Predikční modely nehodovosti – nástroj systematické identifikace kritických míst silniční sítě

Závěrečná zpráva o řešení projektu ISPROFOND 5006210255

Zodpovědný řešitel: Ing. Jiří Ambros, Ph.D.
(tel. 541 641 362, e-mail jiri.ambros@cdv.cz)

Další členové řešitelského týmu:

Mgr. Martina Bílová
Ing. Milan Brich
Mgr. Vojtěch Cícha
Vladimír Dufek
Ing. Ondřej Gogolín
Bc. Ivo Hlavůněk
Mgr. Zuzana Křivánková
Mgr. Jan Kubeček
Mgr. Martin Kyselý
Mgr. Dominika Mikšová
Ing. Jan Novák
Kristýna Procházková
Stanislav Řehák
Mgr. Jiří Sedoník
Ing. Richard Turek, Ph.D.
Ing. Ondřej Valach
Ing. Veronika Valentová, Ph.D.
Ing. Lucie Vyskočilová

© 2017 Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Obsah

Představení projektu 3
Etapa 1 – Příprava 4
1.1 Přehled dat 4
1.2 Příprava průzkumu na MÚK 5
Etapa 2 – Dopravní průzkumy 9
Etapa 3 – Zpracování dat 11
3.1 Ověření použitelnosti proměnné „hustota křižovatek“ 11
3.2 Příprava dat pro silnice I. třídy 14
3.3 Příprava dat pro dálnice 15
Etapa 4 – Finalizace a výstupy 18
4.1 Přehled predikčních modelů 20
4.2 Identifikace kritických míst 23
4.3 Prioritizace kritických míst a jejich vizualizace 23
Shrnutí 27
Reference 27
Přílohy 28

Seznam zkratek

CDV	Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
CSD	Celostátní sčítání dopravy
JDVM	Jednotná dopravní vektorová mapa
MD ČR	Ministerstvo dopravy ČR
MÚK	mimoúrovňová křižovatka
PK	pozemní komunikace
RPDI	roční průměr denních intenzit
ŘSD ČR	Ředitelství silnic a dálnic ČR
SFDI	Státní fond dopravní infrastruktury
SSZ	světelné signalizační zařízení
TSK	Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a. s.

(Použitá označení proměnných jsou vysvětlena v Tab. 3, 6, 7.)

Představení projektu

Projekt „Predikční modely nehodovosti – nástroj systematické identifikace kritických míst silniční sítě“ (ISPROFOND 5006210255; dále jen „projekt“) byl řešen Centrem dopravního výzkumu, v. v. i. v období 9/2015 – 12/2016. Projekt byl financován programem SFDI Nové technologie (smlouvou č. 933/2015 a 933/2016).

Cílem projektu bylo zvýšení bezpečnosti. Klíčovým krokem v této oblasti je efektivní alokace investic na úpravy. Proto byly v projektu vytvořeny **predikční modely nehodovosti**, které vychází z dat o silniční síti, a identifikují tak místa, která jsou riziková právě z důvodu systematických vlivů silniční infrastruktury.

Hlavním výstupem projektu je **seznam identifikovaných kritických míst** v tabulkové i mapové podobě. Seznam lze využít pro prioritizaci a efektivní alokaci prostředků do investic na zvýšení bezpečnosti.

Projekt byl řešen ve čtyřech etapách:

1. Příprava
2. Dopravní průzkumy
3. Zpracování dat
4. Finalizace a výstupy

Předložená zpráva popisuje jednotlivé etapy a výstupy. Byla projednána na jednání se zástupci uživatelů výsledků (SFDI, MD ČR, ŘSD ČR) dne 28. 6. 2017 a následně finalizována.

Etapa 1 – Příprava

1.1 Přehled dat

Klíčovým bodem projektu je vytvoření predikčních modelů nehodovosti. Jedná se o víceproměnné regresní modely, jejichž vysvětlovanou proměnnou (na levé straně rovnice) je nehodovost (ve formě roční četnosti nehod na křižovatce nebo roční hustoty nehod na 1 km délky úseku). Vysvětlující proměnné (na pravé straně rovnice) představují rizikové faktory, které ovlivňují nehodovost; volí se podle dřívějších zkušeností, ale také podle dostupnosti dat (intenzita dopravy, délka úseku, počet jízdních pruhů apod.

$$\widehat{N} = f(intenzita\ dopravy, délka\ úseku, \dots)$$

Vysvětlovaná proměnná = nehodovost

(označená $\widehat{N}$ pro odlišení od vstupních dat N)

Vysvětlující proměnné = rizikové faktory

Protože nehodová data jsou nespojitá a nelineární, používá se pro modelování zobecněná lineární regrese. Obecný postup tvorby predikčních modelů je následující:

1. Segmentace sítě (vytvoření jednotek analýzy)
2. Přiřazení dat (nehodovosti a vysvětlujících proměnných) k segmentům
3. Volba funkční formy a kalibrace modelu

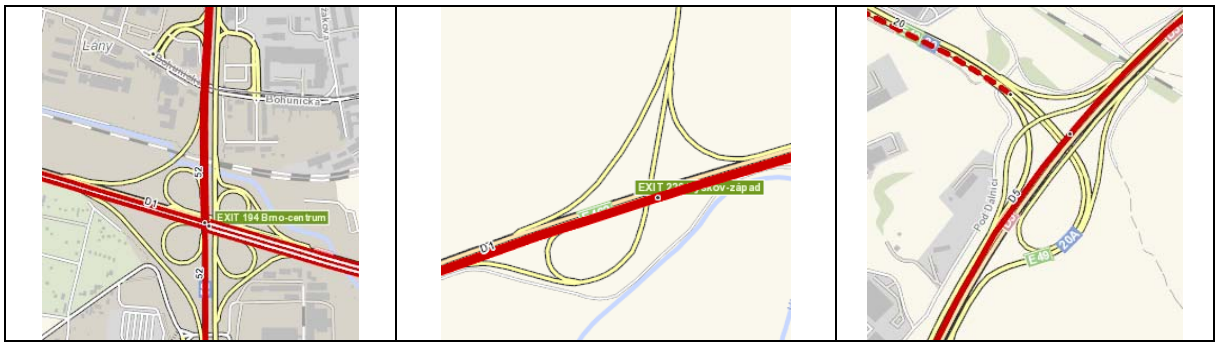
Body 1 a 2 spolu úzce souvisí. Základní segmentace je na křižovatky a mezikřižovatkové úseky.

> *Pozn.: Řešená silniční síť byla v návrhu projektu (9/2015) uvedena jako dálnice + rychlostní komunikace + silnice I. třídy (D+R+I). Kategorie R existovala do 31. 12. 2015, ke dni 1. 1. 2016 byly R přeřazeny mezi D a I. Projekt se tedy zaměřuje na síť D+I.*

Základní vysvětlující proměnnou je přitom intenzita dopravy (RPDI). Do křižovatek na silnicích I. třídy však vstupují i silnice II. nebo III. třídy, pro které není vždy RPDI dostupné; bylo by tedy nutné pro tyto segmenty provést vlastní průzkum. Bylo proto nutno zvolit takový způsob segmentace, aby bylo časově a finančně možné pro všechny segmenty určit RPDI (více viz etapa 3).

Ohledně chybějících RPDI na MÚK (viz Obr. 1) byla konzultována možnost využití dopravních modelů (AF Cityplan nebo SUDOP); bylo však zjištěno, že se jedná spíše o „makro“ modely, které nemají požadovanou podrobnost. Z toho vyplynula nutnost provedení dopravních průzkumů na všech MÚK.

