

IDENTIFIKACE KRITICKÝCH MÍST

NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH

V EXTRAVILÁNU

metodika provádění



Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

výzkumná, vývojová a expertní činnost s celostátní působností pro všechny obory dopravy

DIVIZE BEZPEČNOSTI A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSVÍ

Posudky a odborné studie

zpracování auditu bezpečnosti pozemních komunikací
zpracování bezpečnostních inspekcí
zpracování dopravně-inženýrských posouzení
zpracování organizace a zklidňování dopravy
řešení dopravy v klidu

Dopravně-inženýrské analýzy

hodnocení stavu silniční sítě
kapacitní posouzení komunikací a křižovatek
analýzy účinnosti dopravně inženýrských opatření
ekonomické hodnocení vlivů opatření

Analýza dopravních nehod

identifikace míst častých dopravních nehod
nehodové analýzy a návrhy bezpečnostních opatření

Dopravní průzkumy

směrové průzkumy
průzkumy intenzity, podíly tranzitní dopravy atd.
měření rychlostí vozidel
videopasport pozemních komunikací a dopravního značení



Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

tel.: +420 548 423 711

e-mail: cdv@cdv.cz

www.cdv.cz



CENTRUM
DOPRAVNÍHO
VÝZKUMU

„naše znalosti vaším zdrojem“

PŘEDMLUVA

Tato metodika byla zpracována v rámci projektu Identifikace a řešení kritických míst a úseků v síti pozemních komunikací, které svým uspořádáním stimulují nezákonné a nepřiměřené chování účastníků silničního provozu - IDEKO (číslo výzkumného projektu VG20112015013), projekt programu bezpečnostního výzkumu ČR na léta 2010-2015 Ministerstva vnitra.

Metodika byla certifikována Ministerstvem dopravy, v Praze dne 19. 12. 2012 pod č.j. 136/2012-520-TPV/1.

ODPOVĚDNÝ ŘEŠITEL

Ing. Radim Striegler

AUTORSKÝ TÝM

Ing. Jiří Ambros

Mgr. Zbyněk Janoška

Ing. Petr Pokorný

Ing. Radim Striegler

Ing. Petr Šenk, Ph.D.

Ing. Veronika Valentová

OBSAH

PŘEDMLUVA	1
OBSAH	3
I. CÍL METODIKY	4
II. VLASTNÍ POPIS METODIKY	5
1 Úvod	5
2 Nehodovost na extravilánových pozemních komunikacích	7
3 Stávající stav řešení kritických míst v ČR	9
4 Terminologie	11
4.1 <i>Základní ukazatele bezpečnosti</i>	11
4.2 <i>Funkce bezpečnosti</i>	12
4.3 <i>Regrese k průměru</i>	13
4.4 <i>Očekávaný počet nehod</i>	14
4.5 <i>Kategorie identifikovaných kritických míst</i>	14
4.6 <i>Systematické a náhodné variace</i>	15
4.7 <i>Predikční model</i>	17
4.8 <i>Kritické místo</i>	17
5 Identifikace kritických míst založená na predikčních modelech nehodovosti	19
5.1 <i>Úvod</i>	19
5.2 <i>Postup</i>	19
5.2.1 <i>Vytvoření seznamu prvků</i>	19
5.2.2 <i>Vývoj predikčního modelu</i>	20
5.2.3 <i>Odhad očekávaného počtu nehod</i>	22
5.2.4 <i>Identifikace kritických míst</i>	25
III. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPU“	26
IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY	26
V. EKONOMICKÉ ASPEKTY	26
Seznam použité související literatury	27
Seznam publikací, které předcházely metodice	28
Projekty výzkumu a vývoje Ministerstva dopravy ČR	28
Výzkumné záměry Ministerstva dopravy ČR	29
Seznam obrázků	29
Seznam tabulek	29
Příloha – Identifikace kritických úseků extravilánových silnic II. třídy v Jihomoravském kraji	30
5.1 <i>Vytvoření seznamu úseků</i>	30
5.2 <i>Vývoj predikčního modelu</i>	31
5.2.1 <i>Výběr proměnných a příprava dat</i>	31
5.2.2 <i>Volba formy modelu</i>	33
5.2.3 <i>Řešení modelu</i>	34
5.2.4 <i>Hodnocení kvality modelu</i>	35
5.3 <i>Odhad očekávaného počtu nehod</i>	35
5.4 <i>Identifikace kritických úseků</i>	36

I. CÍL METODIKY

Metodika představuje nový přístup k identifikaci kritických míst, jenž je založen na moderních zahraničních poznatcích a v České republice nebyl doposud použit. Zásadní rozdíl oproti tradičním metodám spočívá ve využití tzv. očekávaného počtu nehod k predikci nehodovosti. V současné době jsou kritická místa identifikována na základě zaznamenaných dopravních nehod, což neumožňuje uvažovat vliv regrese k průměru. Nový způsob je založen na statistických metodách a poskytuje spolehlivější výsledky než tradiční metody.

II. VLASTNÍ POPIS METODIKY

1 Úvod

V této metodice je představena jedna z moderních metod identifikace kritických míst¹ na pozemních komunikacích. Tato metoda je založena na využití očekávaného počtu nehod, který se určuje prostřednictvím modelování dopravní nehodovosti (tzv. predikčním modelováním). Postupy zde uvedené jsou zaměřeny především na směrově nerozdělené pozemní komunikace v extravilánu; lze je však aplikovat také na křižovatky v extravilánu, směrově rozdělené komunikace, na mezikřižovatkové úseky a na křižovatky v intravilánu. Jejich cílem je identifikovat místa, která jsou kritická díky působení místních rizikových faktorů vyvolaných utvářením pozemní komunikace a jejího bezprostředního okolí.

Směrově nerozdělené pozemní komunikace v extravilánu vykazují oproti zbytku silniční sítě dlouhodobě nejvyšší úroveň rizika vzniku dopravních nehod [9, 16]. Značná část těchto komunikací vychází z historických cest, které byly zmodernizovány a zpevněny tak, aby byly schopny uspokojit potřeby rozdílných typů uživatelů, od cyklistů a chodců, přes autobusy, zemědělskou techniku, po osobní a nákladní automobily a potřeby dalších účastníků silničního provozu. Vlivem rostoucích požadavků na mobilitu, zvyšující se závislosti na individuální dopravě, suburbanizaci a rozvoji ekonomické síly venkova se na nich dlouhodobě zvyšují intenzity dopravy². K tomuto nárůstu přispívá také menší množství pracovních hodin (tzn. kratší pracovní doba) společně s vyššími příjmy a tím rostoucí sociální a rekreační mobilitou [12].

Dopravní význam mnoha extravilánových pozemních komunikací se tedy výrazně změnil a mnoho úseků a křížení dnes nevyhovuje požadavkům na dostatečnou úroveň bezpečnosti. Dopravně bezpečnostní práce je mnohdy zaměřena především na pozemní komunikace vyšších kategorií (dálnice, silnice pro motorová vozidla), popř. na místní komunikace a průjezdní úseky silnic obcemi. Důsledkem jsou zvyšující se počty a závažnost následků dopravních nehod na pozemních komunikacích I. až III. třídy v extravilánu [12], které je nutné řešit.

Dopravní nehoda představuje – ze statistického pohledu – náhodnou událost s mnohými příčinami, které mohou být jak deterministické, tak stochastické povahy. Jsme stále daleko od pochopení toho jak, kdy, kde a proč se dopravní nehody stávají. Existují však nástroje, které umožňují riziko vzniku dopravních kolizí nebo dopravních nehod, popřípadě jejich následky snižovat. První krok jakékoliv smysluplné snahy o řešení bezpečnosti silniční sítě představuje identifikace kritických míst, na kterých je možno očekávat abnormální kumulaci dopravních nehod. Identifikace těchto míst musí být založena na statistických postupech a metodách, které reflektují povahu vzniku dopravních nehod.

Tato metodika nabízí právě takový postup.

¹ Kritická místa bývají nazývána také jako nehodové lokality nebo místa s častým výskytem dopravních nehod

² I když dle Celostátního sčítání dopravy z roku 2010 lze hovořit o určité stagnaci ve vývoji intenzit silničního provozu, což souvisí i se změnou Metodiky sčítání dopravy

Metodika popisuje stávající stav identifikace kritických míst v ČR, teoretické pozadí moderních metod identifikace kritických míst, a nabízí konkrétní postup identifikace kritických míst na extravilánových pozemních komunikacích pomocí aplikace predikčního modelu. V příloze je uveden konkrétní příklad využití modelu pro silnice 2. třídy Jihomoravského kraje.

Pro potřeby této metodiky představují cílovou skupinu pozemních komunikací směrově nedělené dvoupruhové pozemní komunikace I. až III. třídy v extravilánu. Konkrétně se jedná o pozemní komunikace kategorie S 7,5 až S 11,5.

Obsah metodiky vychází z poznatků získaných během prvních dvou let řešení projektu „Identifikace a řešení kritických míst a úseků v síti pozemních komunikací, které svým uspořádáním stimulují nezákonné a nepřiměřené chování účastníků silničního provozu“, zkráceně IDEKO. (projekt č. VG20112015013 v rámci programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010-2015, který řeší Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. pro Ministerstvo vnitra ČR).

2 Nehodovost na extravilánových pozemních komunikacích

Extravilánové pozemní komunikace tvoří kostru celé silniční sítě. Mají svá specifika, která je odlišují od zbytku sítě, samy o sobě však také vykazují značný stupeň různorodosti. Liší se dokonce ve svých základních charakteristikách, tj. ve funkci, návrhových prvcích, užití, chování uživatelů, kapacitách a intenzitách. Celkovou délku, průměrnou intenzitu a dopravní výkon silnic I. až III. třídy v ČR uvádí tabulka 1. Na těchto pozemních komunikacích se nachází přes 2 500 železničních přejezdů, 15 000 mostů, téměř 2 800 podjezdů a 20 tunelů [16].

tab. 1. Charakteristiky extravilánových pozemních komunikací – rok 2010/2011 [15, 17]

	Délka [km]	Průměrná intenzita [voz/24 h]	Dopravní výkon [1000 vozkm/24 h]
I. třída	5 832	8 470	52 992
II. třída	14 634	2 312	33 836
III. třída	34 128	598	20 409

V České republice zahynulo na pozemních komunikacích v extravilánu v letech 2007 – 2011 přibližně 2800 osob. Podíl z celkového počtu usmrčených na všech kategoriích pozemních komunikací se pohybuje okolo 60 %. Nejvíce usmrčených je dlouhodobě zaznamenáváno na pozemních komunikacích I. třídy, pokud však tyto údaje vztáhneme k počtu ujetých vozokilometrů [vozkm], vychází jako nejrizikovější pozemní komunikace III. třídy³. Nejčtenější kategorií usmrčených při dopravních nehodách v extravilánu tvoří řidiči a spolujezdcí v osobních vozidlech. Zranitelní účastníci (chodci, motocyklisté a cyklisté) tvoří přes 30 % usmrčených, z toho více jak 2/3 představují chodci a cyklisté [18].

Extravilánové pozemních komunikace obsahují vlastnosti, které významně přispívají k vysokému počtu dopravních nehod a zvýšenému riziku jejich vzniku. Mezi rizikové faktory patří [12]:

- Mnoho pozemních komunikací je zastaralých a nesplňuje současné požadavky na bezpečnost
- Různé druhy dopravy sdílejí stejný prostor
- Omezené šířky, časté pevné překážky, nedostatečná ochranná zóna v okolí komunikace bez pevných překážek
- Na mnoha úsecích pozemních komunikací je stanovena příliš vysoká nejvyšší dovolená rychlost; vysoké rychlosti všeobecně; variace rychlostí dána různorodostí účastníků
- Dopravně technický stav vozovky, chybějící či nevyhovující krajnice
- Chybějící vodící prvky; chybné, nesrozumitelné a nedostatečné svislé a vodorovné dopravní značení, aj.

³ Do těchto hodnot jsou započítány také dopravní nehody na průjezdních úsecích těchto silnic obcemi



obr. 01. Ukázky typických extravilánových pozemních komunikací

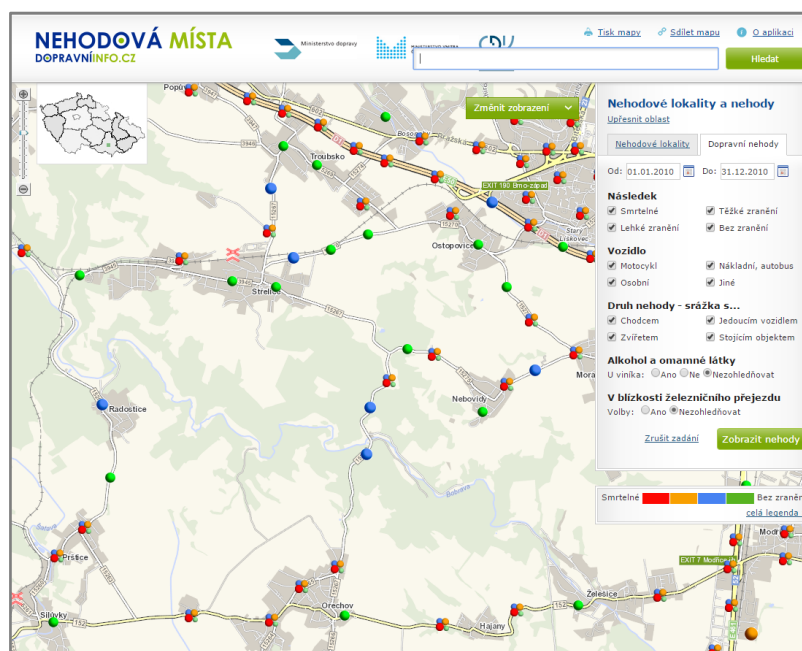
3 Stávající stav řešení kritických míst v ČR

V ČR se v současné době můžeme setkat s různými metodami identifikace, evidence a řešení kritických míst. Všechny jsou založeny na údajích o dopravních nehodách, které byly zaznamenány na pozemní komunikaci za jisté období v minulosti. Tyto nehody jsou většinou rozdělovány na základě jejich charakteristik a podle zvoleného kritéria zohledňujícího typ nehody, závažnost následků, počet nehod, časové období a délku úseku pozemní komunikace.

