabouts_2011_05_29_cit.pdf
- [71.] Cihlářská, D., Seidler T., Mahdalová, I. *Porovnání vybraných kružnic křižovatek v ČR s USA standardy*. Odborný článek ve sborníku JUNIORSTAV 2010, online: <https://www.isvav.cz/resultDetail.do?sessionid=CD2CD6DF9580CD59FA760B4CD7FDC170?rowId=RIV%2F61989100%3A27120%2F10%3A86076236!RIV11-MD0-27120>
- [72.] Brilon, W., překlad: Rucker, T. *Dopravní inženýrství – Okružní křižovatky v Německu – situační zpráva*; Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen, Bochum, Germany; Odborný článek v časopise - Dopravní inženýrství (Germany); (únor 2008), online: <http://www.dopravniinzenyrstvi.cz/clanky/kreisverkehre-in-deutschland-ein-Situationsbericht-okruzni-krizovatky-v-nemecku-situacni-zprava/>
- [73.] *Effects of Intersection Geometrics on Driver Performance*, Tarawneh, M.S. , Rifaey, T., McCoy, P.T, International Symposium on Highway, Geometric Design Practices, August 30 - September 1, 1995, Boston, Massachusetts, Odborný článek; (USA)
- [74.] *Three-Dimensional Stop-Control Intersection Sight Distance: General Model*, Said M. Easa and Muhammad Z.A. Ali; Compendium of the 3rd International Symposium on Highway Geometric Design – 2005, Odborný článek; (USA)
- [75.] *Omezení rozhledu a tvar úrovně křižovatky*, Čarská Zuzana, Coufal Jindřich, Odborný článek v časopise – Silnice a železnice (publikováno 25. 8. 2010); WEB odkaz: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/omezeni-rozhledu-a-tvar-urovnove-krizovatky/>
- [76.] Súkenník, P., Hofhansl, P., Zelenková, K., Pistoriusová, Ž., Varhulík, M., Tríska, L., Landa, J. *Příručka pro navrhování okružních křižovatek*. Odborná publikace firmy (leden 2009) CityPlan s.r.o.; Online: <http://www.cityplan.cz/vyuziti-metod-mikrosimulace-pro-optimalizaci-navrhovych-prvku-okruznic-krizovatek-s-ohledem-na-jejich-bezpecnost-a-vykonnost-pohyb-chodcu-a-cyklistu-1370.html>
- [77.] Vyskočilová, A., Tecl, J., Valach, O. et al. *Metodika výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013.
- [78.] Celostátní sčítání dopravy CSD 2010, web aplikace, online: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>
- [79.] Jednotná dopravní vektorová mapa, geografický informační systém Ministerstva dopravy ČR, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., web: www.jdvm.cz
- [80.] Punch, K. (2008), *Základy kvantitativního šetření*. Portál, Praha
- [81.] Council, F. M. and others, ACCIDENT RESEARCH MANUAL, University of North Carolina, Chapel Hill, Highway Safety Research Center, Chapel Hill, NC USA 27599
- [82.] Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J., Stefan, C. (2005). Accident prediction models and road safety impact assessment: a state-of-the-art. Projekt RIPCORDER-ISEREST, zpráva D2.1.
- [83.] De Ceunynck, T., De Pauw, E., Daniels, S., Brijs, T., Hermans, E., Wets, G. (2012). Identification of factors contributing to the occurrence of crashes at high-risk locations. Policy Research Centre for Traffic Safety, zpráva RA-MOW-2011-027. Policy Research Centre for Traffic Safety, Diepenbeek.
- [84.] Andres, J., Kafoňková, J., Rucker, J. et al. *Hlubková analýza silničních nehod – hlavní příčiny vzniku nehod*. *Silniční obzor*, 2015, roč. 76, č. 11, s. 323–327. ISSN 0322-7154.
- [85.] Ambros, J. *Hodnocení bezpečnosti silničního provozu s využitím statistického modelování*. Dizertační práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, Praha 2015, školitel: Ing. Zuzana Čarská, Ph.D.