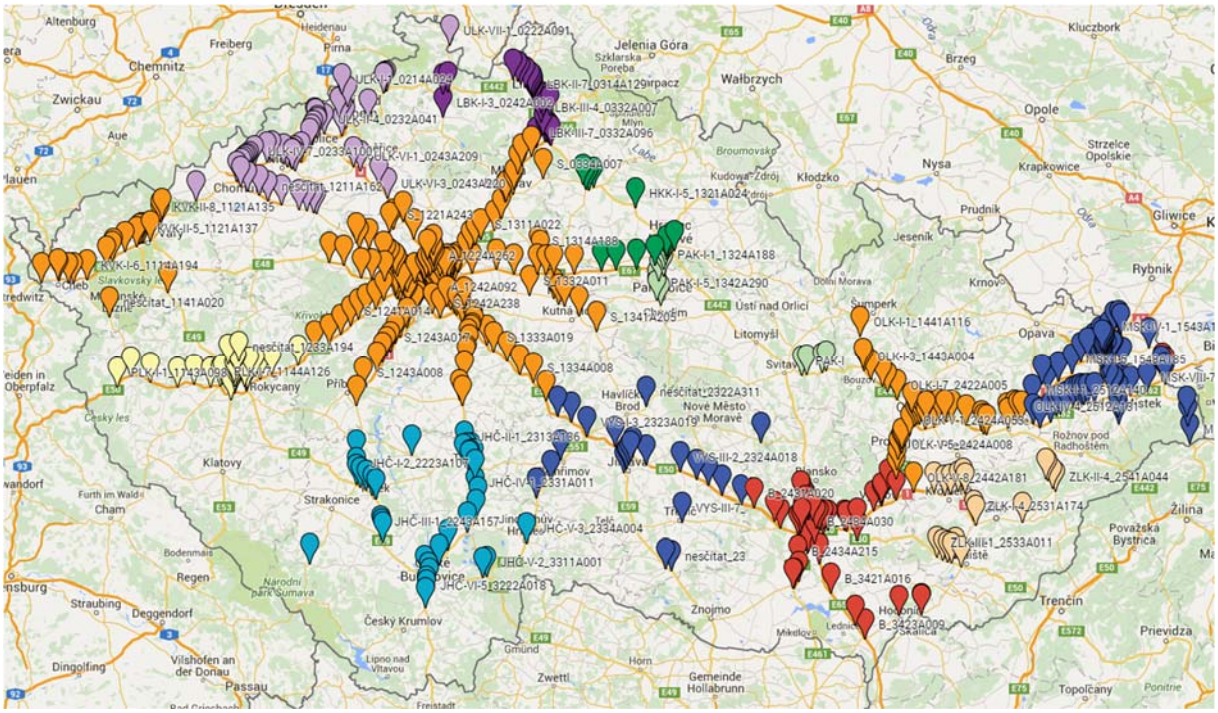
> *Pozn.: V době řešení projektu bylo zdrojem dopravních dat Celostátní sčítání dopravy 2010. V rámci projektu byla proto všechna data vztažena k úrovni roku 2010. Nebyly proto např. sledovány a hodnoceny úseky zprovozněné/rekonstruované později (např. D1 nebo D55).*



Obr. 1 Ukázka nekompletnosti dat RPDI na MÚK (pokryté jsou pouze červené úseky)

1.2 Příprava průzkumu na MÚK

Celkový počet MÚK na dálnicích a silnicích I. třídy, které byly v provozu v roce 2010, činí 465, tyto byly rozděleny do 77 okruhů. Nejvíce lokalit se nachází ve Středočeském kraji (85) a Moravskoslezském kraji (52). Celkový přehled je uveden na Obr. 2, barevně jsou rozlišeny MÚK v jednotlivých krajích.



Obr. 2 Přehled MÚK na dálnicích a silnicích I. třídy

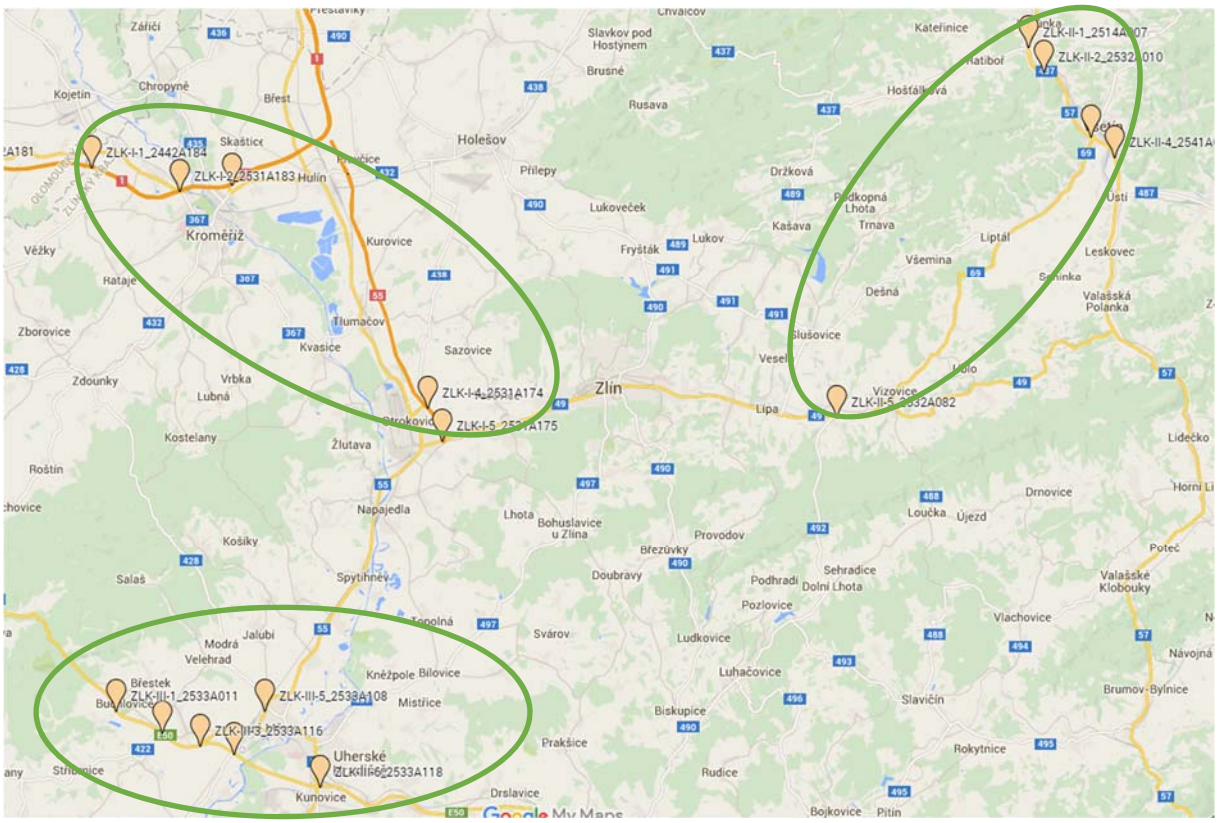
V rámci přípravy byly v první fázi porovnávány kilometrické vzdálenosti mezi jednotlivými lokalitami s cílem vybrat sběrná místa a vytvořit atrakční obvody, které bude možné obsloužit za jednu směnu s ohledem na disponibilní kapacitu vozidla a dojezdovou vzdálenost/čas. Počty vytvořených okruhů a MÚK v jednotlivých krajích jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Přehled počtu MÚK a sčítacích okruhů v jednotlivých krajích

Kraj	Počet okruhů	Počet MÚK
Hlavní město Praha	10	45
Středočeský	11	85
Jihočeský	6	31
Plzeňský	3	24
Karlovarský	3	19
Ústecký	7	44
Liberecký	3	23

Kraj	Počet okruhů	Počet MÚK
Královéhradecký	2	12
Pardubický	2	11
Olomoucký	5	37
Moravskoslezský	9	52
Jihomoravský	10	45
Zlínský	3	16
Vysočina	3	21

Na Obr. 3 je znázorněn příklad sčítacích okruhů ve Zlínském kraji.