Přibližně do roku 2000 byl v ČR dominantně používán systém rozdělování výskytu dopravních nehod pouze podle jejich policejně právního vyhodnocení, což sice představuje jednu z forem typologie, avšak takto pojaté členění nehod není v oboru lokálních výzkumů dopravní nehodovosti příliš použitelné. CDV proto v roce 2001 zpracovalo Metodiku identifikace a řešení míst častých dopravních nehod [5]. V uvedené metodice jsou nehody rozděleny na 10 hlavních skupin a na 107 typů nehod. Podle této metodiky se křižovatky nebo úseky do 250 metrů posuzují jako místa častých dopravních nehod, jestliže se na nich staly:

- nejméně 3 nehody s osobními následky za 1 rok,
- nejméně 3 nehody stejného typu s osobními následky za 3 roky nebo
- nejméně 5 nehod stejného typu za 1 rok.

Od roku 2006 existuje v ČR systém INFOBESI, do kterého jsou ukládána data o dopravních nehodách včetně jejich GPS lokalizace. Data vkládají pracovníci Policie ČR. INFOBESI umožňuje svým uživatelům identifikovat nehodové lokality. Kritérium pro identifikaci nehodových lokalit použité v systému INFOBESI vychází z výše uvedené metodiky CDV, používá však typologii nehod založenou na statistikách Policie ČR. Tento rozdíl přináší nesoulad ve výsledcích. Finanční náročnost údržby systému taktéž omezuje jeho používání. Současná podoba je k dispozici na webu Dopravní info [16].



obr. 02. Ukázka záznamu dopravních nehod v systému Dopravní info [16]

Analýzu nehodovosti na místech a úsecích stávající silniční sítě, kde se nehody kumulují, průběžně provádí Policie ČR, Ředitelství silnic a dálnic ČR (ŘSD) nebo například správci komunikací ve vybraných městech. Používané definice se zde různí, stejně jako způsob evidence. Vzhledem k nedostatku financí nejsou však na této úrovni kritická místa řešena systematicky.

Další způsob identifikace a řešení nehodových lokalit (avšak pouze na transevropské silniční síti TEN-T) vstoupil v platnost v souvislosti s přijetím evropské Směrnice 2008/96/ES o řízení bezpečnosti silniční infrastruktury v roce 2011. Do zákona č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů, bylo doplněno, že v Centrální evidenci pozemních komunikací se evidují a aktualizují následující údaje (§29a odstavec 1 písm. d)e)):

- informace o úsecích pozemních komunikací zařazených do transevropské silniční sítě, jež jsou v provozu déle než 3 roky, s vysokým počtem dopravních nehod, při nichž došlo k usmrcení osoby, v poměru k intenzitě provozu na pozemních komunikacích, a
- informace o úsecích pozemních komunikací zařazených do transevropské silniční sítě, u nichž by odstranění nebo snížení rizik plynoucích z vlastností pozemní komunikace pro účastníky provozu na pozemních komunikacích vedlo k výraznému snížení nákladů vynakládaných v důsledku dopravních nehod, při současném zohlednění nákladů na odstranění nebo snížení těchto rizik.

Je zřejmé a uvádí to také česká Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011-2020, že v oblasti zjišťování kritických míst a jejich odstraňování se v ČR nepoužívá jednotná metodika, a to přesto, že od roku 2006 existuje databanka nehod s přesnou lokalizací dle GPS. Používané metody navíc nevychází z aktuálních poznatků o tom, jak by se měla identifikace kritických míst provádět. Všechny uvedené metody vychází z jednoduché numerické definice kritického místa a neberou v potaz částečně náhodnou povahu výskytu dopravních nehod. V této metodice je proto představen alternativní přístup zohledňující regresi k průměru prostřednictvím odhadu očekávaného počtu nehod určeného predikčním modelem nehodovosti a následnými postupy.

4 Terminologie

Jelikož problematika predikčního modelování nehodovosti popsaná v této metodice nebyla v ČR doposud podrobně řešena, je nezbytné definování základních pojmů (viz také [1, 2]). Při hodnocení bezpečnosti a identifikaci kritických míst lze použít celou řadu ukazatelů. Doposud se k níže popisovaným analýzám používal počet nehod, které jsou evidovány Policií ČR – tzv. zaznamenané nehody. Jak však bude později vysvětleno, tento ukazatel není zcela vhodný s ohledem na částečně náhodnou povahu výskytu dopravních nehod. Pro kvalitní analýzu se doporučuje použití očekávaného počtu nehod [4, 7, 9, 10, 11]. Protože je tato hodnota v praxi neznámá, byly vyvinuty statistické postupy umožňující její odhad. Za tímto účelem se využívají predikční modely nehodovosti, které budou popsány v dalším textu.

4.1 Základní ukazatele bezpečnosti

Bezpečnost je výsledkem kombinace rizika a expozice a vychází ze základního vztahu:

$$\textit{Bezpečnost} = \textit{riziko} \cdot \textit{expozice}$$

Bezpečnost se vyjadřuje počtem osobních nehod N_o . Expozice představuje míru vystavení se riziku. Mezi nejčastější jednotky expozice patří počet obyvatel, vozidel, řidičů, ujetých kilometrů nebo doba strávená v provozu. Každá jednotka poskytuje rozdílné relativní ukazatele míry rizika a používá se pro různé účely. S ohledem na množství způsobů interpretace výsledků je nutná obezřetnost při jejich používání.

Aby byly hodnoty srovnatelné, vztahují se ukazatele bezpečnosti k času t ; tak vzniká četnost nehod. Při aplikaci ukazatelů bezpečnosti na silniční síť je nutné rozlišovat křižovatky a mezikřižovatkové úseky. Hodnoty se dále vztahují k intenzitě Q a/nebo délce L .

Relativní nehodovost (R)

[počet osobních nehod/ 10^6 vozkm a rok]

První odvozený ukazatel bezpečnosti představuje relativní nehodovost. Vypovídá o pravděpodobnosti vzniku dopravní nehody na určité komunikaci ve vztahu k jejímu přepravnímu výkonu a označuje se písmenem R . Ukazatel relativní nehodovosti vyjadřuje průměrný počet dopravních nehod na silničním úseku vztažený k dopravnímu výkonu.

Pro úsek pozemní komunikace má tvar:

$$R = \frac{N_o}{365 \cdot Q \cdot L \cdot t} \cdot 10^6 \quad (1)$$

Pro křižovatky má tvar:

$$R = \frac{N_o}{365 \cdot Q \cdot t} \cdot 10^6 \quad (2)$$

Kde:

N_o	celkový počet osobních nehod ve sledovaném období	[-]
Q	průměrná denní intenzita provozu za období t	[voz/24 h]
L	délka úseku	[km]
t	sledované období	[rok]

Hustota nehod (H)

[počet nehod/km komunikace a rok]

Hustota nehod H udává průměrný roční počet osobních nehod vztažený na 1 km silniční sítě. Hustota může být spočtena jako poměr počtu nehod a délky silničního úseku, na kterém k nehodám došlo za dané časové období.

$$H = \frac{N_0}{L \cdot t} \quad (3)$$

Ukazatel hustoty ztrát (H_e)

[Kč/km/rok]

Ukazatel hustoty ztrát H_e udává celkové socio-ekonomické náklady spjaté s nehodovostí na 1 km silniční sítě. Ukazatel může být spočten jako poměr nákladů nehodovosti a délky silničního úseku, na kterém k nehodám došlo za dané časové období.

$$H_e = \frac{E}{L \cdot t} \quad (4)$$

Ukazatel relativních ztrát (R_e)

[Kč/vozk/rok]

Ukazatel relativních ztrát R_e popisuje průměrné socioekonomické náklady z osobních nehod, které se staly na silničním úseku vztažené k 1 mil. vozokilometrů v daném časovém období.

$$R_e = \frac{E}{365 \cdot Q \cdot L \cdot t} = \frac{H_e}{365 \cdot Q} \quad (5)$$

Kde:

H_e Ukazatel hustoty ztrát z osobních nehod [Kč/km/rok]

E Náklady nehod [Kč]

Relativní nehodovost je nejčastěji používaným ukazatelem bezpečnosti. Její použití má svá omezení, vyplývající z nelinearity vztahu mezi expozicí a počtem osobních nehod. Tato omezení jsou zmíněna v následující kapitole.

4.2 Funkce bezpečnosti

Intenzita provozu představuje nejdůležitější faktor, který ovlivňuje počet dopravních nehod. Její vliv však není jednoznačný. Ve valné většině případů nehodovost se zvyšující se intenzitou roste, ale nelze vyloučit ani klesající tvar funkce. Navíc tato závislost není lineární, což je v rozporu s definicí relativní nehodovosti. Ta je úměrná podílu N/Q_1^N , což představuje **lineární funkci**. Použití relativní nehodovosti může tedy vést k nesprávným závěrům o relativní bezpečnosti posuzovaných lokalit [1].

Bezpečnostní odhady by proto neměly být prováděny na základě relativní nehodovosti, ale na základě srovnání funkcí bezpečnosti.

Tyto funkce popisují vztah mezi bezpečnostmi a nehodami formou nelineární funkce. Bylo zjištěno, že na **křížovatkách** má tato funkce obecný tvar

$$a \cdot I_1^b \cdot I_2^c, a \cdot Q_1^b \cdot Q_2^c \quad (6)$$

kde I_1, Q_1 a Q_2, I_2 představují intenzity kolizních proudů, a, b, c jsou konstanty. Jedná se obecně o **nelineární funkci**. Jednotkou jsou [nehody/rok], jedná se o četnost. Pro **mezikřižovatkové úseky** má bezpečnostní funkce tvar

$$a \cdot Q^b \quad (7)$$

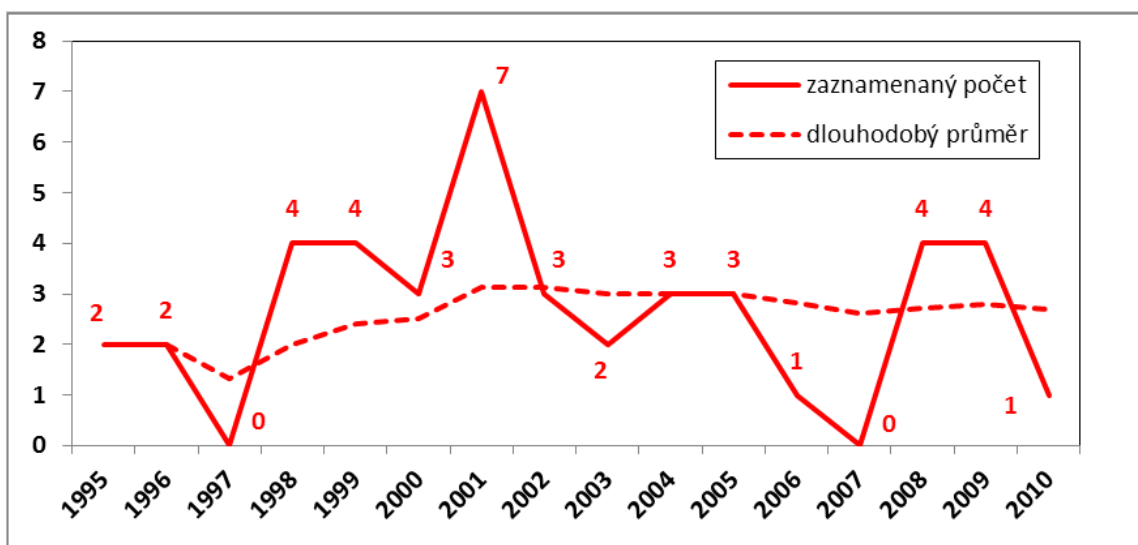
$a \cdot I^b$ vyjadřuje se v jednotkách [nehody/km/rok]. Jedná se tedy o hustotu nehod.

4.3 Regrese k průměru

Zaznamenané počty nehod podléhají v čase působení náhodných vlivů. Hodnota četnosti a hustoty dopravních nehod se navzdory logickým předpokladům v čase mění, i když se nemění žádné kauzální faktory (nedochází k úpravám dané lokality). Tyto náhodné změny jsou přirozenou vlastností dopravních nehod, která vychází z toho, že dopravní nehody představují statisticky vzácné a náhodné události.