- [86.] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (2010). Highway Safety Manual. First Edition. Washington: AASHTO.
- [87.] De Ceunynck, T., De Pauw, E., Daniels, S., Brijs, T., Hermans, E., Wets, G. (2012). Identification of factors contributing to the occurrence of crashes at high-risk locations. Policy Research Centre for Traffic Safety, zpráva RA-MOW-2011-027. Policy Research Centre for Traffic Safety, Diepenbeek.
- [88.] Nagelkerke, N. J. D. (1991) A note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 78: s. 691–692.
- [89.] Hauer, E. (1997). Observational Before-After Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety. Oxford: Elsevier.
- [90.] Persaud, B. N. (2001). *Statistical Methods in Highway Safety Analysis: A Synthesis of Highway Practice*. NCHRP Synthesis 295. Washington: Transportation Research Board (TRB).
- [91.] Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J., Stefan, C. (2005). Accident prediction models and road safety impact assessment: a state-of-the-art. Projekt RIPCORD-ISEREST, výstup č. 2.1.
- [92.] Turner, S., Wood, G. (2009). Crash prediction modelling at intersections in New Zealand 1990 to 2009. In 32nd Australasian Transport Research Forum (ATRF). Victoria: ARRB Group Ltd.
- [93.] Williams, A. F. (1999). The Haddon matrix: Its contribution to injury prevention and control. In McClure, R. (ed.), 3rd National Conference on Injury Prevention and Control (s. 15–17). Herston: University of Queensland.
- [94.] Bezpečnost silničního provozu – aktuální poznatky, I. díl. Brno: CDV (Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.) (2011).
- [95.] Hauer, E. (2004). Statistical Road Safety Modeling. *Transportation Research Record*, 1897, s. 81–87.
- [96.] Martensen, H., Dupont, E. (2013). Comparing single vehicle and multivehicle fatal road crashes: A joint analysis of road conditions, time variables and driver characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 60, s. 466–471.
- [97.] IBM SPSS: Statistical Package for the Social Sciences, software, Chicago, 2009
- [98.] QGIS: Geographic Information System, software, Free and Open Source
- [99.] Národní archiv leteckých měřičských snímků, web. aplikace, <http://lms.cuzk.cz/lms/>, Zeměměřický úřad, Pod sídlištěm 9/1800, 182 11 Praha 8
- [100.] Hebák, P., Jarošová, E., Pecáková, E., Plašil, M., Řezanková, H., Vilikus, O., Vlach, P. (2013). *Statistické myšlení a nástroje analýzy dat*. Praha: Informatorium.
- [101.] Hendl, J., Kalous, J., Šimpach, O., Sluková, K., Krejčí, J., Soukup, P., Trampota, T., Severová, L., Basl, J., Zháněl, J., Malý, M., Valenta, Z., Brabec, M., Dohnal, G. (2014). *Statistika v aplikacích*. Praha: Portál.
- [102.] Elvik, R. (2004). To what extent can theory account for the findings of road safety evaluation studies? *Accident Analysis and Prevention*, 36, s. 841–849.
- [103.] Elvik, R. (2004). Traffic Safety. In Kutz, M. (ed.), *Handbook of transportation engineering* (kapitola 16.3-16.20). New York: McGraw-Hill.
- [104.] Ambros, J., Slabý, P. (2013). Comparison of Roundabout Accident Prediction Models: Challenges of Data Collection, Analysis and Interpretation. In Votruba, Z., Jeřábek, M. (eds.), 20th Anniversary of the Faculty of Transportation Sciences, s. 42–52. Praha: České vysoké učení technické v Praze.
- [105.] Ambros, J., Janoška, Z. (2015). Safety evaluation of Czech roundabouts. In 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington: TRB.
- [106.] Hauer, E., Harwood, D. W., Council, F. M., Griffith, M. S. (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method – A Tutorial. *Transportation Research Record*, 1784, s. 126–131.
- [107.] AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (2010). Highway Safety Manual. First Edition. Washington: AASHTO.
- [108.] Valentová, V., Ambros, J., Janoška, Z., Striegler, R. (2013). Predikční modelování a jeho výhody oproti stávající metodě identifikace nehodových lokalit. *Silniční obzor*, 74, s. 290–293.
- [109.] Pokorný, P., Ambros, J. (2014). Identifikace rizikových míst na silnicích I. třídy v Jihomoravském kraji – praktická aplikace empirické bayesovské metody. *Silniční obzor*, 75, s. 341–344.
- [110.] Ambros, J., Novák, J., Borsos, A. et al. Central European comparative study of traffic safety on roundabouts. In Proceedings of 6th Transport Research Arena, Varšava (Polsko), 18.–21. 4. 2016 [Flash disk]. 2016.
- [111.] Hoggarth, P. A., Innes, C. R. H., Dalrymple-Alford, J. C., Jones, R. D. (2015). Prediction of driving ability: Are we building valid models? *Accident Analysis and Prevention*, 77, s. 29–34.
- [112.] Miaou, S.-P., Lord, D. (2003). Modeling Traffic Crash-Flow Relationships for Intersections: Dispersion Parameter, Functional Form, and Bayes Versus Empirical Bayes Methods. *Transportation Research Record*, 1840, s. 31–40.
- [113.] Hilbe, J. M. (2011). *Negative Binomial Regression*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- [114.] Statistika dopravní nehodovosti Policie ČR, aktualizováno ročně, online: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>

- [115.] Garber, N. J., Hoel, L. A. *Traffic and Highway Engineering* 5th Edition, 2017, ISBN-13: 978-1133605157, ISBN-10: 113360515X
- [116.] Čarská, Z. Vliv úhlu křížení křižovatky na bezpečnost manévru vozidla při pravém odbočení
- [117.] Ambros, J. a spol., Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Brno 2013, ISBN 978-80-86502-62-5
- [118.] Brude, U. What roundabout design provides the highest possible safety? *Nordic Road and transport Research*, No. 2, 2000, ISSN: 1101-5179
- [119.] Weber, P., Roundabout safety experience, Chapter 5 of the Synthesis of North American Roundabout practice, Ourton Roundabouts Canada, Paper prepared for presentation at the Road Safety / Geometric Design Session of the 2007 Annual Conference of the Transportation Association of Canada Saskatoon, Saskatchewan
- [120.] Bared, J. G., Prosser, W., Esse, C. T. State of the Art Design of Roundabouts, *Transportation Research record* 1579, No. 970969
- [121.] Design Guide on Inter-Urban Roundabouts (in French). SETRA, France, 1996.
- [122.] Geometric Design of Roundabouts. United Kingdom, 1993.
- [123.] Guide to Traffic Engineering Practice. ROUNDABOUTS. AUSTRROADS, Sydney, Australia, 1993.
- [124.] Burdett, B., Alsgan, I., Chiu, L., Bill, A. R. and Noyce, D. A. Analysis of Rear-End Collisions at Roundabout Approaches, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2585, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2016, pp. 29–38. DOI: 10.3141/2585-04
- [125.] Farag, S. G. and Hashim, I. H. Safety performance appraisal at roundabouts: Case study of Salalah City in Oman, *Journal of transportation safety & security* 2017, vol. 9, No. s. 1, 67–82
- [126.] Sangyoun Kim, Jaisung Choi, Safety Analysis of Roundabout Designs based on Geometric and Speed Characteristics, *KSCE Journal of Civil Engineering* (2013) 17(6):1446-1454, DOI 10.1007/s12205-013-0177-4
- [127.] Anjana, S., Anjaneyulu, M. V. L. R. Development of Safety Performance Measures for Urban Roundabouts in India, DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000729. © 2014 American Society of Civil Engineers.
- [128.] Turner, S. A., Roozengurg, A. P., Smith, A. W., Roundabout crash prediction models, June 2009, NZ Transport Agency research report 386.
- [129.] NCHRP – National cooperative Highway research program, report 572, Transportation research board of the national Academies.
- [130.] Ambros J., Turek R., Janoška Z., Safety evaluation of Czech roundabouts, *Advances in Transportation Studies an international Journal*, Section B 40 (2016)
- [131.] Hauer, E. (1995). On exposure and accident rate. *Traffic Engineering and Control*, 36, s. 134–138.
- [132.] Road transport research, Road safety principles and models: Review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models, Organisation for economic co-operation and development, Head of Publications Service, OECD, 2 rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.
- [133.] Pilot4Safety (Pilot project for common EU Curriculum for road safety experts: training and application on Secondary Roads), Pilot4Safety is supported by funding from the DG MOVE of the European Commission under grant agreement: MOVE/SUB/2010/D3/300-1/SI2.560087/PILOT4SAFETY