Obr. 3 Sčítací okruhy ve Zlínském kraji

Pro jednotlivé křižovatky byly vytvořeny podklady zahrnující údaje o lokalitě, mapový podklad a panoramatický pohled s vyznačením sledovaných směrů (viz **Příloha 1**). Vzhledem k rozlehlosti křižovatek bylo na většině křižovatek umístěno více stanovišť, v průměru se jednalo o 2,5 stanoviště. Celkem to představuje cca 1162 podkladů.

Následně byly s využitím Clarke-Wrightovy metody tvorby okružních jízd pro jednotlivé sčítací okruhy naplánovány jízdy obslužného vozidla tak, aby jednotlivé lokality byly obslouženy při minimální ujeté vzdálenosti. Algoritmus metody je následující:

1. Sestaví se výchozí řešení definované jako soustava kyvadlových jízd, vč. matice vzdáleností.
2. Vypočtou se hodnoty úspor u_{ij} a sestaví do matice úspor.
3. Z matice úspor se vybere maximální kladná úspora. Testuje se, zda sloučení vrcholů *i* a *j* do jedné okružní jízdy nezpůsobí překročení kapacity vozidla. Při splnění podmínky $b_i + b_j \leq k$ se vrcholy zařadí do jedné okružní jízdy.
4. Vyhledaná maximální úspora u_{ij} se v matici úspor položí rovna 0. Přestaly-li být vrcholy *i* a *j* krajními vrcholy, položí se rovna 0 také úspora mezi krajními vrcholy nově vytvořené okružní jízdy, dále se vynechají zbývající úspory týkající se vrcholů, které přestaly být krajními. Existuje-li v matici úspor kladná hodnota, vrací se výpočet na krok 3.

Úspora u_{ij} při sloučení vrcholů *i* a *j* do jedné okružní jízdy se vypočte podle vztahu:

$$u_{ij} = d_{is} + d_{sj} - d_{ij}$$

d_{is} – vzdálenost mezi vrcholem *i* a depem s

d_{sj} – vzdálenost mezi depem *s* a vrcholem *i*

d_{ij} – vzdálenost mezi vrcholem *i* a *j*

Znázornění spojení dvou tras je uvedeno na Obr. 4.

Obr. 4 Spojení dvou tras

Pro ilustraci je uveden příklad tvorby okružních jízd na konkrétním sčítacím okruhu. Výchozí dopravní síť je uvedena na Obr. 5a. Ohodnocení hran odpovídá délkám jednotlivých komunikací v km. Potřebný počet sčítačů na lokalitě činí 1 osoba na všech lokalitách, pro přehlednost tak není uvedeno ohodnocení vrcholů. Kapacita obslužného vozidla činí 4 místa.

Příklad výpočtu úspory pro vrcholy 1 a 2 (viz Obr. 5):

$$u_{12} = d_{1s} + d_{s2} - d_{12} = 2 + 2{,}5 - 2 = 2{,}5$$

$$b_1 + b_2 = 1 + 1 = 2 \leq 4$$

Získaná úspora při zařazení uvedených vrcholů do jedné okružní jízdy činí 2,5 km, kapacitní podmínka je splněna.

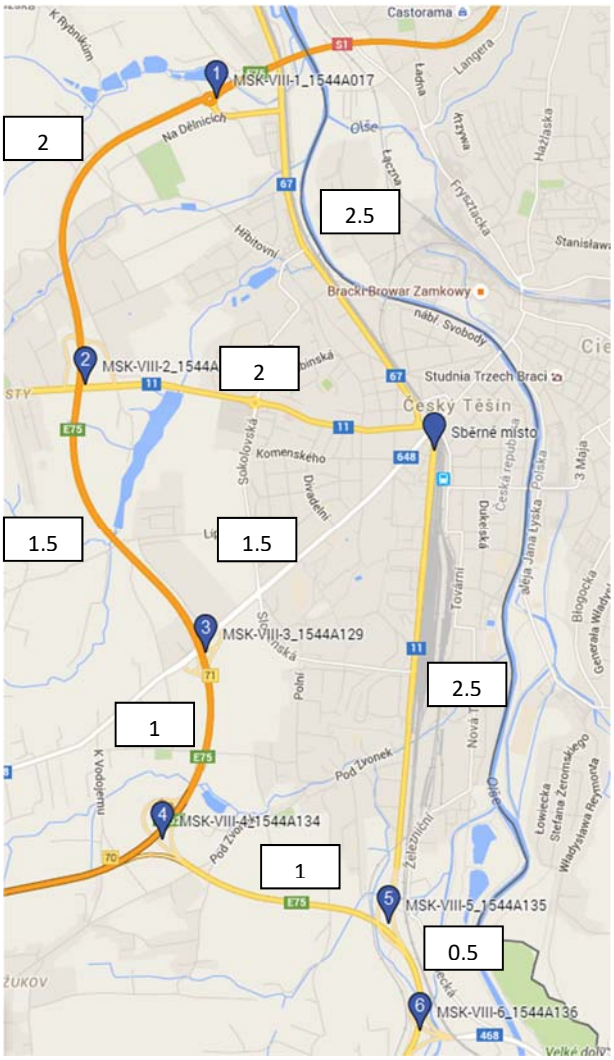
Další vypočtené úspory byly zapsány do matice úspor, která je uvedena v Tab. 2.

Tab. 2 Matice úspor

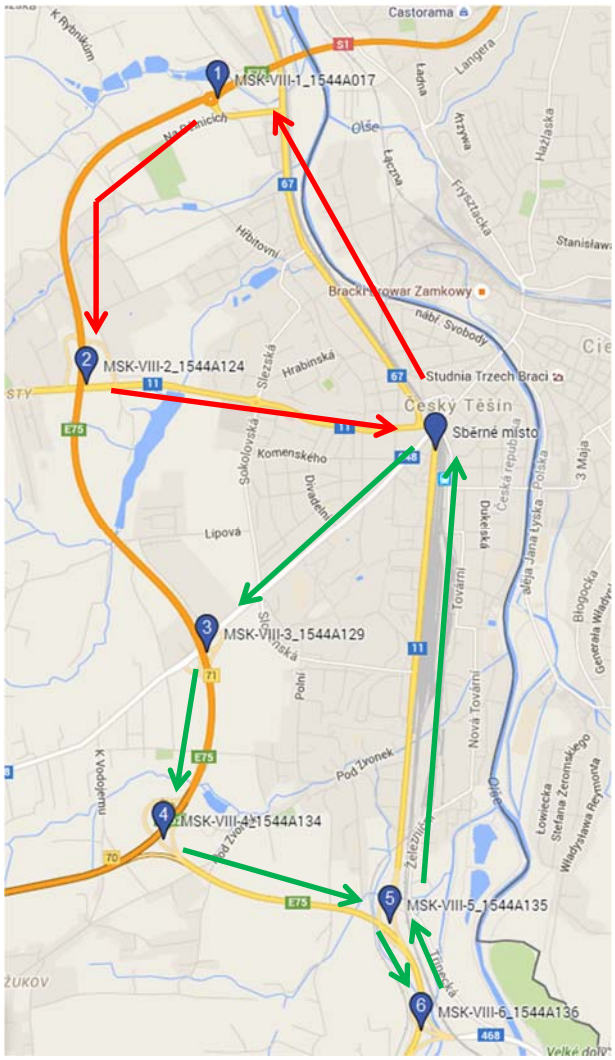
	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
0	0	-	-	-	-	-	-
1	-	0					
2	-	2,5	0				
3	-	0,5	2	0			
4	-	0,5	2	3	0		
5	-	0	1	2	4	0	
6	-	0	1	2	4	5	0

Po výpočtu všech úspor a následném vytvoření okružních jízd sestupně od maximální úspory byly získány dvě okružní jízdy: 0 – 6 – 5 – 4 – 3 – 0 a 0 – 1 – 2 – 0. Výsledné řešení je uvedeno na Obr. 5b.