Jev popisující kolísání v počtu dopravních nehod v čase se nazývá regrese k průměru [2].

Vliv regrese k průměru lze demonstrovat na příkladu křižovatky ulic Drobného a Pionýrské v Brně [2]. Z údajů Policie ČR byly zjištěny počty nehod se zraněním v období 1995 – 2010 (obrázek 3). V tomto období nedošlo na křižovatce k žádným stavebním úpravám. Přesto je zřejmý výrazně proměnlivý průběh počtu zaznamenaných dopravních nehod. Po každém výraznějším výkyvu, ať už kladným nebo záporným směrem, následuje regrese k průměru (návrat ke dlouhodobé střední hodnotě).



obr. 03. Vývoj počtu nehod se zraněním na křižovatce ulic Drobného a Pionýrské v Brně

Tento příklad ukazuje vliv náhodného charakteru regrese k průměru na zaznamenané četnosti nehod. Důležitost regrese se projevuje v řadě oblastí. Zejména:

- komplikuje výběr kritických míst: podmínkou výběru kritického místa je naplnění výběrového kritéria definovaného nejčastěji pouze počtem nehod za rok. Typicky se volí výběrové kritérium tří osobních nehod za rok. Na příkladu výše uvedené křižovatky je zřejmé, že kritérium bude v některých obdobích naplněno a v některých obdobích naopak nenaplněno. Křižovatka se přitom za celé sledované období nezměnila. Z tohoto důvodu je vliv regrese k průměru nutné zahrnovat do výpočtů používaných při identifikaci kritických míst.
- zkresluje účinky bezpečnostních opatření: náhodný pokles, způsobený regresí k průměru, je chybně přičítán účinku opatření a jeho účinnost je tak přeceňována.

4.4 Očekávaný počet nehod

Jak bylo ukázáno v kapitole 4.3, zaznamenaný počet nehod na zkoumané lokalitě náhodně kolísá vlivem regrese k průměru. Za účelem odstranění tohoto vlivu se doporučuje používat při identifikaci kritických míst tzv. **očekávaný počet nehod**.

Očekávaný počet nehod se stanovuje pomocí predikčních modelů nehodovosti. Jedná se o odhad dlouhodobého průměrného počtu nehod na lokalitách podobných parametrů (shodný počet jízdních pruhů, šířky krajnice, podobných intenzit dopravy, atd. viz kapitola 8)

Je možné konstatovat, že hodnota dlouhodobého průměru na křižovatce na obr. 3 se ustálila během šesti let. Během tohoto období mohlo dojít ke změnám ve složení dopravního proudu, změnám intenzit, rychlostí, způsobu evidence nehod apod. Z těchto důvodů je nutno očekávaný počet nehod **odhadovat** [8, 10].

4.5 Kategorie identifikovaných kritických míst

Existence regrese k průměru (a rozdíl mezi zaznamenanými a očekávanými nehodami) má nezanedbatelný vliv také na správnost identifikace kritických míst. Proč by jako kritérium pro identifikaci kritických míst neměl být použit zaznamenaný počet nehod, je vysvětleno na následujícím příkladu:

Předpokládejme, že kritická místa mají být identifikována z množiny 1000 lokalit. Tabulka 2 ukazuje tuto množinu rozdělenou do homogenních skupin dle jejich očekávaného počtu nehod (0,2 až 4 – vypočteno predikčním modelem). První sloupec ukazuje počty skutečně zaznamenaných nehod (0 až 9). Rozložení lokalit podle očekávaného počtu nehod v každé skupině byla vytvořena za předpokladu, že nehody podléhají Poissonovu pravděpodobnostnímu rozdělení.

tab. 2. Příklad zavádějící identifikace rizikových míst na základě zaznamenaného počtu nehod [13]

zaznamenaný počet nehod	očekávaný počet nehod					celkem
	0,2	0,5	1	3	4	
0	532	61	37	5	1	636
1	106	30	37	15	4	192
2	11	8	18	22	7	66
3	1	1	6	22	10	40
4	0	0	2	17	10	29
5			0	10	8	18
6				5	5	10
7				2	3	5
8				2	1	3
9					1	1
celkem	650	100	100	100	50	1000

Lokality s počtem očekávaných nehod 4 jsou definovány jako kritické. To znamená existenci 50 kritických míst. Pracovník např. správy silnic zná pouze údaje v pravém sloupci a variace počtu nehod mezi jednotlivými lokalitami. Očekávaný počet nehod pro každou lokalitu mu není znám. Logicky tedy identifikuje jako kritická místa ta, která mají počet nehod 4 a více – tj. 66 lokalit – **fialově ohraničeno**. Avšak mezi těmito 66 lokalitami je pouze 28 opravdových kritických míst, tj. těch, jejichž očekávaný počet nehod je 4 a více – **zeleně ohraničeno**. Ostatních 38 lokalit je tzv. nepravými pozitivy, tj. lokalitami, kde bylo sice zaznamenáno 4 a více nehod, avšak očekávaný počet nehod je nižší jak 4 – **oranžově ohraničeno**.

Z příkladu je zřejmé, že lze definovat čtyři kategorie lokalit:

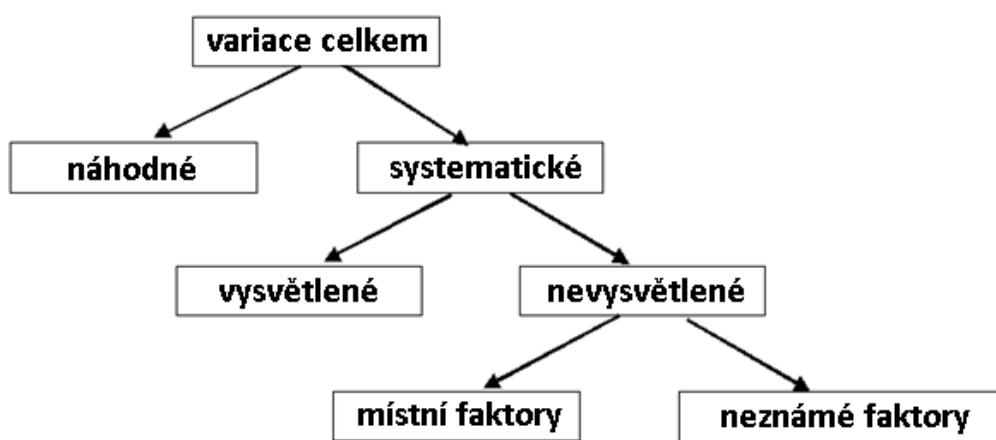
- **Pravá pozitivita:** lokality, na nichž byla překročena kritická hodnota očekávaného počtu nehod a počet zaznamenaných nehod tuto hranici taktéž překročil – **kritická místa (28 lokalit v příkladu)**
- **Nepravá pozitivita:** lokality, na nichž nebyla překročena kritická hodnota očekávaného počtu nehod, avšak počet zaznamenaných nehod tuto hodnotu překročil, a to vlivem náhodných variací (**38 lokalit v příkladu**)
- **Pravá negativita:** lokality, na nichž jsou hodnoty zaznamenaných a očekávaných nehod nižší jak kritická hodnota (**912 lokalit v příkladu**)
- **Nepravá negativita:** lokality, na nichž byla překročena kritická hodnota očekávaného počtu nehod, avšak počet zaznamenaných nehod tuto hodnotu nepřekročil, a to vlivem náhodných variací – **další kritická místa (Ve výše uvedeném příkladu se jedná o celkem 22 lokalit, které měly počet zaznamenaných nehod menší jak čtyři, ale počet očekávaných nehod byl u nich 4)**

4.6 Systematické a náhodné variace

Variace neboli výkyvy četnosti počtu nehod přirozeně patří k dopravní nehodovosti. Základní variací je část **náhodná**, kterou není možné ovlivnit, a část **systematická**. Náhodná variace je způsobena určitou kombinací specifických podmínek, při kterých dojde k dopravní nehodě. Např. unavený řidič, kluzká vozovka, zhoršená viditelnost, nedostatečně označený oblouk malého poloměru. Pokud by některá z uvedených podmínek nenastala, k nehodě by nedošlo. Vliv náhodné variace je kompenzován zohledněním regrese k průměru.

Systematická variace je způsobena určitým typem uspořádání pozemní komunikace. Např. je zřejmé, že průsečná křižovatka má vyšší míru rizika než křižovatka okružní, protože má více kolizních bodů. Část systematické variace je možno vysvětlit predikčním modelem, druhou část vysvětlit pomocí statistických modelů nelze. Z tohoto důvodu se provádí zpřesnění modelů pomocí EB odhadu a výpočtu bezpečnostního potenciálu (oboje viz 5.2.3). Tato upřesnění nevysvětlí celý rozsah těchto vlivů. K jejich vysvětlení je důležitá podrobná analýza konkrétního kritického místa a porovnání zjištěných hodnot s podobným místem, kde k dopravním nehodám nedochází. Tímto postupem se identifikují tzv. **místní faktory**, jež mají vliv na zvýšenou míru rizika na dané lokalitě.

Nikdy není možné vystihnout všechny místní faktory, neboť některé mohou nastat jen za určitých specifických podmínek a není možné je během řešení lokality odhalit.



obr. 04. Variace počtu dopravních nehod [9]

4.7 Predikční model

Jak bylo uvedeno v předchozím textu, ústředním prvkem v procesu odhadu očekávaného počtu nehod je tzv. predikční model. Ten představuje matematický vzorec popisující vztah mezi bezpečnostní úrovní (např. počet usmrčených, zraněných) stávající pozemní komunikace a proměnnými, které tuto úroveň vysvětlují (např. délka úseku, šířka jízdního pruhu, intenzita). Tyto modely vysvětlují systematické odchylky nehodovosti, na které se řešení kritických míst zaměřuje. Očekávaný počet nehod E je funkcí intenzity dopravy Q a vysvětlujících proměnných x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$); α , β a γ jsou regresní koeficienty, koeficient β vyjadřuje vliv intenzity na počet nehod a nazývá se také elasticita.

Základní podoba modelu pro mezikřižovatkové úseky [4, 8]:

$$E(\lambda) = \alpha \cdot Q^\beta \cdot e^{\sum \gamma_i x_i} \quad (8)$$

Pro křižovatky model uvažuje intenzity na hlavní silnici Q_H a vedlejší silnici Q_V . Vliv rizikových faktorů na pravděpodobnost vzniku nehod při určité expozici je obecně vyjádřen exponenciální funkcí, kde mocninu tvoří suma koeficientů γ_i a hodnota proměnných x_i , které označují rizikové faktory.

Základní podoba modelu pro křižovatky [4, 8]:

$$E(\lambda) = \alpha \cdot Q_H^{\beta_1} \cdot Q_V^{\beta_2} \cdot e^{\sum \gamma_i x_i} \quad (9)$$

Expozice a rizikové faktory tvoří vysvětlující proměnné modelu. Jejich volba záleží většinou na dostupnosti vhodných dat.

V kapitole 5 je uvedeno, jak se predikční modely využívají k identifikaci kritických míst.

4.8 Kritické místo

Jako kritické místo označujeme jakékoliv místo, které má [8]:

1. vyšší očekávaný počet nehod
2. než ostatní podobné lokality
3. důsledkem místních rizikových faktorů

Je nutno, aby byly splněny všechny tři podmínky definice. Jak již bylo uvedeno, kritické místo by mělo být definováno na základě dlouhodobě očekávaného počtu nehod a ne dle zaznamenaného počtu nehod. Nemá význam považovat lokalitu za zvláště nehodovou jenom proto, že na ní byl během specifického období zaznamenán vysoký počet dopravních nehod; zaznamenané odchylky v počtu nehod jsou totiž vždy výsledkem působení náhodných a systematických vlivů. V rámci nehodových analýz se zaměřujeme na systematické odchylky.

Kritické místo by mělo být vždy zástupcem z určité množiny lokalit, které si jsou více méně podobné (např. křižovatky s určitým počtem ramen, úseky o určité délce nebo směrové

oblouky o určitém poloměru). Podobnost lokalit může být také vyjádřena dle proměnných použitých v predikčním modelu – počtem jízdnic pruhů, intenzitou dopravy, nejvyšší dovolenou rychlostí.

Nehody jsou dále ovlivněny celou řadou faktorů, z nichž některé jsou místní povahy. 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.

5 Identifikace kritických míst založená na predikčních modelech nehodovosti

5.1 Úvod

Následující část (kapitoly 5 a 8) představuje metodiku identifikace kritických míst založenou na predikčních modelech nehodovosti. Metodika se skládá ze dvou částí:

- teoretický postup (kap. 5 - Identifikace kritických míst založená na predikčních modelech nehodovosti)
- praktický příklad (kap. 8 - Identifikace kritických úseků extravilánových silnic II. třídy v Jihomoravském kraji)

Praktický příklad je proveden podle zásad uvedených v teoretickém úvodu. Proto mají obě kapitoly stejnou strukturu dělení podkapitol.