SEZNAM PUBLIKAČNÍ ČINNOSTI AUTORA

- [134.] Novák, J., Striegler, R., Valentová, V., Vyskočilová, L. a další, *Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek*, Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013, ISBN 978-80-86502-68-7
- [135.] Novák, J., Striegler, R., Havránek, P., Lipl, M. a další, *Řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu*, Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013, ISBN 978-80-86502-70-0
- [136.] Novák, J., Striegler, R., Simonová, E., Havránek, P. a další, *Metodika provedení a vyhodnocení dopravních průzkumů*, Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2012
- [137.] Novák, J. *Modelování dopravy: Virtuální vzdělávání v dopravě* [online]. Ostrava 2013: VŠB-TU Ostrava, Univerzita Pardubice, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013 [cit. 2013-09-02]. Online: http://issuu.com/cdv.cz/docs/m11_novak_final?e=8189669/3081764. ISBN 978-80-248-3299-9.
- [138.] Valentová, V., Novák, J., *Delay function in dependence of dynamic phenomena*, Transactions on Transport Sciences [online]. 2014, roč. 7, č. 01/2014 [cit. 2014-04-01]. Online: <ftp://tots.cdv.cz/journal-download/>
- [139.] Novák, J., Malina, P., Apeltauer, J. et al. Operative travel demand management in the case of evacuations and extraordinary events on a transport network. In *The Sustainable City IX : Urban Regeneration and Sustainability*, The Algarve (Portugalsko), 28.–30. 5. 2014 [CD-ROM]. Great Britain: WIT Press 2014, 2014, s. 899–908. ISSN 1743-3541.
- [140.] Pokorný, P., Striegler, R., Novák, J. et al. Bezpečnější silnice a vozidla. In *Sborník příspěvků konference BRNOSAFETY 2014*, Brno, 15.–16. 9. 2014, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2014, s. 27–29.
- [141.] Pokorný, P., Striegler, R., Novák, J. et al. Hodnocení efektivity úpravy neřízených křižovatek. In *Sborník příspěvků konference BRNOSAFETY 2014*, Brno, 15.–16. 9. 2014, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2014, s. 35–38. ISBN 978-80-86502-73-1.
- [142.] Pokorný, P., Striegler, R., Novák, J. et al. Zklidňování dopravy, nemotorová doprava. In *Sborník příspěvků konference BRNOSAFETY 2014*, Brno, 15.–16. 9. 2014, Brno, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2014, s. 39–42. ISBN 978-80-86502-73-1.
- [143.] Striegler, R., Vyskočilová, L., Novák, J., Zvyšování efektivity vynakládání investic do pozemních komunikací. In *XV. dopravně-inženýrské dny: Parkování a bezpečnost provozu na komunikacích ve městech a obcích*, Mikulov, 4.–5. 6. 2014 [CD-ROM]. 2014, s. 251–255.
- [144.] Novák, J., Ambros, J., Rozšíření predikčního modelu nehodovosti na okružních křižovatkách. In *Sborník příspěvků 20. silniční konference*, Kongresové centrum Parkhotel Plzeň, 23.–24. 10. 2012, Agentura VIACO, 2012, s. 127–132.
- [145.] Novák, J., Striegler, R., Vyskočilová, L., Neuwirth, P., Analýza provozní rychlosti dopravního proudu v extravilánu, *Silniční obzor*, 2017, ISSN 0322-7154 47 320.
- [146.] Gogolín, O., Motl, J., Striegler, R., Novák, J. et al. *Metodika sběru a analýzy dat pro vyhodnocení zranění účastníků dopravní nehody s ohledem na aktivní prvky ve vozidlech*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2016. 74 s., 2 příl. Zadávatel: Technologická agentura ČR, program ALFA. ISBN 978-80-88074-37-3.
- [147.] Novák, J., Křenek, J., Kaniová, K. et al. *Metodika komplexní analýzy střetu vozidla s chodcem*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2015. 58 s., 1 příloha Zadávatel: Technologická agentura ČR. ISBN 978-80-88074-21-2.
- [148.] Ambros, J., Novák, J., Borsos, A. et al. Central European comparative study of traffic safety on roundabouts. In *Proceedings of 6th Transport Research Arena*, Varšava (Polsko), 18.–21. 4. 2016 [Flash disk]. 2016.