Obdobně jako ve výše uvedeném případě byly navrženy okružní jízdy i v dalších sčítacích okruzích v jednotlivých krajích. V případě křižovatek na liniových stavbách pak došlo vzhledem ke specifickému charakteru tras k určitému zjednodušení. Sběrná místa byla vybrána vždy tak, aby byla pokryta v rámci dopravní obslužnosti.



Obr. 5a Příklad dopravní sítě (Český Těšin)



Obr. 5b Výsledné řešení okružních jízd

Etapa 2 – Dopravní průzkumy

Na základě zpracovaných podkladů v předchozí etapě byl v únoru 2016 zahájen směrový průzkum na mimoúrovňových křižovatkách (MÚK) pro doplnění intenzit ze zdrojů CSD a TSK. V první fázi byla pro zajištění potřebného počtu brigádníků navázána spolupráce s personální agenturou (PA), kdy s ohledem na objem poptávané práce bylo nutné realizovat výběrové řízení. Předpokládaný počet sčítačů činil 638 ve věku nad 18 let, podmínkou byla zdravotní způsobilost pro práci na komunikaci v souladu se směrnicí GŘ ŘSD ČR 4/2007 Pravidla bezpečnosti práce na dálnicích a silnicích. Technická specifikace poptávky je uvedena v **Příloze 2.** Kromě brigádníků zajištěných PA se část brigádníků přihlásila také v rámci nabídky na webu CDV a letácích distribuovaných na VŠ v Praze a Brně; s těmito brigádníky tak bylo možné realizovat první část sčítání, ještě před uzavřením smlouvy s PA.

Kromě zajištění brigádníků byl sestaven a průběžně doplňován harmonogram činností. Pro každý týden bylo aktualizováno pokrytí sčítacích okruhů a rozvrhy pracovníků na jednotlivé dny. Podle vybraných sčítacích okruhů (počtu stanovišť) byl na předem avizované termíny zprostředkován potřebný počet brigádníků. Sčítání probíhalo paralelně v Praze a přilehlých krajích (Středočeský, Královehradecký, Liberecký, Ústecký, Karlovarský, Plzeňský, Jihočeský); analogicky v Brně a krajích Vysočina, Pardubickém, Olomouckém, Zlínském a Moravskoslezském. Z uvedených měst byla zajištěna koordinace brigádníků a pracovníků CDV. Součástí organizace průzkumů byla také tvorba dohod o provedení práce, bezpečnostní školení nových brigádníků a řešení případných problémů.

Celkový počet sčítacích dní činil 113, celkový počet odpracovaných hodin činil 3292. Na Obr. 6 je ukázka části harmonogramu z měsíce května 2016.

	JMK-IV			JMK-V		JMK-VI			VYS-III		VYS-II			VYS-I		PAK-II		PAK-I		
Jméno/Datum	2.5. - po	3.5. - ut	4.5. - st	5.5. - čt	6.5. - pa	9.5. - po	10.5. - ut	11.5. - st	12.5. - čt	13.5. - pa	16.5. - po	17.5. - ut	18.5. - st	19.5. - čt	20.5. - pa	23.5. - po	24.5. - ut	25.5. - st	26.5. - čt	27.5. - pa
Bajgart Michal												8:10			8:10					
Bočková Lucie																				
Branická Ivana																			9:30	
Černá Karolína																	9:45	8:30		
Dvořák Jan	9:00					9:00						9:30								
Ferkovičová Tereza										8:15			9:30							
Geist Šimon		9:30								8:15		9:30								
Hattanová Ludmila																	8:30			
Jelínek Rostislav				8:15									8:10							
Kalábová Aneta																			9:30	
Kasaničová Alžbeta															8:10					
Kosečková Miroslava		9:30					8:10													
Koubek Jakub																	8:30			
Kučera Jaroslav	8:10									8:15			9:30							
Langerová Monika		8:10						9:00	8:10											
Lohynský Lukáš			9:00			9:00	9:20													
Marinčinová Nikola																	9:45	8:30		
Mishcheniuk Mark										8:15										
Mlynarčíková Jana																			8:10	
Neubauerová Iva		9:30															8:30			
Neubauerová Jana	8:10																8:30	8:30		
Novotná Jana				8:15																
Papugová Martina	9:00					8:10						8:10			8:10					
Pfleger Ricki			8:15	9:15		8:10	9:20	8:10	8:10			8:10	8:10						8:10	
Pokorný Filip										9:30										
Sirovecová Kristina	8:10		8:15																	
Sedláček Tomáš	8:10																		9:30	
Stančeková Andrea			9:00	9:15									8:10							
Střálka Kryštof						9:00	9:20		8:10											
Střelečková Lucie		8:10																		
Svobodová Ivona						8:10	8:10	8:10												
Svobodová Šárka												9:30								
Šebečková Lucie			8:15	9:15			8:10	9:00	8:10			8:10			8:10				8:10	

Obr. 6 Harmonogram sčítání 5/2016

Před vlastní realizací směrového průzkumu v jednotlivých okruzích bylo s ohledem na charakter křižovatek (nutnost pokračovat po najetí na rampu) třeba, aby se každý pracovník zajišťující práci v terénu seznámil s danou trasou a připravil itinerář (možnosti zastavení, ev. otáčení – propustky, dopravní stíny). Příklad sčítacího okruhu je uveden na Obr. 7. Ukázka podkladu pro rozvoz sčítačů je v **Příloze 3.**

Obr. 7 Příklad sčítacího okruhu u Uherského Hradiště (I/50, I/55)

Na začátku každého sčítacího dne byli sčítači seznámeni s bezpečností práce na pozemních komunikacích a nutností dbát zvýšené obezřetnosti. Sčítači se pohybovali výhradně po zpevněné a nezpevněné krajnici, vstup do jízdního pruhu byl povolen pouze pod dohledem pracovníka CDV. Sčítací stanoviště bylo vždy umístěno tak, aby bylo minimalizováno riziko plynoucí ze silničního provozu. Sděleny byly také potřebné pokyny ke způsobu zaznamenávání projíždějících vozidel do formuláře a k rozlišování kategorií vozidel (viz příklad v **Příloze 4**). Byla sledována zvlášť vozidla do 3,5 t včetně a nad 3,5 t. Školicí materiály byly novým účastníkům elektronicky zaslány ještě před termínem průzkumu. Každý ze sčítačů obdržel také reflexní vestu.

Následně byli brigádníci rozvezeni na sčítací stanoviště na MÚK, kde obdrželi podklady pro sčítače a bylo jim vysvětleno, který směr (příp. které směry) mají zaznamenávat. Délka vlastního sčítání činila 2 hod. na jedné lokalitě v souladu s TP 189. Po uvedeném čase byli převezeni na další stanoviště v rámci křižovatky (podle rozlehlosti křižovatky) anebo další křižovatku na trase. Po dalším dvouhodinovém sčítání byli brigádníci svezeni zpět na sběrné místo, kde proběhla kontrola a kompletace odevzdaných sčítacích listů.