5.2 Postup

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, tradiční postupy identifikace kritických míst vychází ze zaznamenaných četností nehod. Bylo však ukázáno, že zaznamenané počty podléhají řadě zkreslujících vlivů, zejména regresi k průměru. Za účelem minimalizace těchto rušivých vlivů byly vyvinuty postupy, které slouží k odhadu očekávaného počtu nehod. Tyto postupy aplikují tzv. **predikční modely nehodovosti**, které budou popsány v následujícím textu.

Predikční modely byly vyvíjeny od 80. let 20. století a to především ve Spojených státech, Kanadě a západní Evropě. V českém prostředí doposud nebyly využity (predikční model byl využit již v projektu VEOBEZ (Vývoj metodiky hodnocení účinnosti opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích - CG711-078-160), ovšem bez dalších upřesňujících postupů); projekt IDEKO tedy představuje první implementaci těchto moderních postupů.

Postup identifikace kritických míst by měl být následující [8]:

- 1) Vytvoření seznamu požadovaných prvků.
- 2) Vývoj predikčního modelu nehodovosti.
- 3) Odhad očekávaného počtu nehod pro vybrané prvky.
- 4) Identifikace prvků, které mají vyšší než očekávaný počet nehod.

Tyto kroky budou v následujícím textu postupně popsány.

5.2.1 Vytvoření seznamu prvků

Prvky představují jakékoli části silniční infrastruktury, pro které je predikční model tvořen, typicky tedy křižovatky nebo úseky, ale například také mosty nebo tunely. Pro jednotnost (v souvislosti s příkladem v kapitole 8) budou jako prvky dále uvažovány mezikřižovatkové úseky.

5.2.2 Vývoj predikčního modelu

V této části je popsána problematika spojená se sestavením predikčního modelu. Lze zde nalézt informace o výběru proměnných, možnostech jejich získání a stavbě modelu (více viz např. [14]).

5.2.2.1 Výběr proměnných a příprava dat

Sestavení kvalitního predikčního modelu vyžaduje důkladnou přípravu vstupních dat. Data musí být spolehlivá a dostupná pro všechny uvažované prvky.

Závisle proměnnou představuje v modelech četnost nehod za zvolené časové období. Nezávisle proměnné popisují vlastnosti pozemní komunikace, které mají prokazatelný vliv na nehodovost.

Z hlediska modelování je nejzásadnějším omezením dostupnost dat. Data by měla vždy obsahovat **zásadní proměnné na základě těchto požadavků:**

- Mají na základě výzkumných studií značný vliv na počet dopravních nehod a v předchozích studiích se ukázaly jako statisticky významné
- Lze k nim získat data
- Korelační závislost s ostatními proměnnými modelu je minimální

Zpravidla se v predikčních modelech objevují tyto proměnné:

- Indikátor expozice (dopravní výkon, intenzita)
- Proměnné popisující dopravní kategorie komunikace (dálnice, rychlostní silnice, silnice I., II., III., třídy, atd.)
- Proměnné popisující šířkové uspořádání komunikace (počet jízdních pruhů, šířky jízdních pruhů, šířka krajnice zpevněné i nezpevněné, směrové rozdělení komunikace, šířka středního dělicího pásu apod.)
- Proměnné popisující způsob řízení dopravy (nejvyšší dovolená rychlost v daném úseku, uspořádání křižovatek apod.)

Méně často se vyskytují další proměnné:

- Proměnné popisující směrové a výškové vedení komunikace (křivolakost, podélné sklony, apod.)
- Proměnné popisující chování účastníků silničního provozu (dosahovaná rychlost, používání bezpečnostních pásů, reflexních prvků u chodců a cyklistů apod.)
- Expozice zranitelných účastníků dopravy

V České republice lze k získání uvedených dat využít následující zdroje:

- Nehodovost: Nehodová data shromažďuje Policie ČR, od roku 2006 jsou lokalizované pomocí GPS [16].
- Dopravní data: Údaje o intenzitě lze získat z výsledků Celostátních sčítání dopravy poskytovaných Ředitelstvím silnic a dálnic ČR [15].
- Silniční data: Data o neproměnných i proměnných parametrech silniční sítě poskytuje Odbor silniční databanky Ředitelství silnic a dálnic ČR. V jejich databázi jsou uložena data o dálniční a silniční síti v celé ČR (D, R, S I., II., III. třídy).

Zmíněné zdroje obsahují plošná data. V úvahu je potřeba vzít řadu omezení; např.:

- Nehodová data: Policejní data obsahují pouze registrované nehody. Mezi ty nepatří např. nehody, při kterých došlo pouze k hmotné škodě nižší než stanovený limit. Tento limit se navíc v čase mění; od poslední změny v roce 2009 je nyní jeho výše 100 000 Kč.
- Dopravní data: Síť pokrytá celostátním sčítáním dopravy neobsahuje některé silnice III. třídy a místní komunikace, dále nezohledňuje intenzitu pěší dopravy. Jsou-li tato data pro model potřebná, je nutno je doplnit vlastním dopravním průzkumem.
- Silniční data: Silniční databanka ŘSD uvažuje jen vybranou síť, neobsahuje tedy např. křížení s místními komunikacemi. Tato data tedy musí být doplněna ručním sběrem dat, např. prostřednictvím mapových portálů.

5.2.2.2 Volba formy modelu

Základní forma predikčního modelu, využívaná v současnosti, byla uvedena již v kapitole 4.6 a to následovně:

$$E(\lambda) = \alpha \cdot Q^\beta \cdot e^{\sum \gamma_i x_i} \text{ pro úseky,} \quad \text{viz (8)}$$

$$E(\lambda) = \alpha \cdot Q_H^{\beta_1} \cdot Q_V^{\beta_2} \cdot e^{\sum \gamma_i x_i} \text{ pro křižovatky,} \quad \text{viz (9)}$$

kde očekávaný počet nehod $E(\lambda)$ je funkcí intenzity Q (u křižovatek součin intenzity na hlavní a vedlejší komunikaci) a dalších vysvětlujících proměnných x_i ($i=1, 2, 3, \dots, n$). Koeficienty α , β a γ označují regresní konstanty. Cílem modelování je odhad hodnot těchto koeficientů.

Zmíněné vysvětlující proměnné reprezentují rizikové faktory, které „vysvětlují“ modelovanou četnost nehod. Jednou z těchto proměnných bývá rovněž délka úseku (v případě, že úseky nemají všechny stejnou délku).

5.2.2.3 Řešení modelu

Řešení modelu spočívá ve výběru statisticky významných vysvětlujících proměnných a v určení hodnot regresních konstant. Přitom je nutno zohlednit, že četnost nehod

- je diskrétní (nespojité) veličina
- nepodléhá normálnímu rozdělení pravděpodobnosti
- je na většině úseků nulová

Z těchto důvodů nelze použít lineární regresi. Modely se proto vytváří tzv. zobecněným lineárním modelováním – k tomu lze využít řadu statistických programů, jako např. SPSS⁴, SAS⁵ nebo R⁶. Při modelování se zohledňuje pravděpodobnostní rozdělení reziduí (rozdílů mezi původními a predikovanými daty) – většinou se uvažuje negativně binomické rozdělení a logaritmická spojovací funkce.

⁴ Komerční statistický software IBM SPSS (<http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>)

⁵ Komerční statistický software SAS (<http://www.sas.com/offices/europe/czech/>)

⁶ Open-source statistický software R (<http://www.r-project.org/>)

Při tvorbě modelu je k dispozici řada vysvětlujících proměnných. Doporučuje se vkládat je do modelu postupně a ponechat je v modelu pouze v případě, kdy je jejich vztah k závislé proměnné statisticky významný. Zároveň je nutno sledovat, zda vložená proměnná není vzájemně korelovaná s ostatními veličinami.

Výsledný model by měl obsahovat takové proměnné, jejichž vztah k nehodovosti je kauzální (příčinný). Ideální model je jednoduchý, ale zároveň výstižný.

5.2.2.4 Hodnocení kvality modelu

Uvedeným postupem lze vytvořit predikční model. Existuje řada způsobů, jak ověřit jeho vhodnost, příp. srovnat s jinými modely vycházejícími ze stejných dat:

- Kontrolou rozložení reziduí modelu: rozložení reziduí by mělo být náhodné, s průměrem kolem nuly a hodnotami nepřesahujícími meze dané konfidenčním intervalem.
- Srovnáním hodnoty disperzního parametru: Disperzní parametr se určuje v průběhu modelování. Na závěr jej lze srovnat s hodnotou z původních nehodových dat. Disperzní parametr modelu by měl být nižší než disperzní parametr původních dat.
- Srovnáním informačního kritéria: Každý model má jistou hodnotu informačního kritéria, často se používá např. Akaikeho informační kritérium (AIC). Akaikeho kritérium slouží k porovnání modelů s různým počtem proměnných.

$$AIC = 2k - 2 \ln L = 2k + T \ln \frac{SSE}{T} \quad (10)$$

kde $\ln L$ je maximalizovaná věrohodnostní funkce; L , k je počet odhadovaných hyperparametrů; T je počet měření a SSE součet čtverců reziduí.

Obecně platí, že čím nižší hodnota kritéria, tím lépe model vysvětluje použitá data.

- Případně lze použít další indikátory kvality modelu (škálovaná deviance, pseudo- R^2 ad.).

5.2.3 Odhad očekávaného počtu nehod

Výsledný predikční model lze nyní aplikovat na všech úsecích ve vybraném souboru dat. Určení probíhá dosazením hodnot jednotlivých vysvětlujících proměnných do pravé strany rovnice. Výstupem na levé straně rovnice je pak očekávaný počet nehod.

Protože model 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. Dále jsou proto uvedena možná zpřesnění odhadu očekávaného počtu nehod. Lze použít dva vzájemně se doplňující přístupy: odhad pomocí empirické bayesovské metody (tzv. EB odhad) a na něj navazující tzv. bezpečnostní potenciál.

5.2.3.1 EB odhad

Za účelem kompenzace uvedeného nesouladu se aplikuje empirická bayesovská metoda (EB). Její využití bylo prokázáno jako nejvhodnější [7, 11, 12]. Je založena na využití dvou zdrojů informací:

- zaznamenaném počtu nehod r ,
- očekávaném počtu nehod na podobných místech určeném predikčním modelem λ .

Tyto dva zdroje jsou spojeny následovně do tzv. „EB odhadu“:

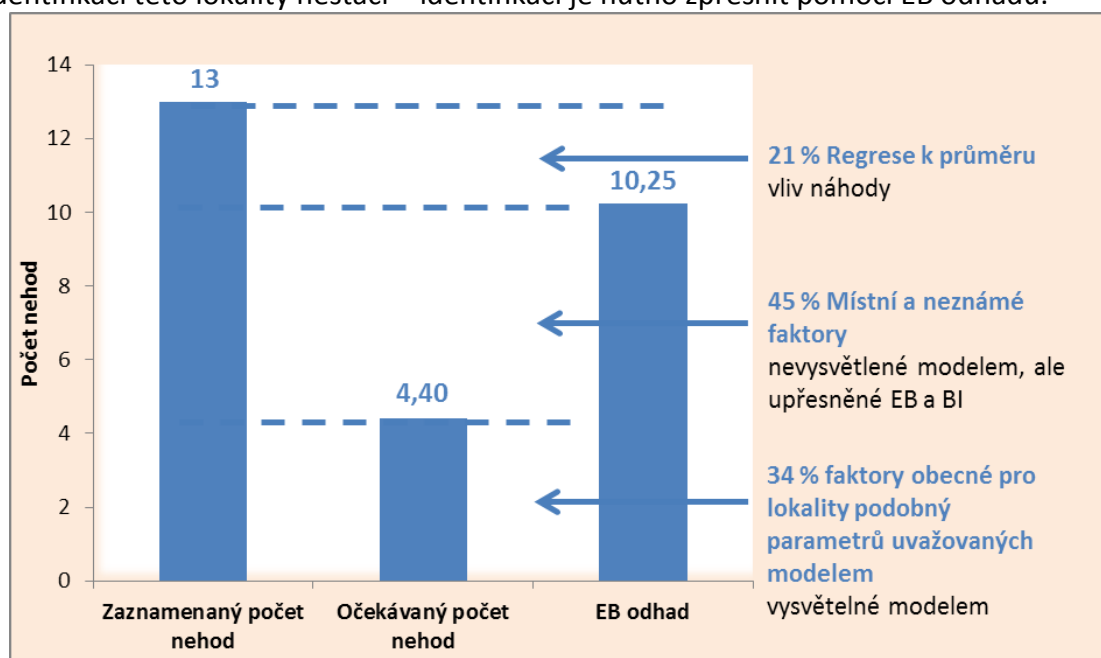
$$E(\lambda|r) = w \cdot \lambda + (1 - w) \cdot r \quad (11)$$

přičemž váha w se stanoví:

$$w = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{k}} \quad (12)$$

Kde k je převrácená hodnota disperzního parametru predikčního modelu. V případě konstantní délky úseků L je disperzní parametr konstantní, v opačném případě se jedná o funkci délky ($k.L$).