Poznámka: Seznam publikační činnosti autora této dizertační práce (Ing. Jan Novák) byl aktualizován v době výtisku této práce. Je pravděpodobné, že v době obhajoby této práce bude upraven.

SEZNAM REFERENČNÍCH PROJEKTŮ AUTORA

[149.] VG20102014008 – OPERA

Operativní řízení dopravní poptávky při evakuaci a mimořádných událostech na dopravní síti je projekt, který se zabýval operativním řízením krizové dopravy silniční a dálniční sítě ČR. Ing. Novák byl aktivním řešitelem a mažerem projektu v oblasti intenzity vozidel a výpočtu kapacity. Podííl se na tvorbě dílčích a závěrečných zpráv projektu. Poskytovatel: Ministerstvo vnitra ČR, hlavní příjemce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., období řešení projektu: 01. 10. 2010 – 31. 12. 2014.

[150.] TA03030747 – FLEXI

Implementace flexibilních sloupků jako prvků městského inženýrství. Ing. Novák je členem řešitelského týmu. Provádí rešerše dostupných materiálů a účastní se aplikace prvků městského inženýrství do praxe. Poskytovatel: Technologická agentura ČR, hlavní příjemce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., spoluřešitel: HIT HORMAN, s.r.o., období řešení projektu 01. 01. 2013 – 31. 12. 2014.

[151.] TA01031303 – EFEKTIV

Výzkum efektivity vhodných úprav na rozlehlých křižovatkách pomocí analýzy dopravně-inženýrských parametrů. Ing. Novák byl součástí řešitelského týmu. Přímó se podííl nebo zpracovával jednotlivé dopravní průzkumy a výstupy projektu. Poskytovatel: Technologická agentura ČR, hlavní příjemce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. období řešení projektu: 01. 01. 2011 – 31. 12. 2013.

[152.] CZ.1.07/2.3.00/20.0227 – MODO

Nové metody modelování v dopravě byl projekt, který se zabýval průzkumem a diseminací nových poznatků v oboru modelování dopravy. Ing. Novák byl aktivním řešitelem v oblasti diseminace nových poznatků modelování v dopravě. Poskytovatel: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, hlavní příjemce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. spolupracující organizace VÚT v Brně, fakulta stavební, období řešení projektu: 01. 01. 2012 – 31. 12. 2014.

[153.] VG20112015013 – IDEKO

Identifikace a řešení kritických míst a úseků v síti pozemních komunikací, které svým uspořádáním stimulují nezákonné nebo nepřiměřené chování účastníků silničního provozu. Ing. Novák se podííl na zpracování metodiky řešení kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu a dalších aktivitách projektu. Poskytovatel: Ministerstvo vnitra ČR, hlavní příjemce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., období řešení projektu: 01. 01. 2011 – 31. 12. 2015.

[154.] CZ.1.05/2.1.00/03.0064 – VEOBEZplus

Rozšíření predikčního modelu nehodovosti na okružních křižovatkách je projekt, který navazoval na projekt VEOBEZ – Vývoj metodiky hodnocení účinnosti opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích (CG711-078-160). Ing. Novák byl aktivním řešitelem a navrhovatelem tohoto projektu. Poskytovatel: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, období řešení projektu: 01. 01. 2008 – 31. 12. 2019.

[155.] TA03030791 – CHODCI

Výzkum nových přístupů k ochraně chodců, řešení střetu vozidla s pohybující se kompletní postavou chodce je projekt, který se zabývá analýzou dopravní nehody vozidla s chodcem za účelem identifikace mechanismu DN, vytipování charakteristické nehody, návrhu a posouzení funkčnosti ochrany chodce. Ing. Novák se v projektu podííl na zpracování metodiky daného tématu a vedení projektu ze strany CDV. Poskytovatel: Technologická agentura ČR, hlavní příjemce: IDIADA, a.s., další příjemce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., období řešení projektu: 01. 01. 2013 – 31. 12. 2015.

[156.] TA04030689 – AKTSYST (PROJEKT V ŘEŠENÍ)

Vývoj systému aktivní kapoty automobilu s ohledem na rozmanitost lidské populace a implementace biomechanického modelu lidského těla. Ing. Novák v projektu od roku 2016 zastává místo aktivního člena řešitelského týmu. Podííl se na metodickém zpracování dat z nehodovosti. Poskytovatel: Technologická agentura ČR, hlavní příjemce: Vision Consulting Automotive s. r. o., spoluřešitel: BRANO, a.s., CDV, IDIADA CZ, a.s., MECAS ESI s. r. o., Západočeská univerzita v Plzni, období řešení projektu 01. 07. 2014 – 30. 09. 2017.

[157.] TD03000171 – DOPAD (PROJEKT V ŘEŠENÍ)

Vývoj podpůrných nástrojů hodnocení dopadu silniční infrastruktury na bezpečnost. Ing. Novák v projektu zastává místo aktivního člena řešitelského týmu. Podííl se na zpracování dat o infrastruktuře PK a dat z DN. Poskytovatel: Technologická agentura ČR, hlavní příjemce: CDV, období řešení projektu 01. 01. 2016 – 31. 12. 2017.