Etapa 3 – Zpracování dat

Prvním krokem v procesu tvorby predikčních modelů nehodovosti byla segmentace, popsaná v etapě 1. K získaným segmentům je následně potřeba přiřadit relevantní vstupní data:

- nehodová data Policie ČR (prostřednictvím Jednotné dopravní vektorové mapy)
- data o síti ze Silniční databanky ŘSD ČR nebo vlastních průzkumů
- dopravní data, tj. RPDI z CSD/TSK a vlastního průzkumu (etapa 2)

Uvedená data musí být dostupná pro všechny segmenty. Za účelem zajištění pokrytí MÚK na dálnicích byl proveden dopravní průzkum, popsaný v etapě 2. Dalším úskalím byla dostupnost RPDI na všech ramenech křižovatek na silnicích I. třídy. Na síti extravilánových úseků silnic I. třídy v Jihomoravském kraji bylo zjištěno, že intenzity na všech ramenech má dostupné přibližně polovina křižovatek. Potenciálním řešením jak křižovatky zohlednit, je využití vysvětlující proměnné „hustota křižovatek“ (tj. počet „nesčítaných“ křižovatek na délku úseku, vymezeného „sčítanými“ křižovatkami). Ověření vhodnosti tohoto postupu je popsáno v následující podkapitole (více viz [1]).

3.1 Ověření použitelnosti proměnné „hustota křižovatek“

V principu lze vytvořit predikční modely nehodovosti ve třech formách (viz Tab. 3):

- pro nehody na mezikřižovatkových úsecích (s vysvětlujícími proměnnými RPDI a délkou úseku)
- pro nehody na křižovatkách (s RPDI na hlavní a vedlejší komunikaci, počtem ramen apod.)
- „kombinovaný“ model nehod na úsecích i křižovatkách (s RPDI, délkou a hustotou křižovatek)

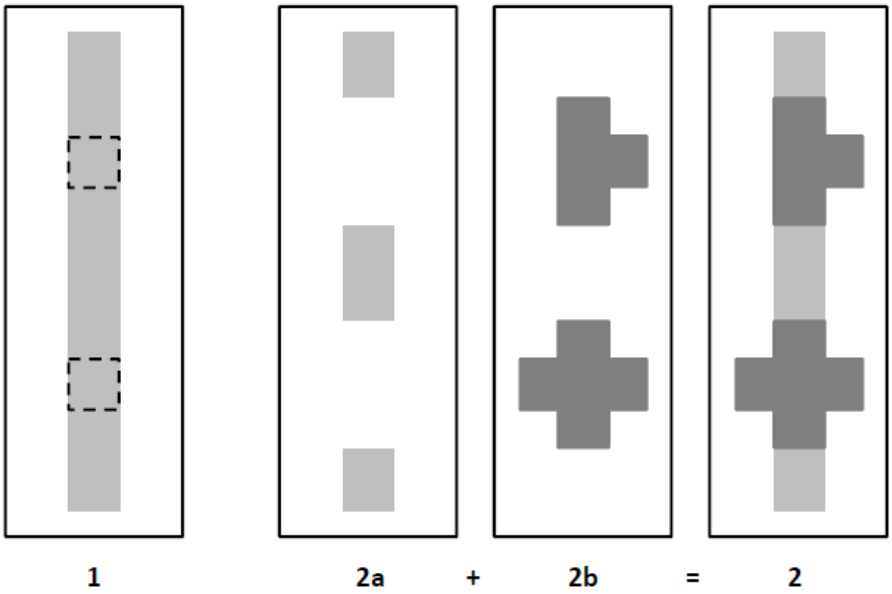
Tab. 3 Forma predikčních modelů a popis vysvětlujících proměnných

Model	Rovnice	Vysvětlující proměnné
- nehod na úsecích	$\widehat{N}_{\text{úsek}} = e^{b_0} \cdot (I_{\text{úsek}})^{b_1} \cdot L^{b_2}$	$I_{\text{úsek}}$ … intenzita dopravy L … délka úseku
- nehod na křižovatkách	$\widehat{N}_{\text{křiž.}} = e^{b_0} \cdot \underbrace{(I_{hl.})}_{F1}{}^{b_1} \cdot \underbrace{\left(\frac{I_{vedl.}}{I_{hl.} + I_{vedl.}}\right)}_{FR}{}^{b_2} \cdot e^{(b_3 \cdot ram. + b_4 \cdot odb.)}$	$I_{hl.}$ … I na hlavní PK $I_{vedl.}$ … I na vedlejší PK $ram.$ … počet ramen $odb.$ … přítomnost samostatných odbočovacích pruhů
- „kombinovaný“	$\widehat{N}_{komb.} = e^{b_0} \cdot (I_{\text{úsek}})^{b_1} \cdot L^{b_2} \cdot e^{(b_3 \cdot HK)}$	HK … hustota křižovatek

Pozn.: Konstanty b_i jsou odhadovány v průběhu modelování (s použitím statistického software IBM SPSS); e je základ přirozených logaritmů. Označení $F1$ a FR je použito pro zjednodušení zápisu.

Význam volby formy modelů ilustruje Obr. 8:

- „Kombinovaný“ model je označen jako **1**.
- Dále lze použít samostatné modely pro nehody na úsecích (**2a**) a křižovatkách (**2b**). Jejich „součet“ je označen **2**.
- Úkolem studie bylo prokázat, že predikce z modelu **1** jsou srovnatelné s výsledky modelu **2**.



Obr. 8 Ilustrace formy srovnávaných predikčních modelů (1 – kombinace, 2a – úseky, 2b – křižovatky)

Pro ověření byla zvolena síť silnic I. třídy v extravilánu v Jihomoravském kraji s celkovou délkou cca 1000 km. Jako vysvětlovaná proměnná byl použit počet nehod se zraněním (zdroj Policie ČR) za období 2009 – 2015, tj. 7 let. Nehody na křižovatkách byly vymezeny v GIS pomocí prostorového dotazu – výběru nehod do 100 m od středu křižovatky. Výběr křižovatek byl zúžen na nejtypičtější (světelně neřízené); méně typické případy (světelně řízené, mimoúrovňové, okružní apod.) byly vyloučeny.

Údaje o RPDI byly získány z Celostátního sčítání dopravy 2010 a částečně doplněny vlastním průzkumem pomocí statistických radarů. Další proměnné byly získány ze Silniční databanky ŘSD ČR, příp. ručně z on-line mapových portálů. Popisné charakteristiky jsou uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 Popisné charakteristiky vysvětlujících proměnných

		Min.	Max.	Průměr
Spojité proměnné	Intenzita dopravy na úseku [voz/d]	220	8600	2173
	Délka úseku [km]	0,50	9,70	2,61
	Hustota křižovatek [km^{-1}]	0,23	3,00	0,94
	Intenzita dopravy na hlavní komunikaci [voz/d]	245	13531	3340
	Intenzita dopravy na vedlejší komunikaci [voz/d]	16	3570	600
			Četnost	**%**
Kategorické proměnné	Počet ramen	= 3	48	78,7
		= 4	13	21,3
	Přítomnost samostatných odbočovacích pruhů	= ano	7	11,5
		= ne	54	88,5

Byla ověřena případná multikolinearita proměnných; koeficienty vzájemné korelace však byly nízké, takže žádná proměnná nebyla vyloučena. Pro modelování (GLM) bylo použito negativně binomické rozdělení a logaritmická spojovací funkce (mocninné prvky modelu byly tudíž logaritmizovány).

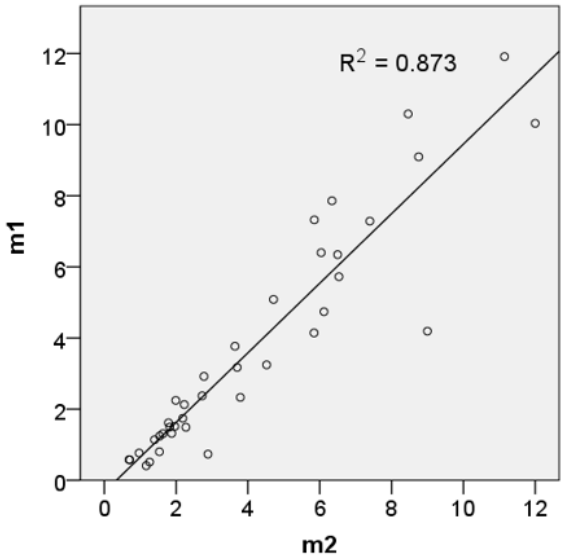
Výsledné parametry modelů jsou uvedeny v Tab. 5. Všechny použité proměnné mají statisticky významný vliv (dosaženou hladinu významnosti do 5 %, s výjimkou hustoty křižovatek: 11 %).