Postup výpočtu lze ilustrovat konkrétním příkladem silničního úseku – viz graf na Obr. 5. Na tomto úseku bylo v období 2009-2011 zaznamenáno 13 dopravních nehod. V druhém kroku se určí očekávaný počet nehod na tomto úseku – hodnota je 4,40. Ve třetím kroku je proveden EB odhad – ten má pro tento úsek hodnotu 10,25. U grafu jsou popsány jednotlivé složky variací, které přispívají k rozdílnosti vypočtených hodnot. Viditelný je rozdíl mezi očekávaným počtem nehod a EB odhadem – je to téměř polovina celkové variace, což dokazuje, že vliv místních faktorů je zde velmi silný. To jen potvrzuje fakt, že predikční model k identifikaci této lokality nestačí – identifikaci je nutno zpřesnit pomocí EB odhadu.



obr. 05. Zdroje variace

Složky variací lze interpretovat následovně (v grafu odspoda nahoru):

- 1) vliv obecných faktorů společných pro podobné lokality ve smyslu veličin zahrnutých v predikčním modelu – tato hodnota ukazuje nakolik je variace vysvětlená modelem,
- 2) vliv místních a neznámých faktorů – tato část není vysvětlená modelem, zpřesňuje se EB odhadem, který zohlední faktory nezahrnuté v modelu,
- 3) vliv regrese k průměru – náhodné variace způsobující kolísání kolem dlouhodobého průměru.

EB odhad tedy udává zpřesněnou hodnotu, která reflektuje jak zaznamenaný počet nehod na daném místě, tak očekávaný počet nehod na ostatních podobných místech (ve smyslu podobnosti hodnot vysvětlujících proměnných využitých v predikčním modelu).

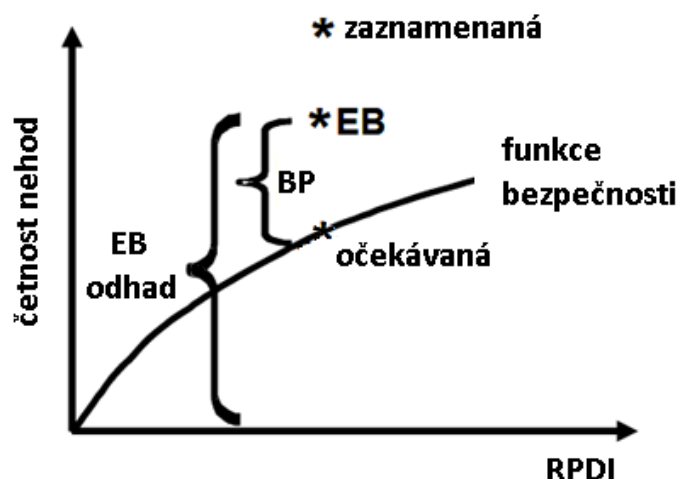
5.2.3.2 Bezpečnostní potenciál

Dle definice uvedené v bodě 4.7 je kritická lokalita místem, kde očekávaný počet nehod je vyšší než na ostatních podobných místech a to díky vlivu místních rizikových faktorů. Aby byla tato definice naplněna, používá se tzv. bezpečnostní potenciál. Jedná se o rozdíl mezi EB odhadem a očekávanou hodnotou z predikčního modelu:

$$BP_i = E(\lambda|r)_i - E(\lambda_i) \quad (13)$$

V případě různé délky úseků je nutné výsledky opět přepočíst na délku. Veličiny vstupující do vzorce se použijí nepřepočtené a přepočet se provede až na závěr.

Bezpečnostní potenciál udává, v souladu s teoretickou definicí kritického místa, rozdíl mezi očekávaným počtem nehod pomocí EB odhadu a odpovídající hodnotou na ostatních podobných místech, která je určena predikčním modelem – schematicky viz Obr. 6.



obr. 06. Schematické znázornění rozdílu mezi zaznamenanou četností, očekávanou (predikovanou) četností a EB odhadem [4]

Obrázek znázorňuje rozdíl mezi zaznamenanou četností, očekávanou (predikovanou) četností a EB odhadem. Pro účely schématu je model uvažován jen s jednou proměnnou

(RPDI), tedy ve formě jednoduché funkce bezpečnosti. Dále je vyznačen EB odhad a bezpečnostní potenciál (BP).

Velikost bezpečnostního potenciálu dle výše uvedené definice vyjadřuje rozdíl mezi počtem nehod vypočteným pomocí EB odhadu (tedy skutečného počtu nehod s uvažovaným vlivem regrese k průměru na dané lokalitě) a očekávaným počtem nehod pro daný způsob uspořádání úseku.

Rozdíl těchto hodnot 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 musí být odhaleny provedením prohlídky daného úseku (křižovatky). Mohou to být např. nedostatečné rozhledové poměry, podélný sklon a jeho lomy, kvalita povrchu vozovky apod.

5.2.4 Identifikace kritických míst

Posledním krokem je samotná identifikace kritických míst na základě výše uvedených kritérií. Provádí se ve dvou krocích:

- Seřazení úseků podle velikosti hodnoty kritéria
- Výběr horních procent z tohoto seznamu

Volba kritické hodnoty ovlivňuje množství identifikovaných úseků; doporučuje se použít např. horní 1 %, 2,5 % nebo 5 %. Volba záleží na správci komunikace a jeho finančních možnostech s ohledem na množství míst, která budou následně vybrána k řešení.

Každá volba je však kompromisem, protože s nižším rozsahem identifikace (méně %, tj. výběr závažnějších míst) sice klesá počet nepravých pozitiv (což je žádoucí), ale naopak roste počet pravých negativ. Pro ilustraci je uveden následující příklad:

V tabulce 3 je uvažováno 50 nehodových lokalit. Např. při zvolení kritické hodnoty 4 nehod bude řešeno 66 lokalit, přičemž pouze 28 z nich je skutečně kritických a řešeny by být měly.

tab. 3. Změna počtu identifikovaných lokalit v závislosti na nastavení kritéria

<i>Kritický počet nehod</i>	<i>Pravá negativa</i>	<i>Nepravá negativa</i>	<i>Pravá pozitiva</i>	<i>Nepravá pozitiva</i>	<i>Identifikované lokality celkem</i>
1	635	1	49	315	364
2	823	5	45	127	172
3	883	12	38	67	105
4	912	22	28	38	66
5	931	32	18	19	37
6	941	40	10	9	19
7	946	45	5	4	9
8	948	48	2	2	4
9	950	49	1	0	1

Praktické využití popsaného postupu se nachází v kapitole 8.

III. SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPU“

Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod vydaná Centrem dopravního výzkumu, v. v. i. v roce 2001 byla založena na tradičních přístupech, které jsou v zahraničí stále více nahrazovány spolehlivějšími statistickými metodami. Tyto moderní metody jsou představeny v této metodice.

Postup popsáný v této metodice umožňuje vytváření predikčních modelů nehodovosti ze statistických dat pro různé druhy komunikací a křižovatek. Dále popisuje metody zpřesňujících predikčních model (EB odhad a bezpečnostní potenciál). Tyto postupy nebyly v České republice doposud provedeny ani popsány.

IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Metodika je určena správcům pozemních komunikací, Policii ČR, krajským úřadům a dalším subjektům zabývajících se řešením dopravní nehodovosti. Její aplikace do praxe by měla přispět k identifikaci kritických míst dle nejaktuálnějších poznatků. Metodika bude publikována v tištěné podobě.

V. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Metoda popsáná v této metodice může při své aplikaci přispět ke zkvalitnění a zpřesnění identifikace kritických míst na síti pozemních komunikací. Dále umožňuje seřadit identifikovaná místa podle jejich závažnosti. Tím se naskýtá možnost zefektivnění využívání finančních prostředků vyhrazených na zavádění opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu. Tento postup zároveň snižuje možnost zkreslení identifikace vlivem náhodných variací; je tedy možno vybrat k řešení skutečně nejproblematičtější místa v rámci dostupných finančních prostředků.

Seznam použité související literatury

- [01] Ambros, J. Jak měřit bezpečnost? - 1. část. *Silniční obzor*, 2012, roč. 73, č. 3, s. 78-82.
- [02] Ambros, J. Jak měřit bezpečnost? - 2. část. *Silniční obzor*, 2012, roč. 73, č. 4, s. 103-105.
- [03] Ambros, J., Pokorný, P. Identifikace nehodových lokalit – projekt IDEKO. In *24. konference so zahraničnou účasťou „Bezpečnosť a plynulosť v cestnej premávke,“* Nový Smokovec, 25.-26.10.2012, ISBN 978-80-85418-76-7.
- [04] *Highway Safety Manual. First Edition*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2010. ISBN 978-1-56051-477-0.
- [05] Andres, J., Mikulík, J., Rokytová, J., Hrubý, Z., Skládaný, P. *Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2001. ISBN 80-902141-9-3.
- [06] Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., Persaud, B. Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis and Prevention*, 2010, vol. 42, pp. 1072-1079.
- [07] Elvik, R. Comparative Analysis of Techniques for Identifying Locations of Hazardous Roads. *Transportation Research Record*, 2008, no. 2083, pp. 72-75.
- [08] Elvik, R. *State-of-the-Art Approaches to Road Accident Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks* [online]. Institute of Transport Economics, 2007, report 883 [cit. 2012-12-12]. ISBN 978-82-0738-8. Dostupné na: www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D8I%20rapporter/2007/883-2007/883-2007-nett.pdf
- [09] Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., Sørensen, M. *The Handbook of Road Safety Measures*. Second Edition. Emerald Group Publishing Limited, 2009. ISBN 978-1-84855-250-0.
- [10] Hauer, E. *Observational Before-After Studies in Road Safety*. Emerald Group Publishing Limited, 1997. ISBN 978-0080430539.
- [11] Persaud, B., Lyon, C., Nguyen, T. Empirical Bayes Procedure for Ranking Sites for Safety Investigation by Potential for Safety Improvement. *Transportation Research Record*, 1999, no. 1665, pp. 7-12.
- [12] Pokorný, P. Bezpečnost extravilánových komunikací – úvod [online]. In *Bezpečnost extravilánových silnic: shrnutí semináře*, Brno, 31.5.2012, s. 4 – 9. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2012 [cit. 2012-12-12]. Dostupné na: <http://www.cdv.cz/file/seminar-bezpecnost-extravilanovych-silnic-shrnuti-seminare/>
- [13] Pokorný, P., Striegler, R. Identifikace nehodových lokalit. *Dopravní inženýrství*, 2011, roč. 6, č. 2, s. 8-11.
- [14] Reurings, M., Janssen, T., Eenink, R., Elvik, R., Cardoso, J., Stefan, C. *Accident prediction models and road safety impact assessment: a state-of-the-art [Zpráva D 2.1 projektu RIPCORD-ISEREST]* [online]. 2005 [cit. 2012-12-13]. Dostupné na: http://ripcord.bast.de/pdf/RI-SWOV-WP2-R1-State_of_the_Art.pdf
- [15] *Celostátní sčítání dopravy 2010* [online]. Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2010 [cit. 2012-12-06]. Dostupné na: <http://scitani2010.rsd.cz/pages/results/default.aspx>
- [16] *Dopravní info – Nehodová místa* [online]. Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2009-2010 [cit. 2012-12-06]. Dostupné na: <http://www.dopravniinfo.cz/nehodova-mista>
- [17] *Přehledy z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR* [online]. Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2012 [cit. 2012-12-06]. Dostupné na: http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/prehledy_2012_7_cr.pdf

- [18] *Přehled o nehodovosti za období 2008 – 2010 (statistické ročenky)* [online]. ŘSDP PPČR [cit. 2012-12-06]. Dostupné na: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-178464.aspx>
- [19] Striegler, R. IDEKO – nový přístup k identifikaci nehodových lokalit v ČR. In *XIII. Dopravně-inženýrské dny*, Hustopeče, 6.-7.6.2012, s. 142-149. ISBN 978-80-02-02391-3.
- [20] Šenk, P., Ambros, J. Estimation of Accident Frequency at Newly-built Roundabouts in the Czech Republic. *Transactions on Transport Sciences*, 2011, vol. 4, no. 4, pp. 199-206.
- [21] Šenk, P., Pokorný, P., Ambros, J. Využití predikčního nehodovostního modelu při identifikaci kritických úseků na silniční síti. In *20. Silniční konference*, Plzeň, 23.-24.10.2012, s. 112-116.

Seznam publikací, které předcházely metodice

Kapitola představuje přehled předcházejících projektů, které byly řešeny Centrem dopravního výzkumu, v. v. i., včetně jejich vybraných výstupů, příp. odkazů na výsledky.