[158.] TD 03000142 – OPKON (PROJEKT V ŘEŠENÍ)

Vliv osvětlení pozemních komunikací na nehodovost. Ing. Novák v projektu zastává místo aktivního člena řešitelského týmu. Podííl se na analýze DN a parametrizaci PK. Poskytovatel: Technologická agentura ČR, hlavní příjemce: CDV, spoluřešitel: ELTODO, a.s., období řešení projektu 01. 01. 2016 – 31. 12. 2017.

Poznámka: Vyjmenovaný seznam referenčních projektů představuje práci autora této práce v rámci VaV projektů, které se zabývají bezpečností silniční dopravy nebo analýzou dopravního proudu. Ve všech výše uvedených projektech byl Ing. Novák aktivním členem řešitelského týmu a podííl se na publikační činnosti.

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 01. SCHÉMA ORGANIZACE DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	12
OBR. 02. FAKTORY MECHANIZMU DN.....	19
OBR. 03. NÁSTROJE BEZPEČNÉHO UTVÁŘENÍ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ.....	20
OBR. 04. ZÁVISLOST RYCHLOSTI NA PODÉLNÉ DEFLEXI (ROUNDABOUTS – APPLICATION AND DESIGN).....	24
OBR. 05. PARAMETRY PRŮJEZDU VOZIDLA OK.....	29
OBR. 06. TYPY OKRUŽNÍ KŘÍŽOVATKY.....	32
OBR. 07. VJEZD: TYP 1.....	32
OBR. 08. VJEZD: TYP 2.....	32
OBR. 09. VJEZD: TYP 3.....	32
OBR. 10. VJEZD: TYP 4.....	32
OBR. 11. LOKALITA.....	33
OBR. 12. SPECIÁLNÍ POHYBY NA RAMENECH OK.....	34
OBR. 13. UKAZATELE BEZPEČNOSTI SILNIČNÍ DOPRAVY.....	37
OBR. 14. PŘÍKLADY BEZPEČNOSTNÍCH RIZIK.....	37
OBR. 15. POROVNÁNÍ NEHOD A KONFLIKTŮ.....	39
OBR. 16. PŘEHLED NÁVRHOVÝCH PRVKŮ NA OK.....	43
OBR. 17. TRAJEKTORIE: PŘÍMÝ PRŮJEZD OK.....	47
OBR. 18. NÁHLED DO JDVM – OK – BEDŘICHOVICKÁ (BRNO-SLATINA).....	49
OBR. 19. OBECNÝ KONCEPTUÁLNÍ RÁMEC.....	54
OBR. 20. VYUŽITÍ RELATIVNÍ NEHODOVOSTI.....	59
OBR. 21. VÝVOJ NEHODOVOSTI NA REÁLNÉ OK.....	60
OBR. 22. ÚHEL NA PŘÍMÉM PRŮJEZDU Ω	61
OBR. 23. PŘEHLED OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATEK V ČR K 12/2016.....	63
OBR. 24. SELEKCE OK PRO MODEL NEHODOVOSTI.....	63
OBR. 25. DATA DN NA OK: CELEK.....	64
OBR. 26. DATA DN NA OK: KVADRANTY.....	64
OBR. 27. HISTOGRAM: DN.....	65
OBR. 28. HISTOGRAM: ZÁVAŽNOST.....	65
OBR. 29. HISTOGRAM: RPD1.....	66
OBR. 30. HISTOGRAM: PODÍL TNV.....	66
OBR. 31. HISTOGRAM: OK PRŮMĚR.....	66
OBR. 32. HISTOGRAM: OK PRŮMĚR OSTROVA.....	66
OBR. 33. HISTOGRAM: ALFA.....	67
OBR. 34. HISTOGRAM: OMEGA.....	67
OBR. 35. HISTOGRAM: BETA.....	67
OBR. 36. HISTOGRAM: ODCHYLKA ÚHLU MEZI RAMENY.....	67

OBR. 37. HISTOGRAM: ODSUN ŠÍŘKA	67
OBR. 38. HISTOGRAM: KOLIZE	67
OBR. 39. HISTOGRAM: OKRUH ŠÍŘKA	68
OBR. 40. HISTOGRAM: PRSTENEC ŠÍŘKA.....	68
OBR. 41. HISTOGRAM: VJEZD ŠÍŘKA	68
OBR. 42. HISTOGRAM: VÝJEZD ŠÍŘKA.....	68
OBR. 43. HISTOGRAM: ŠÍŘKA BYPASSU	68
OBR. 44. RYCHLOST.....	68
OBR. 45. TRAJEKTORIE VOZIDLA NA PŘÍMÉM PRŮJEZDU OK	69
OBR. 46. POLOMĚR NA VJEZDU	70
OBR. 47. POLOMĚR NA PRŮJEZDU	70
OBR. 48. POLOMĚR NA VÝJEZDU	70
OBR. 49. PCA: SCREE PLOT	74
OBR. 50. APLIKACE KRITÉRIA PŘI IDENTIFIKACI NEHODOVÉ LOKALITY	80
OBR. 51. PREZENTACE EMPIRICKÉ BAYESOVSKÉ METODY DLE BEZPEČNOSTNÍHO POTENCIÁLU	81
OBR. 52. EB HODNOTA: PRINCIP, BEZPEČNOSTNÍ POTENCIÁL	81
OBR. 53. EB HODNOTA: ($E < N$)	82
OBR. 54. EB HODNOTA: ($E > N$)	82
OBR. 55. RAMENO 1: DN.....	98
OBR. 56. HODNOCENÍ VJEZDU 1	98
OBR. 57. RAMENO 2: DN.....	98
OBR. 58. HODNOCENÍ VJEZDU 2	98
OBR. 59. RAMENO 3: DN.....	99
OBR. 60. HODNOCENÍ VJEZDU 3	99
OBR. 61. RAMENO 4: DN.....	99
OBR. 62. HODNOCENÍ VJEZDU 4	99
OBR. 63. PŘ. VJEZD 4: DN.....	100
OBR. 64. HODNOCENÍ KŘIŽOVATKY	100
OBR. 65. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: KONSTANTA.....	106
OBR. 66. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: RPD1	106
OBR. 67. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: ÚHEL NA VJEZDU A	106
OBR. 68. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: ODCHYLKA R.....	107
OBR. 69. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: VÝSKYT PRSTENCE (NE).....	107
OBR. 70. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: VÝSKYT BYPASSU (NE)	107
OBR. 71. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: KOLIZE	107
OBR. 72. VÝVOJ REGRESNÍCH KOEFICIENTŮ: TYP VJEZDU.....	108
OBR. 73. NÁVRH LIMITNÍCH HRANIC PRO ÚKG	116