Tab. 5 Parametry výsledných predikčních modelů

	Parametry modelu	Regresní koeficienty b_i	Standardní chyba	Dosažená hladina významnosti
Model 1	(konstanta b_0)	-5,507	0,786	0,000
	ln *l*	0,685	0,110	0,000
	ln *L*	1,584	0,135	0,000
	hustota křižovatek	0,274	0,173	0,112
Model 2a	(konstanta b_0)	-3,851	0,778	0,000
	ln *l*	0,477	0,106	0,000
	ln *L*	1,418	0,142	0,000
Model 2b	(konstanta b_0)	-8,247	1,447	0,000
	ln *F1*	1,302	0,182	0,000
	ln *FR*	0,696	0,218	0,001
	ram. = 3	-0,639	0,288	0,027
	ram. = 4	0		
	odb. = ano	-1,278	0,396	0,001
	odb. = ne	0		

Pozn.: Regresní koeficienty u kategorických proměnných se interpretují ve srovnání s referenční kategorií, která má nulový regresní koeficient.

Pro ohodnocení kvality modelu byl použit tzv. Elvikův index (podíl vysvětlené systematické variability). Bylo zjištěno, že ukazatel dosáhl 95 % (pro model 2) a 99 % (pro model 1). Dále byla prověřena shoda mezi predikcí 2 (součet výsledků modelů 2a a 2b) a predikcí 1 (viz Obr. 8); zjištěný koeficient determinace je přibližně 87 % (viz Obr. 9).



Obr. 9 Ilustrace shody výsledků kombinovaného modelu (m1) s tradiční predikcí pro úseky a křižovatky (m2)

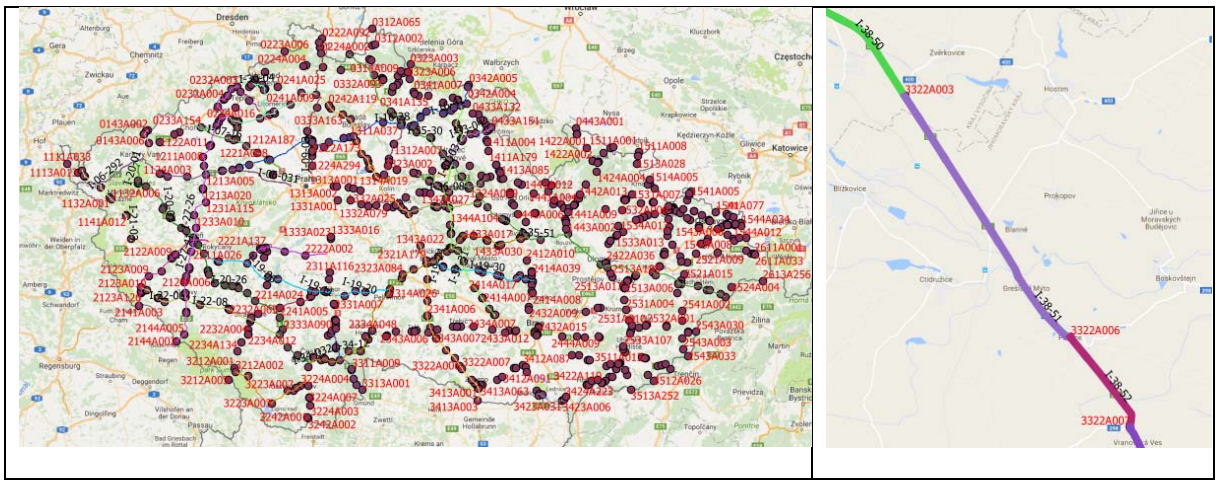
Celkově jsou výsledky uspokojivé: „kombinovaný“ model (využívající hustotu křižovatek) predikuje výsledky srovnatelné s klasickými modely (náročnějšími na vstupní data) a dokonce vysvětluje více systematické variability. To potvrzuje vhodnost použití hustoty křižovatek, která umožňuje zjednodušit sběr dat pro tvorbu predikčního modelu, bez výrazné ztráty kvality.

3.2 Příprava dat pro silnice I. třídy

Jak už bylo uvedeno, pro segmentaci (viz Obr. 10) je klíčová dostupnost dat intenzit z plošných sčítání (CSD a TSK). Byl použit následující postup:

1. Nejprve byly ručně v mapách identifikovány „sčítané“ křižovatky, tj. takové, které mají na všech ramenech známou intenzitu dopravy.
2. Pomocí těchto křižovatek byly vymezeny mezikřižovatkové úseky. Cílem bylo, aby úseky byly vždy mezi dvěma obcemi; pokud byly úseky příliš dlouhé (nad 10 km), byly rozděleny některou z mezilehlých křižovatek. Takto vznikly úseky s průměrnou délkou 3,7 km, která vyhovuje i požadavkům na prohlídky úseků (metodika [2] doporučuje délku úseků do 5 km).

Pozn.: U směrově rozdělených komunikací jsou segmenty definovány samostatně pro každý směr jízdy.



Obr. 10 Přehled v mapě: body vlevo představují křižovatky, vpravo pak ukázka úseků

K vytvořeným segmentům byla následně přiřazena data, shrnutá v Tab. 6.

Tab. 6 Přehled dat přiřazených jednotlivým segmentům silnic I. třídy

	Označení	Popis	Zdroj
Křižovatky	*ID*	Identifikace uzlového bodu	Silniční databanka ŘSD ČR
	N_vše	Počet všech nehod	Policie ČR (GIS)
	N_zran	Počet nehod se zraněním	Policie ČR (GIS)
	N_HŠ	Počet nehod pouze s hmotnou škodou	Policie ČR (GIS)
	typ_1	Typ křižovatky (okružní, styková, průsečná)	ručně z on-line map
	typ_2	Bližší identifikace (počet ramen, druh řízení…)	ručně z on-line map
	odb.	Přítomnost samostatných odbočovacích pruhů	ručně z on-line map
	I_hl.	Intenzita dopravy na hlavní komunikaci [voz/d]	CSD / TSK
	I_vedl.	Intenzita dopravy na vedlejší komunikaci [voz/d]	CSD / TSK
Úseky	*ID*	Identifikace (silnice, úsek, příp. směr)	vlastní (GIS)
	N_vše	Počet všech nehod	Policie ČR (GIS)
	N_zran	Počet nehod se zraněním	Policie ČR (GIS)
	N_HŠ	Počet nehod pouze s hmotnou škodou	Policie ČR (GIS)
	L	Délka [m]	vlastní (GIS)
	I_max	Maximální intenzita dopravy [voz/d]	CSD / TSK
	I_prum	Průměrná intenzita dopravy [voz/d]	CSD / TSK
	kříž.	Počet křižovatek (pro výpočet hustoty)	ručně z on-line map
	křiv.	Křivolakost úseku [gon/km]	vlastní (GIS)

Celkem se jednalo o 763 křižovatek a 1805 úseků. Získaná data jsou uvedena v **Přílohách 5 a 6.**

3.3 Příprava dat pro dálnice

Všechny křižovatky na dálnicích jsou mimoúrovňové (MÚK) a průměrná délka mezi nimi je průměrně 5 km, což je vhodná délka pro segmentaci (s ohledem na prohlídky úseků). Úseky tedy byly vymezeny vždy mezi dvojicí následujících MÚK. Celkem bylo identifikováno 454 MÚK.