Projekty výzkumu a vývoje Ministerstva dopravy ČR

- [22] Informační systém pro podporu rozhodování v oblasti bezpečnosti silničního provozu („INFOBESI“), č. 1F44L/046/120, období 2005-2008
- [23] Striegler, R., Tučka, P. Systém GPS v lokalizaci dopravních nehod na pozemních komunikacích. In *Sborník příspěvků 4. mezinárodní vědecké konference Nové výzvy pro dopravu a spoje, díl III*, Univerzita Pardubice, 14.-15.9.2006, s. 100-106. ISBN 80-7194-880-2, dále viz <http://www.mdcr-vyzkum-infobanka.cz/>
- [24] Optimalizace návrhových prvků pozemních komunikací mimo zastavěné území („OPTIMA“), č. 1F42I/059/120, období 2005-2008
- [25] Andres, J., Mikulík, J., Rokytová, J., Koňárek, Z., Martínek, J., Jůza, P., Rehnová, V., Moravec, V. *Zásady bezpečného utváření pozemních komunikací*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2001. Schváleno Ministerstvem dopravy a spojů ČR pod č.j. 21088/01-150 ze dne 19.4.2001.
- [26] Andres, J., Kafoňková, J., Jůza, P. *Utváření bezpečných pozemních komunikací*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2008. ISBN 978-80-86502-69-4, dále viz <http://www.mdcr-vyzkum-infobanka.cz/>
- [27] Vývoj metodiky hodnocení účinnosti opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích („VEOBEZ“), č. CG711-078-160, období 2007-2011
- [28] Ambros, J. Dopravně inženýrská data v českém prostředí: analýza dostupnosti, rozsahu a použitelnosti. *Silniční obzor*, 2011, roč. 72, č. 7-8, s. 204-209.
- [29] Šenk, P., Ambros, J. Estimation of accident frequency at new-built roundabouts in the Czech Republic. *Transactions on Transport Sciences*, 2011, vol. 4, no. 4, pp. 199-206.
- [30] Šenk, P., Ambros, J. Stanovení počtu dopravních nehod na nově budovaných okružních křižovatkách. In *Sborník příspěvků 19. Silniční konference*, Zlín, 11.-12.10.2011, s. 153-156.
- [31] Šenk, P., Ambros, J., Daňková, A. Predikce ekonomických škod z dopravních nehod na okružních křižovatkách. *Silniční obzor*, 2011, roč. 72, č. 12, s. 351-354.
- [32] Šenk, P., Ambros, J., Daňková, A. *Metodika hodnocení účinnosti opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích*. Brno: 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, dále viz <http://www.mdcr-vyzkum-infobanka.cz/>

Výzkumné záměry Ministerstva dopravy ČR

- [33] MDS 002 (Výzkum spolehlivosti a bezpečnosti dopravy a vlivu dopravy na životní prostředí ve vztahu k trvale udržitelné mobilitě, 1999-2003)
- [34] Andres, J., Mikulík, J., Rokytová, J., Hrubý, Z., Skládaný, P. *Metodika identifikace a řešení míst častých dopravních nehod*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2001. ISBN 80-902141-9-3. Schváleno Ministerstvem dopravy a spojů ČR pod č.j. 21088/01-150 ze dne 19.4.2001.
- [35] MD04499457501 (Udržitelná doprava - šance pro budoucnost, 2004-2010)
- [36] Daňková A., Koňárek Z, *Metodika výpočtu ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2007.
- [37] Striegler, R., Ambros, J., Dont, M., Pokorný, P. *Metodika bezpečnostní inspekce pozemních komunikací*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2009. ISBN 978-80-86502-87-8.

Seznam obrázků

obr. 01.	Ukázky typických extravilánových pozemních komunikací.....	8
obr. 02.	Ukázka záznamu dopravních nehod v systému Dopravní info [16]	9
obr. 03.	Vývoj počtu nehod se zraněním na křižovatce ulic Drobného a Pionýrské v Brně	13
obr. 04.	Variace počtu dopravních nehod [9]	16
obr. 05.	Zdroje variace	23
obr. 06.	Schematické znázornění rozdílu mezi zaznamenanou četností, očekávanou (predikovanou) četností a EB odhadem [4]	24
obr. 07.	Schéma procesu tvorby úseků homogenních vlastností	30
obr. 08.	Histogram počtu dopravních nehod na 1 km úseku (hustoty nehod)	34
obr. 09.	Kritické úseky identifikované pomocí EB odhadu očekávané hustoty nehod	37
obr. 10.	Kritické úseky identifikované pomocí bezpečnostního potenciálu	37
obr. 11.	Kritické úseky identifikované systémem INFOBESI.....	38

Seznam tabulek

tab. 1.	Charakteristiky extravilánových pozemních komunikací – rok 2010/2011 [15, 17]	7
tab. 2.	Příklad zavádějící identifikace rizikových míst na základě zaznamenaného počtu nehod [13].....	15
tab. 3.	Změna počtu identifikovaných lokalit v závislosti na nastavení kritéria	25
tab. 4.	Popisné statistiky souboru dat o DN z let 2009-2011.....	32
tab. 5.	Základní popisné statistiky souboru dat o dopravní infrastruktuře	33
tab. 6.	Parametry predikčního modelu nehodovosti	35
tab. 7.	Ukázka vybraných úseků a vypočtených hodnot	36
tab. 8.	Počet shodně identifikovaných úseků na základě tří metod (EB = EB odhad očekávané hustoty nehod, BP = hustota bezpečnostního potenciálu).....	38

Příloha – Identifikace kritických úseků extravilánových silnic II. třídy v Jihomoravském kraji

Příloha představuje studii identifikace kritických úseků extravilánových silnic II. třídy v Jihomoravském kraji, která byla realizována v roce 2011-12 v rámci projektu IDEKO [3,19, 21].

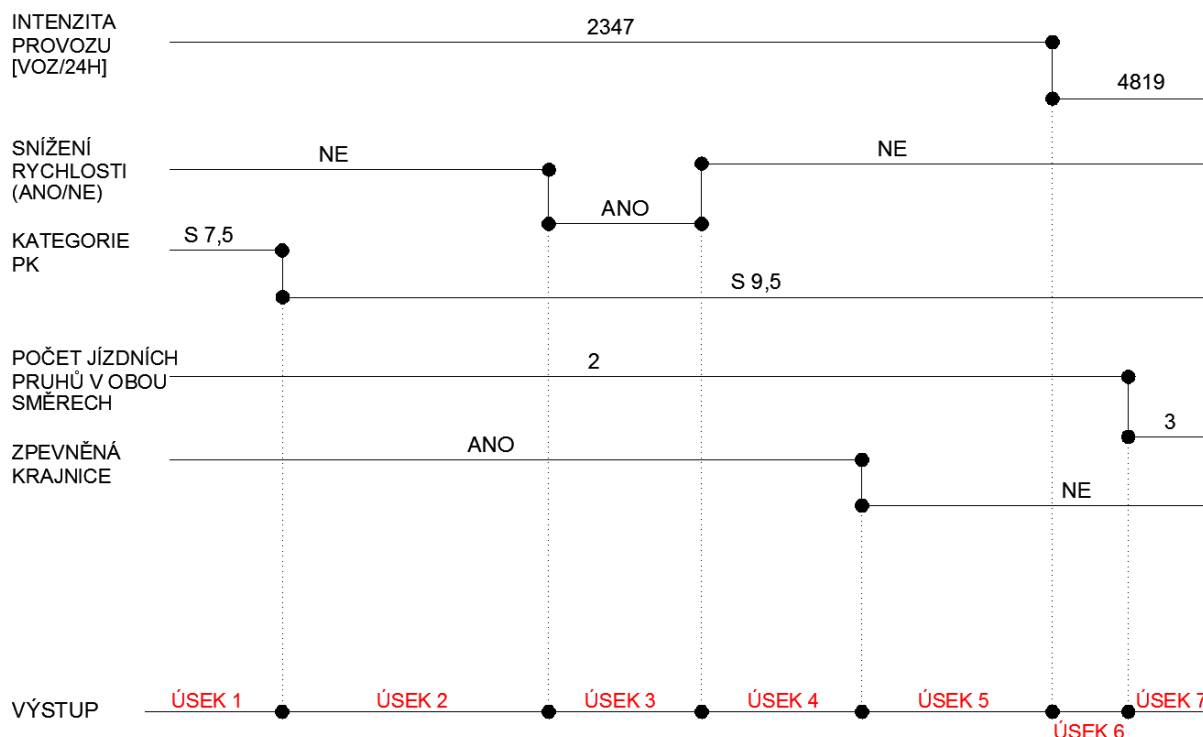
Obsah přílohy je strukturován podle jednotlivých kroků postupu identifikace, v souladu s metodikou uvedenou v předchozí kapitole.

5.1 Vytvoření seznamu úseků

Cílem identifikace byly extravilánové úseky silnic II. třídy v Jihomoravském kraji. Nejprve byly vytvořeny homogenní úseky a to následovně:

- Byly vybrány charakteristiky, které mají mít v rámci úseků stejnou hodnotu.
- Tyto veličiny zahrnovaly intenzitu, rychlostní limit, šířkovou kategorii komunikace, počet jízdních pruhů a přítomnost zpevněné krajnice.
- Při každé změně hodnoty některé z těchto veličin byl vytvořen nový úsek.

Ilustrativně je tento proces, inspirovaný článkem [6], představen na Obr. 7.



obr. 07. Schéma procesu tvorby úseků homogenních vlastností

Výsledkem tohoto procesu bylo 839 úseků s homogenními hodnotami zmíněných charakteristik.

5.2 Vývoj predikčního modelu

5.2.1 Výběr proměnných a příprava dat

5.2.1.1 Data o dopravních nehodách

Data o dopravních nehodách byla získána ze zdrojů Policie České republiky. Pro účely studie byly vybrány dopravní nehody, které se staly na extravilánových komunikacích II. třídy v Jihomoravském kraji v letech 2009 – 2011. Dále byly odstraněny nehody, které se staly na křižovatkách s komunikacemi III. a vyšších tříd tak, aby v datovém souboru zůstaly pouze nehody na sledovaných mezikřižovatkových úsecích. Nehody na křižovatkách s místními nebo účelovými komunikacemi (výjezdy z polních, lesních cest, výjezdy z parkovišť, stanic ČPH apod.) ve sledovaných úsecích byly ponechány.

Byla provedena manuální kontrola těchto nehod, při níž bylo odhaleno, že některé z nehod, které jsou uvedeny na křižovatce s místní komunikací, se ve skutečnosti staly na křižovatce se silnicí III. nebo vyšší třídy. Tyto nehody byly dodatečně odstraněny. Dále byly odstraněny dopravní nehody, které byly zaměřeny dále než 50 m od nejbližší komunikace – u těchto nehod zřejmě došlo k chybnému zaměření polohy. Celkový počet nehod, které v databázi zůstaly, byl 1408 (515 za rok 2009, 480 za rok 2010 a 413 za rok 2011).

Tabulka 4 nabízí přehled hodnot atributů ze záznamů o dopravních nehodách. Až na výjimky jsou všechny nehody registrovány na dvoupruhových komunikacích, a to nejčastěji v přímém úseku (45 % případů), v přímém úseku do 100 m od směrového oblouku (22 % případů) a ve směrovém oblouku (30 % případů). Pouze 3 % záznamů odkazuje na nehody v křiženích s místními nebo účelovými komunikacemi. Většina nehod je důsledkem havárie, srážky vozidla s pevnou překážkou nebo srážky s jiným vozidlem (84 % případů). Srážky se zvířeti tvoří 11 % případů a srážky s chodci a ostatní srážky tvoří 3 %, resp. 2 % případů. Z důvodu vysokého podílu nehod se zvířeti byla data o pozemních komunikacích obohacena o atribut „okolí komunikace“, který slouží jako zastupující proměnná pro expozici zvíře.

5.2.1.2 Data o infrastruktuře

Data o silnicích II. třídy v Jihomoravském kraji byla získána ze zdrojů Silniční databanky ŘSD. S ohledem na cíle studie byly vybrány pouze extravilánové úseky, na nichž nedochází ke křížení se silnicemi I., II. a III. třídy. K výše definovaným úsekům byla přiřazena následující data:

- délka úseku
- křivolakost
- podíl těžkých nákladních vozidel
- počet křížení s místními komunikacemi

V Tabulce 5 jsou uvedeny základní popisné statistiky datového souboru. Uvedené proměnné byly postupně zaváděny do predikčního modelu. V závislosti na tom, zda byly statisticky významné či ne, v modelu zůstaly nebo byly vyřazeny.

tab. 4. Popisné statistiky souboru dat o DN z let 2009-2011

<i>Proměnná</i>	<i>Četnost</i>
LOKALITA NEHODY	
v obci	13
mimo obec	1395
DRUH NEHODY	
srážka s nekolejovým vozidlem	562
srážka s pevnou překážkou	294
srážka s chodcem	39
srážka se zvěří	158
srážka s vlakem	2
havárie	326
jiný druh nehody	27
CHARAKTER NEHODY	
nehoda s následky na životě nebo zdraví	776
nehoda pouze s hmotnou škodou	632
ZAVINĚNÍ NEHODY	
řidičem motorového vozidla	1173
řidičem nemotorového vozidla	38
chodcem	15
lesní zvěří, domácím zvířectvem	158
závadou komunikace	3
technickou závadou vozidla	12
jiné zavinění	9
DĚLENÍ KOMUNIKACE	
dvoupruhová	1390
jiné	18
SMĚROVÉ POMĚRY	
přímý úsek	638
přímý úsek po projetí zatáčkou	307
zatáčka	418
křižovatka	45

tab. 5. Základní popisné statistiky souboru dat o dopravní infrastruktuře

Označení	Popis	Typ proměnné	Zdroj	Popisné statistiky (střední hodnota/směrodatná odchylka/ minimum/maximum nebo četnost)
KRAJNICE	Komunikace s krajnicí	Binární [1=ano]	ŘSD	1:170; 0: 678
KATPK	Kategorie komunikace	Kategorická	ŘSD	S7,5: 642; S9,5: 142; S11,5: 64
KRIZENI	Počet křížení s MK	Spojité	ŘSD	0,20 / 0,50 / 0 / 4
VYBAV	Vybavení komunikace	Spojité	ŘSD	0,47 / 0,94 / 0 / 13
CUMUL	Křivolakost	Spojité [gon/km]	ŘSD	116 / 174 / 0 / 1595
JPRUH	Počet jízdních pruhů	Kategorická	ŘSD	1:1; 2:806; 3:39; 4:2
LES	Okolí komunikace (les)	Binární [1=ano]	Cenia	1:199; 0: 649
RPDI	Roční průměr denních intenzit	Spojité [voz./rok]	ŘSD	3063 / 2931 / 91 / 18500
PODILTV	Podíl těžkých vozidel	Spojité	ŘSD	0,18 / 0,05 / 0,06 / 0,49
LEN	Délka úseku	Spojité [m]	ŘSD	1176 / 1120 / 51 / 6456
CRASH	Počet nehod	Spojité [neh./3 roky]	PČR	1,66 / 2,9 / 0 / 20

5.2.2 Volba formy modelu

Při návrhu modelu nehodovosti byla zohledněna specifika dat, konkrétně Poissonovo rozdělení počtu nehod na 1 km délky úseku (viz. Obr. 8). Data tohoto typu jsou modelována obecnou variantou negativní binomické regrese, která se v případě statisticky nevýznamného nadměrného rozptylu redukuje na klasickou Poissonovu regresi.