OBR. 74. DATABÁZE: NÁHLED NA ARCHIVACI ATRIBUTŮ OK.....	119
OBR. 75. DATABÁZE: NÁHLED NA IDENTIFIKACI OK.....	120
OBR. 76. KÓD OZNAČENÍ OK V DATABÁZI	121
OBR. 77. UKÁZKA INFORMAČNÍHO LISTU OK.....	122
OBR. 78. MAPA KRITICKÝCH OK ZE VZORKU 200 KŘIŽOVATEK	128
OBR. 79. OBECNÁ TRAJEKTORIE POHYBU VOZIDLA	129
OBR. 80. VÝPOČET SMĚROVÉHO ÚHLU Φ_i	130
OBR. 81. SMĚROVÝ ÚHEL Φ_i	130
OBR. 82. ODCHYLKA SMĚRŮ $\Delta\Phi_i$	131
OBR. 83. DERIVACE ODCHYLKY SMĚRU $\Delta\Phi_i$ PODLE VZDÁLENOSTI	132
OBR. 84. DERIVACE ODCHYLKY SMĚRU $\Delta\Phi_i$ PODLE RYCHLOSTI	132
OBR. 85. BODY – MĚŘENÁ PŘÍMKA.....	132
OBR. 86. MODEL PŘÍMKY	133
OBR. 87. BODY – MĚŘENÁ KŘIVKA (OBLOUK)	133
OBR. 88. MODEL KRUŽNICE	134
OBR. 89. VYROVNANÝ SMĚROVÝ ÚHEL Φ_i	135
OBR. 90. VYROVNANÁ ODCHYLKA SMĚRU $\Delta\Phi_i$	136
OBR. 91. ROZPTYL, SMĚRODATNÁ ODCHYLKA – SMĚROVÝ ÚHEL Φ_i	137
OBR. 92. ROZPTYL, SMĚRODATNÁ ODCHYLKA – ODCHYLKA SMĚRU $\Delta\Phi_i$	137
OBR. 93. IDENTIFIKACE PRVKŮ TRAJEKTORIE POMOCÍ ROZDÍLŮ SMĚROVÝCH ÚHLŮ.....	138
OBR. 94. PRVKY TRAJEKTORIE.....	138
OBR. 95. TRAJEKTORIE – INFLEX.....	139
OBR. 96. MĚŘICÍ VOZIDLO (INSPEKČNÍ VOZIDLO)	141
OBR. 97. TRAJEKTORIE: OK – BEDŘICHOVICKÁ (BRNO-SLATINA).....	141
OBR. 98. ROZLOŽENÍ DN V ČR DLE NÁSLEDKŮ (1990–2016)	143
OBR. 99. POČET DN V ČR DLE NÁSLEDKŮ (1990–2016).....	143
OBR. 100. ČETNOST DN SE ZRANĚNÍM V ČR DLE ZÁVAŽNOSTI ZRANĚNÍ (1990–2016).....	144
OBR. 101. DN DLE VÝSKYTU NA SÍTI PK V ČR (1990–2016).....	145
OBR. 102. ČETNOST DN DLE TYPU KŘIŽOVATKY V ČR (1990–2016)	145
OBR. 103. PRŮMĚRNÉ ROZDĚLENÍ DN NA OK DLE ZRANĚNÍ A PŘÍČIN	146
OBR. 104. PŘÍČINY DN NA OK (1994–2016).....	147

Prohlášení autora: Obrázky, které se v této práci nacházejí, pocházejí z uvedených zdrojů nebo byly vlastnoručně pořízeny digitálním fotoaparátem. Některé obrázky byly také vlastnoručně vytvořeny autorem této práce, nebo ve spolupráci s Ing. Vyskočilovou.