V rámci přípravy dat byla každá MÚK rozdělena na „úseky“ (větve a průběžné úseky komunikací) a „uzly“ (kolizní body), viz příklad na Obr. 11. Ke všem uvedeným segmentům byla přiřazena data, viz Tab. 7. Pro doplnění údajů o intenzitě dopravy na nesčítaných větvích MÚK byly provedeny vlastní dopravní průzkumy. Zjištěné hodnoty intenzity (2016) byly za účelem srovnatelnosti s výsledky CSD 2010 přepočteny na úroveň roku 2010 pomocí koeficientů z TP 225.

Pro potřeby analýzy na MÚK bylo dále nutné přiřadit označení typů úseků a uzlů. V případě úseků se jednalo např. o sjezd, nájezd, nadřazenou/podřazenou komunikaci apod. podle možných pohybů a hierarchie na silniční síti. Typologie pro uzlové body byla dána ve vztahu k možným dopravním pohybům a kolizním bodům, jednalo se tedy o připojení, odpojení, křižovatku (v případě možnosti levého odbočení nebo křížení). U křižovatek byl doplněn také stupeň usměrnění a způsob řízení provozu.

Tab. 7 Přehled dat přiřazených jednotlivým segmentům mimoúrovňových křižovatek

	Označení	Popis	Zdroj
Úseky MÚK	*ID*	Identifikace (uzlový bod + bod)	Silniční databanka ŘSD ČR + vlastní
	typ_1	Druh MÚK podle ČSN 73 6102	ručně z on-line map
	typ_2	Bližší identifikace (sjezd, nájezd, počet směrů…)	ručně z on-line map
	N_vše	Počet všech nehod	Policie ČR (JDVM)
	N_zran	Počet nehod se zraněním	Policie ČR (JDVM)
	N_HŠ	Počet nehod pouze s hmotnou škodou	Policie ČR (JDVM)
	I	Intenzita dopravy [voz/d]	CSD/TSK + vlastní
	L	Délka úseku [m]	vlastní (GIS)
	R	Poloměr zakřivení větve [m]	vlastní (GIS)
Uzly MÚK	*ID*	Identifikace MÚK a jednotlivých uzlů	Silniční databanka ŘSD ČR + vlastní
	N_vše	Počet všech nehod	Policie ČR (JDVM)
	N_zran	Počet nehod se zraněním	Policie ČR (JDVM)
	N_HŠ	Počet nehod pouze s hmotnou škodou	Policie ČR (JDVM)
	I_1, 2, 3	Intenzity kolizních dopravních proudů [voz/d]	CSD/TSK + vlastní
	typ	Druh kolizního bodu (přípojný, odpojný…)	ručně z on-line map
	usm.	Existence usměrnění pomocí DZ	ručně z on-line map
	směr	Počet jízdních směrů	ručně z on-line map
Úseky mezi MÚK	*ID*	Číslo dálnice a uzlových bodů	Silniční databanka ŘSD ČR
	N_vše	Počet všech nehod	Policie ČR (JDVM)
	N_zran	Počet nehod se zraněním	Policie ČR (JDVM)
	N_HŠ	Počet nehod pouze s hmotnou škodou	Policie ČR (JDVM)
	I	Intenzita dopravy [voz/d]	CSD/TSK
	L	Délka úseku [m]	vlastní (GIS)
	přip.	Počet připojení odpočívek (pro výpočet hustoty)	publikace ŘSD ČR „Odpočívky na českých dálnicích“ (2015)

Celkem se jednalo o 3636 úseků MÚK, 2550 uzlů MÚK a 390 úseků mezi MÚK – viz **Přílohy 7 až 9.**

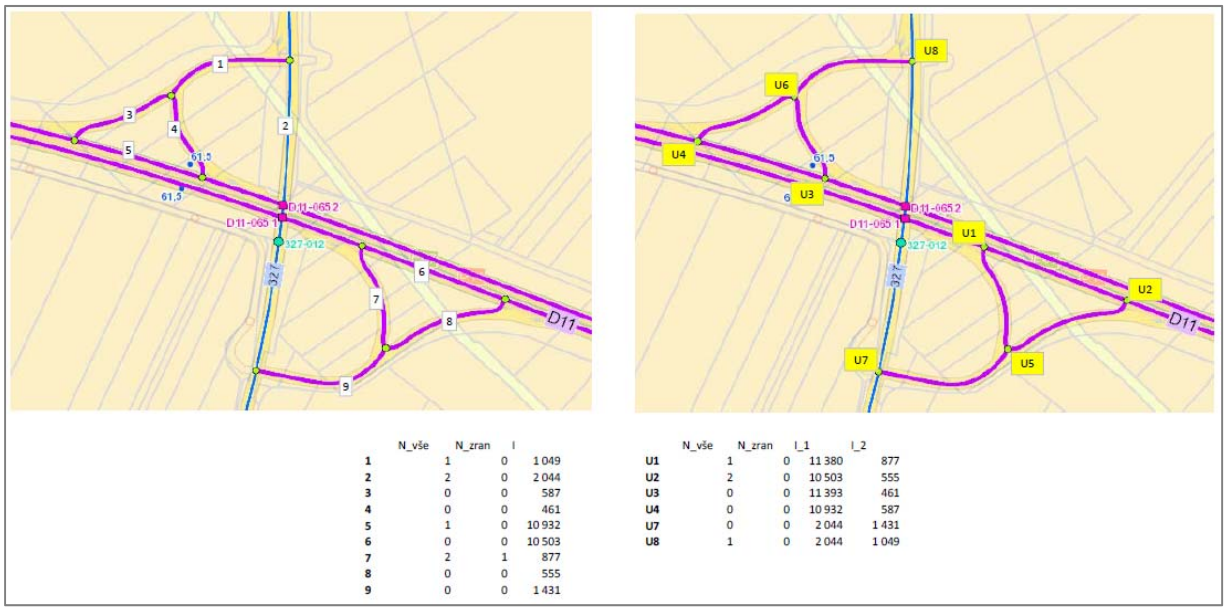
Pozn.: Použitá typologie a terminologie vychází z ČSN 73 6102.

- *Větev křižovatky – jízdní pruh nebo pás, který propojuje PK v oblasti křižovatky.*
- *Paprsek křižovatky – úsek PK v oblasti křižovatky od místa průsečíku os křížících se komunikací k hranici křižovatky.*
- *Přípojný bod – střetný bod, v němž se dva nebo více jízdních směrů slučuje do jednoho jízdního směru.*
- *Odbočný bod – střetný bod, v němž se jeden jízdní směr rozvětvuje do dvou nebo více jízdních směrů.*
- *Křižný bod – střetný bod, v němž se jízdní směry vzájemně křižují.*
- *Průpletový úsek – úsek PK, na němž dochází k průpletu jízdních proudů v témže dopravním směru.*
- *Kolektorový pás – fyzicky oddělený přídatný jízdní pás PK, na němž dochází v oblasti křižovatky k odpojování, připojování nebo k průpletu dopravních proudů.*

Pro zjednodušení byly větve a paprsky v rámci MÚK označeny jako „úseky MÚK“. V případě potřeby rozlišení zakřivení byly rozlišovány větve (poloměr zakřivení ~ 0) a rampy (poloměr zakřivení > 0).

Průpletové úseky nebyly v použitých podkladech Silniční databanky ŘSD ČR definovány dostatečně konzistentně, nebyly proto využity jako samostatná kategorie.