Detailní matematický popis negativního regresního modelu a jeho vztah k Poissonově regresi byl publikován v článku k predikčnímu modelu nehodovosti pro okružní křižovatky [20]. Negativní binomická regrese je specifickým případem zobecněné lineární regrese, ve které je jádro modelu tvořeno spojovací funkcí ve tvaru

$$\lambda = e^{(x\beta + \varepsilon)} \quad (14)$$

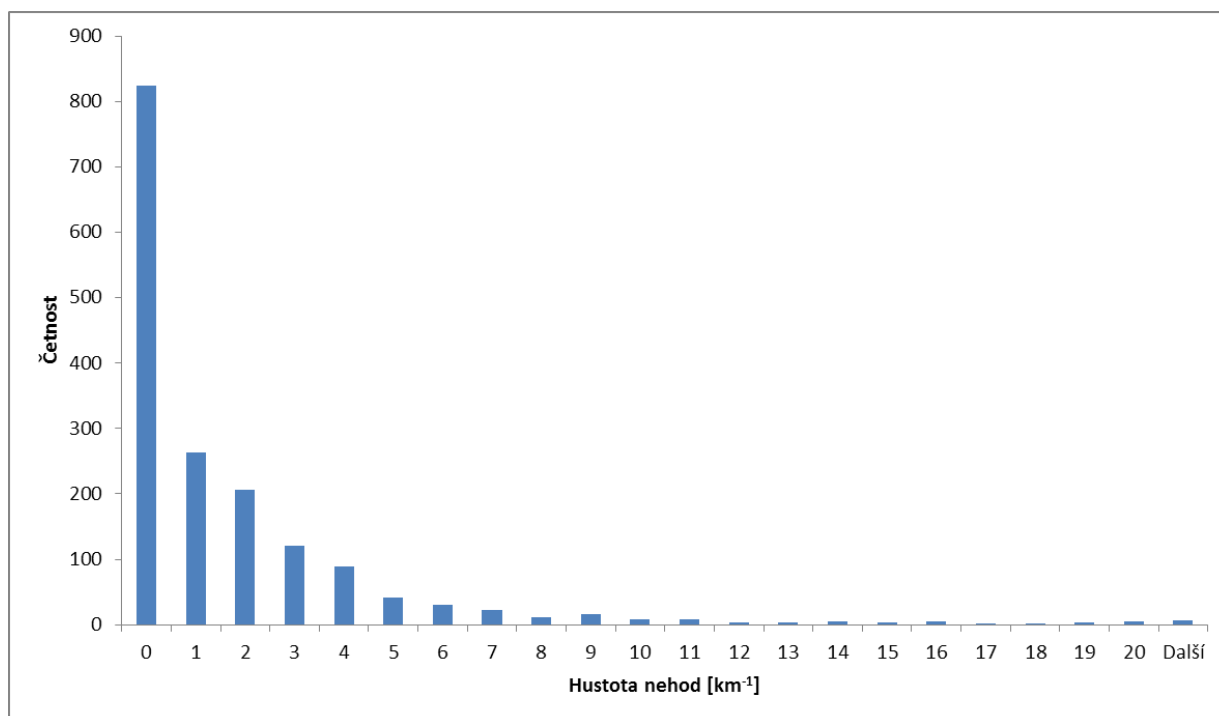
kde e^ε je náhodnou chybou s gamma rozdělením se střední hodnotou $E(e^\varepsilon) = 1$ a rozptylem $\text{Var}(e^\varepsilon) = \alpha$. Integrace ε z výše uvedené rovnice vede k negativnímu binomickému rozdělení vysvětlované proměnné se střední hodnotou λ a rozptylem $\lambda + \alpha\lambda^2$. Kladné hodnoty parametru α korigují nadměrný rozptyl vysvětlované proměnné (počtu nehod na úseku komunikace), zatímco hodnoty blízké nule redukují model na Poissonův regresní model. Odhad parametrů α a β je proveden metodou maximální věrohodnosti. Obecná funkce očekávaného počtu dopravních nehod má tvar:

$$E(\text{CRASH}) = e^{\beta_0 + \beta_1 \ln(\text{RPDI}) + \beta_2 \ln(\text{LEN}) + \sum_{i=3}^n \beta_i \cdot x_i} \quad (15)$$

Kde:

<i>RPDI</i>	roční průměr denních intenzit vozidel projíždějících úsekem komunikace
<i>LEN</i>	délku úseku v metrech
x_i	geometricko-provozní charakteristiky úseku
β_i	příslušné regresní koeficienty

Schopnost modelu reprezentovat empirická data byla hodnocena kombinací Akaikeho informačního kritéria (AIC) a testu poměrem věrohodnosti.



obr. 08. Histogram počtu dopravních nehod na 1 km úseku (hustoty nehod)

5.2.3 Řešení modelu

K odhadu parametrů regresního modelu byl využit statistický software R, konkrétně funkce *glm.nb()* pro negativní binomickou regresi z rozšiřujícího balíčku *MASS*. Finální verze modelu je výsledkem níže uvedeného procesu:

- 1) Sestavení výchozí/aktuální verze modelu se základními proměnnými *RPDI* a *LEN* (počet proměnných v modelu $j = 2$);
- 2) Vytvoření množiny modelů N složené z n modelů, které vzniknou rozšířením aktuální verze modelu o jednu z n proměnných, která není v aktuální verzi modelu obsažena ($j = j + 1$);
- 3) Výběr takové podmnožiny modelů M z N , aby pro každý model platilo, že koeficienty všech proměnných jsou statisticky různé od nuly a to na hladině významnosti 0,1 a zároveň, aby příslušná verze modelu v porovnání s aktuální verzí modelu lépe vysvětlovala variabilitu v závislé proměnné (posouzeno testem poměrem věrohodnosti). V případě nesplnění jedné z podmínek je proces modelování ukončen a aktuální verze modelu je prohlášena za finální verzi;
- 4) Model m z množiny M s nejnižší hodnotou AIC je prohlášen za aktuální verzi modelu;
- 5) Návrat do bodu 2.

Finální verze modelu je uvedena v Tabulce 6.

tab. 6. Parametry predikčního modelu nehodovosti

	β_i	SEM	z-skóre	$Pr(> z)$
γ	-13,64683914	0,632534442	-	<0,001
			21,57485543	
ln(RPDI)	0,930655451	0,054874554	16,95969038	<0,001
ln(LEN)	0,949910152	0,052579181	18,0662791	<0,001
LES	0,419977676	0,095815101	4,383209652	<0,001
CUMUL	0,000417459	0,000233551	1,787444356	0,074
AIC	2357,3			
Odhad α	2,08			
SEM α	0,28			
2 x log- věrohodnost	-2345,3			

Dosažením proměnných a příslušných hodnot parametrů do obecné funkce očekávaného počtu nehod získáme predikční model dopravní nehodovosti na mezikřižovatkových úsecích silnic II. třídy v Jihomoravském kraji ve tvaru:

$$E(CRASH) = e^{-13,6468+0,9307 \cdot \ln(RPDI)+0,9499 \cdot \ln(LEN)+0,42 \cdot LES+0,0004 \cdot CUMUL} \quad (16)$$

5.2.4 Hodnocení kvality modelu

Vysoká kladná hodnota disperzního parametru α a nízká hodnota střední chyby průměru (SEM) potvrzují nadměrný rozptyl vysvětlované proměnné a správnost volby negativního binomického modelu.

Model byl hodnocen průběžně využitím Akaikeho informačního kritéria (AIC), jak je popsáno již výše.

5.3 Odhad očekávaného počtu nehod

Pomocí uvedeného modelu byl určen očekávaný počet nehod na všech úsecích. Následně bylo provedeno jeho zpřesnění.

Zpřesnění výsledků modelu bylo provedeno postupy uvedenými v kapitole 5.2.3.1 a 5.2.3.2 (EB odhad a bezpečnostní potenciál). Při jejich výpočtu byla vzhledem k proměnné délce úseků váha počítaná jako proměnná délky.

Na ukázkou je v Tab. 7 vybráno několik hodnot s uvedenými vypočtenými hodnotami. Vyšší hodnoty bezpečnostního potenciálu představují vyšší riziko. Hodnoty vyšší než 0 znamenají vyšší než průměrné riziko pro daný typ uspořádání (očekávaný počet nehod), hodnoty nižší než 0 naopak znamenají riziko nižší.

tab. 7. Ukázka vybraných úseků a vypočtených hodnot

Číslo úseku	RPDI	Délka úseku	Křivolakost	Okolí komunikace	Počet nehod	Oček. počet nehod	Váha	EB odhad	Bezpeč. potenciál
	[voz./rok]	[m]	[gon/km]	[-]	[neh./3roky]	[neh./3roky]	[-]	[neh./3roky.km]	[neh./3roky.km]
190	7464	2083	558	1	19	13,0	0,07	8,92	2,68
191	7464	515	142	1	7	2,9	0,58	8,95	3,33
192	7464	1553	273	1	16	8,7	0,13	9,68	4,06
193	1084	1161	70	0	3	0,7	0,73	1,11	0,54
194	1084	1573	363	1	2	1,5	0,47	1,13	0,16
195	9363	1017	15	0	0	4,3	0,32	1,36	-2,82
196	12091	382	26	0	0	2,1	0,72	4,02	-1,58
197	12091	51	6	0	1	0,3	0,99	6,24	0,10
198	12091	52	0	0	1	0,3	0,99	6,22	0,10
199	12091	181	0	0	1	1,0	0,92	5,73	-0,02

5.4 Identifikace kritických úseků

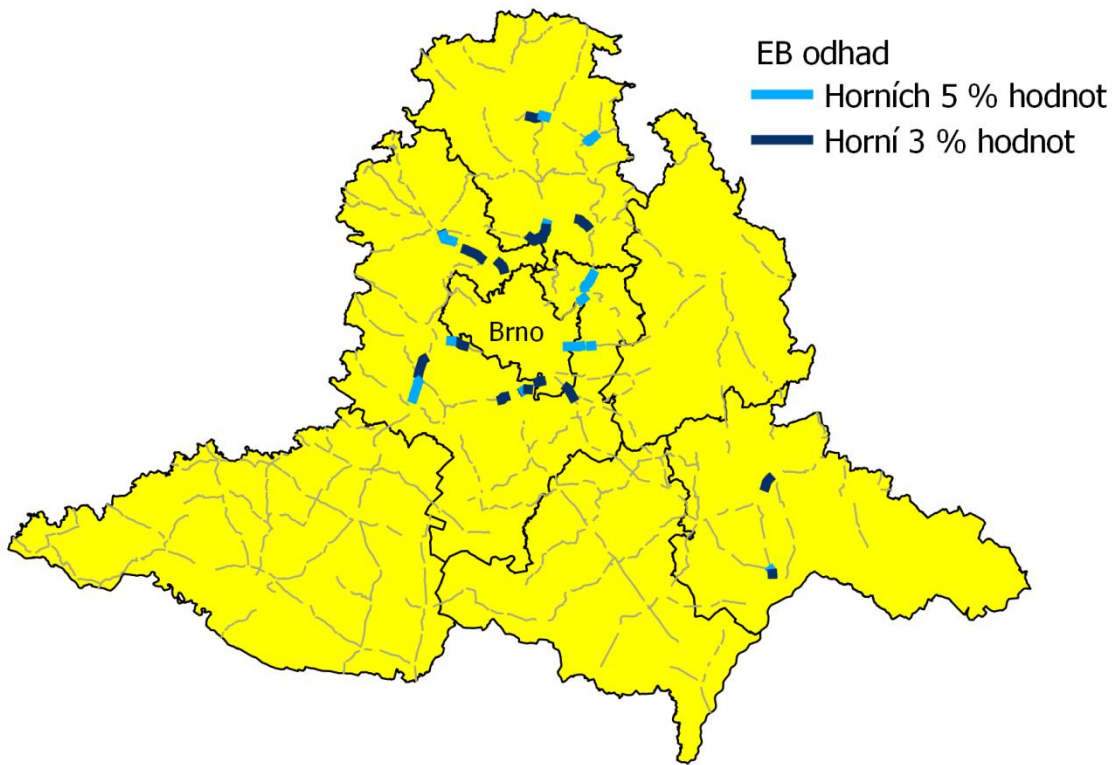
Jak bylo uvedeno, objektem studie byla síť extravilánových silnic II. třídy na území Jihomoravského kraje. Za účelem srovnání byl na stejné síti použit také postup, který je v současnosti v praxi používán (tzv. systém INFOBESI – viz kap. 3).