SEZNAM TABULEK

TAB. 01. FAKTORY MECHANIZMU DN	19
TAB. 02. PŘEHLED POČTU DN NA OK V LETECH 2007 AŽ 2016 (ÚZEMÍ ČR)	38
TAB. 03. CELOSPOLEČENSKÉ ZTRÁTY Z DN (TIS. KČ)	38
TAB. 04. ZÁVAŽNOST	39
TAB. 05. PŘEHLED OK V ČR DLE POČTU RAMEN A LOKALITY	44
TAB. 06. PŘEHLED OK V ČR DLE TYPU	45
TAB. 07. PŘEHLED OK V ČR DLE VÝSKYTU NADŘÁZENÉ KATEGORIE KOMUNIKACE	46
TAB. 08. PŘEHLED DN NA VYBRANÉM VZORKU 200 OK V ČR	50
TAB. 09. PŘEHLED KORELAČNÍCH KOEFICIENTŮ DOPORUČENÝCH K VYHLEDÁNÍ ZÁVISLE PROMĚNNÝCH	56
TAB. 10. HADDONOVA MATICE S PŘÍKLADY PŘÍSLUŠNÝCH OBLASTÍ	60
TAB. 11. PŘEHLED OČEKÁVANÉHO VLIVU NÁVRHOVÝCH PRVKŮ OK NA NEHODOVOST	62
TAB. 12. DOHLEDÁNÍ EXISTENCE NEBO ZMĚNY OK V MAPÁCH	65
TAB. 13. POPISNÉ CHARAKTERISTIKY VYSVĚTLOVANÝCH PROMĚNNÝCH	65
TAB. 14. POPISNÉ CHARAKTERISTIKY SPOJITÝCH VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH (PROVOZNÍ DATA OK)	65
TAB. 15. POPISNÉ CHARAKTERISTIKY SPOJITÝCH VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH (SILNIČNÍ DATA OK)	66
TAB. 16. POPISNÉ CHARAKTERISTIKY SPOJITÝCH VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH (PROVOZNÍ DATA – MĚŘÍCÍ VOZIDLO)	69
TAB. 17. TEST NORMALITY PRO VYSVĚTLUJÍCÍ SPOJITÉ PROMĚNNÉ	70
TAB. 18. POPISNÉ CHARAKTERISTIKY KATEGORICKÝCH PROMĚNNÝCH (SILNIČNÍ DATA OK)	71
TAB. 19. KORELAČNÍ KOEFICIENTY VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH (SILNIČNÍ DATA VJEZDU OK)	72
TAB. 20. KORELAČNÍ KOEFICIENTY VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH Z TRAJEKTORIE PRŮJEZDU VOZIDLA	72
TAB. 21. PCA: COMPONENT MATRIX	74
TAB. 22. 1. MODEL OK V ČR DLE DATABÁZE 200 OK – ÚHEL NA VJEZDU A_{MIN}	84
TAB. 23. 2. MODEL OK V ČR DLE DATABÁZE 200 OK – ÚHEL NA VJEZDU $A_{PRŮMĚR}$	84
TAB. 24. 3. MODEL OK V ČR DLE DATABÁZE 200 OK – ÚHEL NA PŘÍMÉM PRŮJEZDU Ω_{MIN}	85
TAB. 25. 4. MODEL OK V ČR DLE DATABÁZE 200 OK – ÚHEL NA PŘÍMÉM PRŮJEZDU $\Omega_{PRŮMĚR}$	86
TAB. 26. SROVNÁNÍ KVALITY MODELŮ NEHODOVOSTI	86
TAB. 27. 5. MODEL VJEZDU OK Z DN: POUZE RPDÍ	89
TAB. 28. 6. MODEL VJEZDU OK Z DN: RPDÍ A PRVNÍ SILNIČNÍ DATA	89
TAB. 29. 7. MODEL VJEZDU OK Z DN	90
TAB. 30. 8. MODEL VJEZDU OK Z DN	91
TAB. 31. 9. MODEL VJEZDU OK Z DN	93
TAB. 32. 10. MODEL VJEZDU OK ZE ZÁVAŽNOSTI	94
TAB. 33. SROVNÁNÍ MODELŮ VJEZDU: VYJÁDRĚNO Z DN A ZÁVAŽNOSTI	95
TAB. 34. PRAKTICKÉ VYUŽITÉ MODELU 8 NA SPECIFICKÉ OK: H-1/4/26-26	97
TAB. 35. ROZSAH POUŽITELNÝCH HODNOT VYSVĚTLUJÍCÍCH PROMĚNNÝCH	102
TAB. 36. SROVNÁNÍ ZÁKLADNÍCH MODELŮ OK	105

TAB. 37. PODMNOŽINY V EXTERNÍ VALIDACI	108
TAB. 38. EXTERNÍ VALIDACE MSPE	108
TAB. 39. MĚŘICÍ VOZIDLO: ZAZNAMENÁVANÉ CHARAKTERISTIKY.....	142
TAB. 40. PŘEHLED DN V ČR DLE PRVKŮ DOPRAVNÍ INFRASTRUKTURY.....	144
TAB. 41. PŘEHLED DN V ČR DLE NÁSLEDKŮ NA OK	146

SEZNAM VZORCŮ

(01) Poloměr na vjezdu – trajektorie	24
(02) Rychlost.....	24
(03) Závažnost DN	38
(04) RPDI na vjezdu OK.....	47
(05) Zvláště malé výběry	50
(06) Pivotová polosuma, rozpětí.....	50
(07) Náhodná veličina	50
(08) Malé výběry	50
(09) Střední výběry	51
(10) Velké výběry	51
(11) Šance zkoumaného jevu.....	56
(12) Logistická funkce.....	56
(13) Rozptyl pro diskrétní náhodnou veličinu	57
(14) Rozptyl pro spojitou náhodnou veličinu	57
(15) Jednoduchá funkce bezpečnosti.....	58
(16) Složitější funkce bezpečnosti.....	58
(17) Relativní nehodovost.....	59
(18) Očekávaný počet $N_{oček}$ z relativní nehodovosti	59
(19) Spojovací funkce Poissonova rozdělení.....	76
(20) Inverzní spojovací funkce Poissonova rozdělení.....	76
(21) Výchozí tvar modelu bezpečnostní funkce: nulový model.....	77
(22) Výchozí tvar modelu bezpečnostní funkce	77
(23) Akaikeho informační kritérium (AIC).....	77
(24) Model pro úseky.....	78
(25) Model pro křižovatky	78
(26) Model nehodovosti na OK.....	79
(27) Exponenciální funkce	79
(28) Logaritmická funkce.....	79
(29) Log-lineární tvar modelu DN na OK	79