Celkem tedy vznikly tři setříděné seznamy kritických úseků:

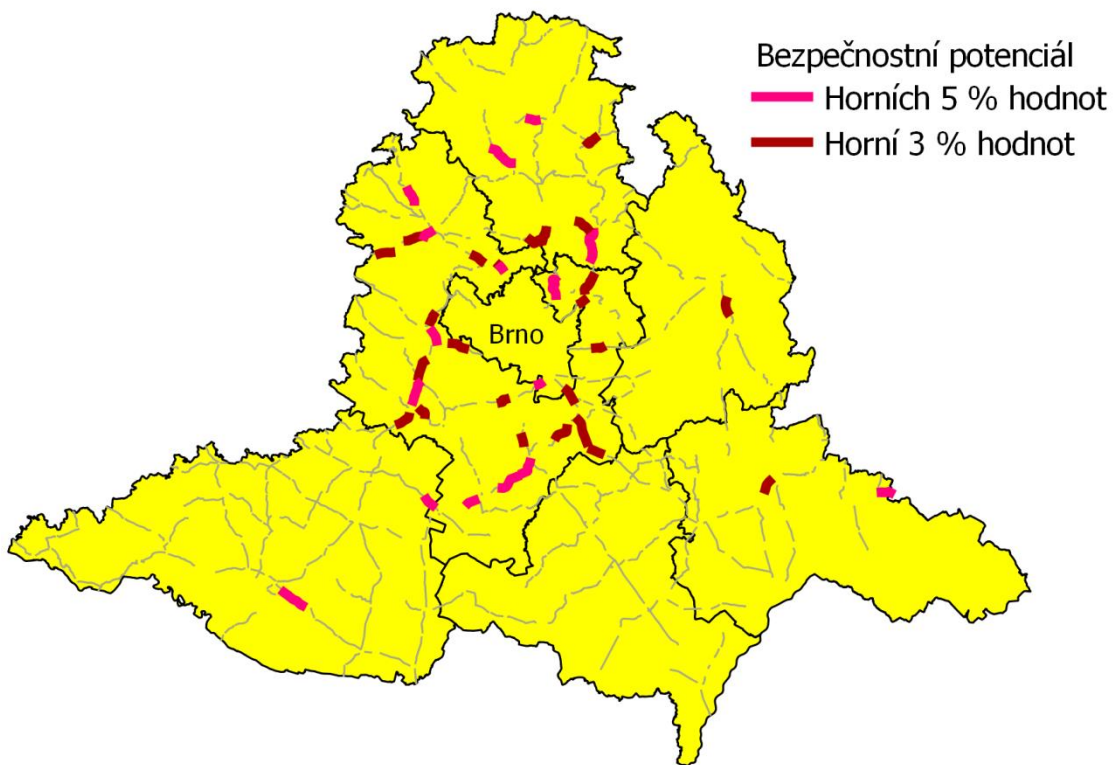
- podle EB odhadu očekávané hustoty nehod,
- podle hustoty bezpečnostního potenciálu,
- podle zaznamenaného počtu nehod (systém INFOBESI).

Takto získané výsledky byly vizualizovány v mapovém podkladu Jihomoravského kraje. Obrázky umožňují vizuální srovnání následujících výsledků:

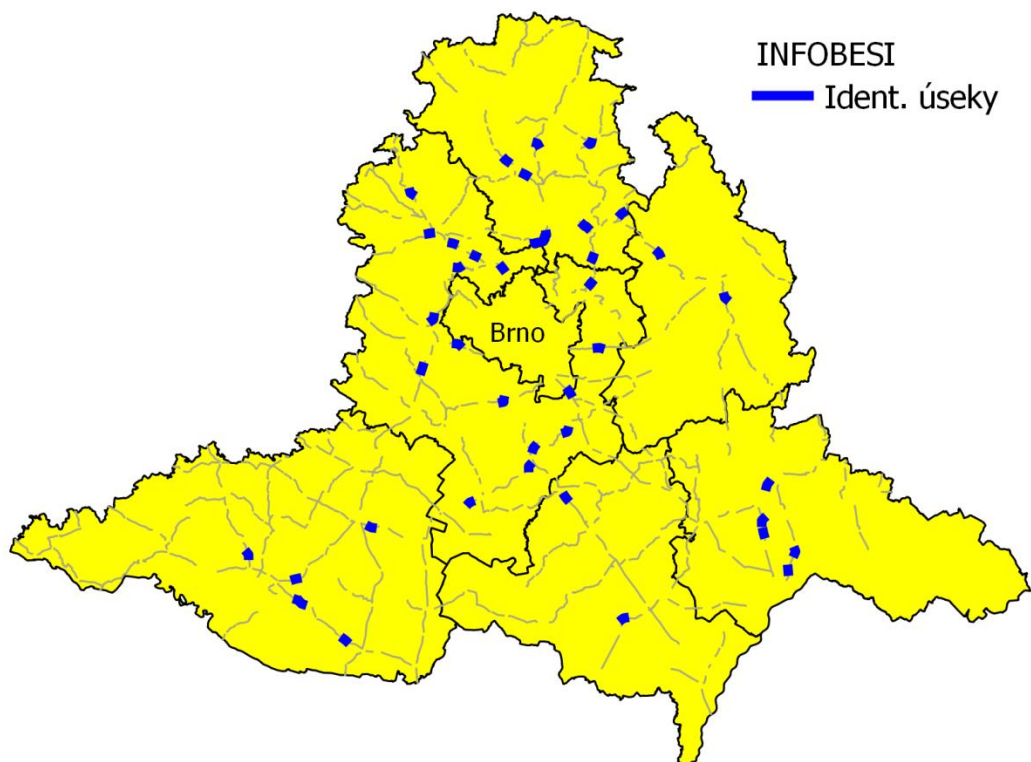
- horních 3 %, resp. 5 % očekávané hustoty nehod (25, resp. 41 úseků),
- horních 3 %, resp. 5 % hustoty bezpečnostního potenciálu (25, resp. 41 úseků),
- kritických úseků identifikovaných systémem INFOBESI (42 úseků).



obr. 09. Kritické úseky identifikované pomocí EB odhadu očekávané hustoty nehod



obr. 10. Kritické úseky identifikované pomocí bezpečnostního potenciálu



obr. 11. Kritické úseky identifikované systémem INFOBESI

Z obrázků je zřejmé, že systémem INFOBESI, který vychází ze zaznamenaného počtu nehod, je identifikována celá řada lokalit, které pravděpodobně nejsou skutečnými nehodovými lokalitami. Jedná se zřejmě o tzv. nepravá pozitiva, u kterých lze očekávat, že v dalších letech díky regresi k průměru již identifikována nebudou.

Z tabulky 8 je zřejmé, že při porovnání výsledků více metod dochází ke značné redukci počtu identifikovaných lokalit. To přispívá k jistotě, že se jedná o skutečná pozitiva. V tabulce je porovnání horních 5 % identifikovaných úseků pomocí EB odhadu a bezpečnostního potenciálu a pomocí stávajícího systému INFOBESI. Horních 5 % je voleno z důvodu, že poskytuje přibližně stejně velké soubory dat, které je možné porovnat.

tab. 8. Počet shodně identifikovaných úseků na základě tří metod (EB = EB odhad očekávané hustoty nehod, BP = hustota bezpečnostního potenciálu)

Kritérium	Počet úseků	Shoda s (1)	Shoda s (2)	Shoda s INFOBESI
(1) horních 5 % EB	41	–	19	15
(2) horních 5 % BP	41	19	–	22
(3) shoda 5 % EB a BP	19	–	–	13

V rámci studie jsou za výsledek považovány úseky identifikované pomocí bezpečnostního potenciálu, jelikož toto odpovídá definici kritické lokality v projektu IDEKO.



Název: **Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu**
Poskytovatel dotace: Ministerstvo vnitra ČR, Program bezpečnostního výzkumu České republiky 2010-2015 v projektu č. VG20112015013 „Identifikace a řešení kritických míst a úseků v síti pozemních komunikací, které svým uspořádáním stimulují nezákonné a nepřiměřené chování účastníků silničního provozu“
Zhotovitel: **Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., (IČ: 44994575)**
Odpovědný řešitel: Ing. Radim Striegler
Další řešitelé: Ing. Jiří Ambros, Mgr. Zbyněk Janoška, Ing. Petr Pokorný, Ing. Petr Šenk, Ph.D., Ing. Veronika Valentová
Oponenti: Ing. Vlasta Michková, Ředitelství silnic a dálnic ČR
Ing. Bc. Petr Kumpošt, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů
Fotodokumentace: archiv CDV
Vydalo: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Náklad: 80 ks
Tisk: Lubomír Červinka (IČ: 40981541)
Distribuce: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.,
Líšeňská 2657/33a, 636 00 Brno
www.cdv.cz, cdv@cdv.cz, tel.: +420 548 423 111

© CDV, 2012, 1. Vydání (dotisk)

ISBN 978-80-86502-47-2

Projekt:

Identifikace a řešení kritických míst a úseků v síti pozemních komunikací, které svým uspořádáním stimulují nezákonné a nepřiměřené chování účastníků silničního provozu (IDEKO) - VG20112015013



Poskytovatel: **Ministerstvo vnitra**
Doba řešení projektu: leden 2010 – prosinec 2015

Projektový web:
<http://ideko.cdv.cz/>

Projekt **IDEKO** byl řešen v rámci Bezpečnostního výzkumu MV ČR pro léta 2010 až 2015. Předmětem projektu byly extravilánové úseky pozemních komunikací II. tříd na území Jihomoravského kraje. Tato kategorie představuje z pohledu dopravní nehodovosti společně se silnicemi I. tříd nejrizikovější kategorii PK v ČR. Cílem projektu bylo vytvořit a aplikovat metodu identifikace kritických míst na silniční síti, založenou na využití predikčních modelů nehodovosti, a porovnat její přesnost se stávajícím metodami použitými v ČR.



Metodika pro identifikaci kritických míst pozemních komunikací (CDV, 2012, ISBN 978-80-86502-47-2) představuje výsledek projektu, který shrnuje nový přístup k identifikaci kritických míst, jenž je založen na moderních zahraničních poznatcích a v ČR nebyl doposud použit. Zásadní rozdíl oproti tradičním metodám spočívá ve využití tzv. očekávaného počtu nehod k predikci nehodovosti. V současné době jsou kritická místa identifikována na základě zaznamenaných dopravních nehod, což neumožňuje uvažovat vliv regrese k průměru. Nový způsob je založen na statistice a poskytuje spolehlivější výsledky než tradiční metody.

Další výstupy projektu:



Metodika řešení kritických míst na pozemních komunikacích (CDV, 2013, ISBN 978-80-86502-70-0) navazuje na identifikaci kritického místa, umožňuje ověření pozitivní kritické lokality a prověřuje kumulaci dopravních nehod vlivem náhodných faktorů, které není možné při prohlídce lokality odhalit. Sekundárním cílem bylo vytvoření katalogu bezpečnostních rizik na PK a opatření k jejich minimalizaci. Přínosem katalogu není pouhé shrnutí známých poznatků, ale doplnění údajů o životnost, finanční náročnost a účinnost jednotlivých opatření.



Metodika multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti (CDV, 2014, ISBN 978-80-88074-01-4) je třetím výsledkem projektu. Poskytuje teoretický i praktický podklad pro provádění analýzy, kterou lze provádět na úrovni krajské silniční sítě, s cílem identifikace kritických faktorů, na které je vhodné zaměřit dopravně bezpečnostní činnost. Je rozdělena do dvou částí. V první je uvedena stručná teoretická část. Je zde vysvětlen princip vybraných metod. Důraz je však kladem především na druhou (praktickou) část, kde jsou metody předvedeny na dvou příkladech.



Soubor specializovaných map s odborným obsahem (CDV, 2015, ISBN 978-80-88074-23-6) představuje účinný nástroj pro identifikaci kritických míst na síti PK s návrhy na jejich řešení (odstranění). Obsah této mapy je v souladu s projektem IDEKO, který je zaměřený na silnice II. třídy Jihomoravského kraje. Je možné jej však rozvíjet a rozšiřovat na další území ČR. Tento výsledek projektu prezentuje geometrické a provozní parametry silnic II. třídy a údaje o nehodovosti. Jsou zde zobrazena kritická a riziková místa PK.



www.cdv.cz