(30) Empirická bayesovská metoda (EB)	81
(31) Váha EB	81
(32) Bezpečnostní potenciál.....	81
(33) Model s úhlem na vjezdu „ α “	83
(34) Model s úhlem na přímém průjezdu „ ω “.....	83
(35) 1. model OK v ČR dle databáze 200 OK: α_{min}	84
(36) 2. model OK v ČR dle databáze 200 OK: $\alpha_{průměr}$	84
(37) 3. model OK v ČR dle databáze 200 OK: ω_{min}	85
(38) 4. model OK v ČR dle databáze 200 OK: $\omega_{průměr}$	85
(39) 5. model vjezdu OK z DN	89
(40) 6. model vjezdu OK z DN	89
(41) 7. model vjezdu OK z DN	90
(42) 8. model vjezdu OK z DN	91
(43) 9. model vjezdu OK z DN	93
(44) 10. model vjezdu OK ze závažnosti.....	94
(45) Křižovatka – očekávaný počet DN	99
(46) Akaikeho informační kritérium (AIC)	102
(47) Bayesovo informační kritérium (BIC).....	103
(48) Rozptyl NB.....	103
(49) Koeficient determinace	103
(50) Podíl systematické variability.....	104
(51) Elasticita.....	104
(52) Marginální efekt.....	104
(53) MSPE	105
(54) 8. model vjezdu OK z DN	105
(55) Dílčí model: vliv RPDI.....	105
(56) Dílčí model: úhel na vjezdu.....	105
(57) Dílčí model: kolize.....	105
(58) Dílčí model: odchylka R	105
(59) Dílčí model: výskyt prstence	105
(60) Dílčí model: výskyt bypassu.....	105
(61) Dílčí model: typ vjezdu	105
(62) MSPEA + B	108
(63) MSPEA	108
(64) Rozdíl souřadnic	129
(65) Směrový úhel φ_i	130
(66) Odchylka směrů $\Delta\varphi_i$	131

(67) Vzdálenost bodů	131
(68) Sledovaná vzdálenost.....	134
(69) Počet úseků – krok 1	135
(70) Počet úseků – krok 2	135
(71) Počet úseků – krok 3	135
(72) Vážený průměr směrového úhlu φ_i	135
(73) Průměr odchylky směru $\Delta\varphi_i$	136
(74) Rozptyl směrového úhlu φ_i	136
(75) Směrodatná odchylka směrového úhlu φ_i	136
(76) Podmínka pro přímku.....	137
(77) Podmínka pro pravý oblouk	137
(78) Podmínka pro levý oblouk.....	137
(79) Rovnice kružnice.....	139
(80) Rovnice kružnice – parametr N	139
(81) Rovnice kružnice – parametr M	139
(82) Vjezdový úhel	139
(83) Vjezdový poloměr.....	139

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

AADT	Annual average daily traffic	NALMS	Národní archiv leteckých měřických snímků
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	NP	nezávislé proměnné
AIC	Akaikého informační kritérium	NUB	nepřímý ukazatel dopravy
BIC	Bayesovo informační kritérium	OK	okružní křižovatka
CDV	Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.	PCA	Principal Component Analysis
CSD	Celostátní sčítání dopravy	PK	pozemní komunikace
ČR	Česká republika	QGIS	Geographic Information System
ČSN	Česká státní norma	RPDI	roční průměr denních intenzit
ČSPH	čerpací stanice pohonných hmot	ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
D	dálnice	S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
DN	dopravní nehoda	SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
EB	Empirická bayesovská metoda	SSZ	světelné signalizační zařízení
EDA	Exploratory data analysis	SZ	smrtné zranění
EX	extravilán	TK	tečna – kruh
GLM	Generalized Linear Model	TNV	těžká nákladní vozidla
GPS	Global Positioning System	TND	těžká nákladní doprava
HD	hromadná doprava	TP	Technické podmínky
HMŠ	nehoda s hmotnou škodou	TZ	těžké zranění
IN	intravilán	úk	účelová komunikace
Kč	koruna česká	ÚKD	úroveň kvality dopravy
KT	kruh – tečna	ÚKG	úroveň kvality geometrie
LZ	lehké zranění	VaV	výzkum a vývoj
MK	místní komunikace	ZP	závislá proměnná

Název (CZE): Analýza návrhových prvků okružních křižovatek a jejich vliv na nehodovost
Název (ENG): Analysis of Roundabout design Parameters and their Impact on Accidents
Typ práce: dizertační práce
Rok vydání: září 2017
Autor: Ing. Jan Novák
Studijní program: P3607 Stavební inženýrství (nDK)
Studijní obor: AKVO3607V009 Konstrukce a dopravní stavby (KDS)
Forma studia: kombinovaná
Školitel práce: doc. Ing. Petr Holcner, Ph.D.
Místo: Vysoké učení technické v Brně
(IC: 00216305)
Fakulta stavební
Ústav pozemních komunikací
Veveří 331/95, 602 00 Brno

Školitel specialista: Ing. Jindřich Frič, Ph.D.
Pod záštitou: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
(IČ: 44994575)
Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Fotodokumentace: autor
Grafika: autor