Protože policejní lokalizace ne zcela respektuje zmíněnou členitost MÚK, byly nehody přiřazovány ručně v prostředí Jednotné dopravní vektorové mapy (JDVM), konkrétně pomocí úloh statistiky nehodovosti „na vybrané trase“ pro úseky a „v okolí vybraného bodu“ pro uzly (ukázka na Obr. 11). U křižovatek a uzlových bodů bylo navíc během zpracování vždy nutné místní posouzení: v některých případech uzlový bod zahrnoval odpojení i připojení, v daném případě byl tento rozdělen na dva dílčí body a nehody byly přiřazeny ručním výběrem pomocí polygonu. Obdobně byl výběr nehod definován také v případě některých rozlehlejších křižovatek, kdy akční rádius uzlového bodu nacházejícího se uprostřed křižovatky dostatečně nepokrýval nehody na celé ploše křižovatky.



	N_vše	N_zran	l
1	1	0	1 049
2	2	0	2 044
3	0	0	587
4	0	0	461
5	1	0	10 932
6	0	0	10 503
7	2	1	877
8	0	0	555
9	0	0	1 431

	N_vše	N_zran	l_1	l_2
U1	1	0	11 380	877
U2	2	0	10 503	555
U3	0	0	11 393	461
U4	0	0	10 932	587
U7	0	0	2 044	1 431
U8	1	0	2 044	1 049

Obr. 11 Ukázka výsledku ručního doplnění dat na MÚK (vlevo úseky, vpravo uzly, dole nehody + RPDI)

Místní posouzení bylo potřebné také při práci s intenzitami dopravy, kdy při přiřazování k úsekům MÚK bylo nutné posoudit dopravní vztahy na křižovatce vzhledem k dělení sčítacích úseků ve středu křižovatky, především pak v případech výrazných rozdílů způsobených významnými vazbami mezi některými relacemi. Příklad takovéhoto situace je uveden na Obr. 12 (je zřejmá silná vazba v relaci západ – jih, pro výběr intenzity na průjezdním úseku je proto třeba uvažovat intenzitu 5675 voz/den; uvedená intenzita 10806 voz/den vzniká připojením/odpojením vozidel až na levé hranici křižovatky).

Obr. 12 Příklad výrazných rozdílů RPDI v rámci MÚK

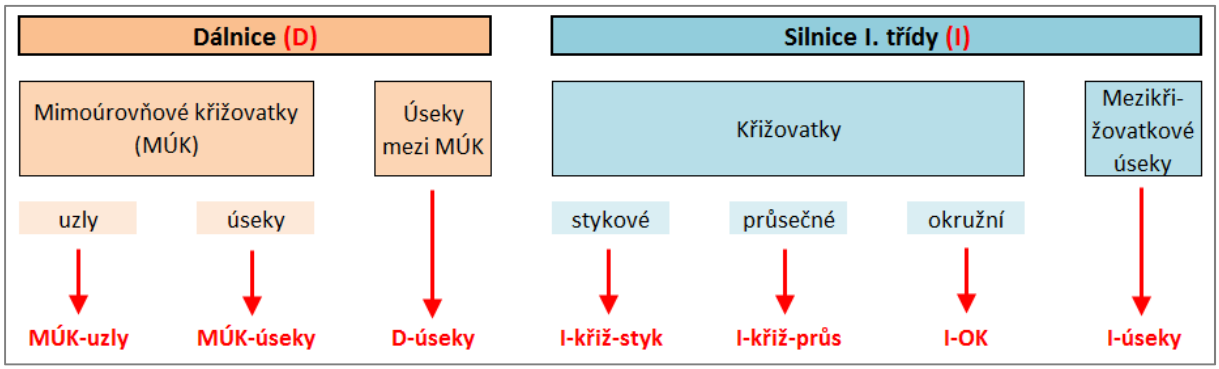
Pozn.: Intenzita dopravy (I) je zahrnuta ve všech modelech, ale definice se liší.

- *na stykových a průsečných křižovatkách … denní počet vjíždějících vozidel (zvlášť pro hlavní a vedlejší komunikaci), tj. polovina RPDI*
- *na okružních křižovatkách … denní počet vjíždějících vozidel (součet na všech větvích)*
- *na mezikřižovatkových úsecích I. tř. … maximální RPDI vyskytující se na úseku*
- *na úsecích MÚK … RPDI*
- *v uzlech MÚK … RPDI jednotlivých kolizních proudů*
- *na směrově rozdělených úsecích mezi MÚK nebo I. tř. … denní intenzita v jednotlivých směrech, tj. polovina RPDI*

Etapa 4 – Finalizace a výstupy

Predikční modely byly vytvořeny pomocí zobecněné lineární regrese v prostředí IBM SPSS. Jednalo se o kalibraci (určení parametrů) obecných tvarů rovnic uvedených v Tab. 3.

S ohledem na četnost nehod byly modely vytvořeny pro predikci počtu všech nehod (*N_vše*) za období 2009 – 2015 (7 let). Na základě segmentace a přípravy dat byly modely vytvořeny pro celkem 7 kategorií, viz Obr. 13.



Obr. 13 Přehled sedmi kategorií, pro které byly vytvořeny predikční modely

Dále jsou uvedeny Tab. 8 – 14 s parametry jednotlivých modelů. Každá tabulka uvádí:

1. velikost souboru (n), tj. kolik úseků, uzlů či křižovatek bylo do daného modelu zahrnuto
2. ukazatele kvality modelu (koeficient determinace R^2, podíl vysvětlené systematické variability SV, disperzní parametr k)
3. rozmezí hodnot použitých spojitých vysvětlujících proměnných
4. popis modelu (regresní koeficienty jednotlivých parametrů a jejich statistické charakteristiky)
5. rovnici modelu

ad 1. Při kontrole vstupních dat byly vyloučeny některé netypické segmenty, dále segmenty s neznámou intenzitou. Jednalo se však o nepatrné množství – výsledné soubory tvoří přes 99 % původního rozsahu, uvedeného v kap. 3.2 a 3.3.

ad 2. Ukazatele R^2 a SV lze interpretovat jako „čím vyšší, tím lepší“; k naopak (čím nižší, tím lepší). Jsou uvedeny pro informaci a možnost případného srovnávání při budoucí aktualizaci nebo rozšíření modelů. Disperzní parametr se navíc používá k výpočtu váhy w pro použití v EB metodě (viz kap. 4.2). Více informací o těchto ukazatelích lze získat např. v *Metodice provádění multifaktorové analýzy dopravní nehodovosti* [3].

ad 3. Rozmezí použitých hodnot je důležité pro případnou budoucí aplikaci modelů v odlišném kontextu. Platí totiž, že vytvořené modely jsou poplatné charakteristikám vstupních dat; není např. zaručeno, že model platí i pro vyšší rozsah intenzity (nad mez kapacity).

ad 4. Parametry modelu jsou opět uvedeny především pro využití při budoucí aktualizaci nebo rozšíření modelů. Dosažená hladina významnosti byla ve většině případů do 5 %, výjimečně v rozsahu 10 – 20 %.

ad 5. Použití rovnice bude ilustrováno pro konkrétní příklad:

- model „MÚK-uzly“
- $I_{hlavní}$ = 3761 voz/d
- $I_{vedlejší}$ = 34 voz/d
- odpojný bod
- bez světelného řízení

$$\hat{N} = \exp(-7{,}760) \cdot (I_{hlavní})^{0{,}679} \cdot \left(I_{vedlejší}\right)^{0{,}324} \cdot \exp(typ) \cdot \exp(řízení)$$

Exponenciála konstanty

Dosadit $I_{hlavní}$ a $I_{vedlejší}$

Dosadit koeficient podle kategorie typ

Dosadit koeficient podle kategorie $řízení$

= 0,000427 x $3761^{0{,}679}$ x $34^{0{,}324}$ x $\exp(0)$ x $\exp(-0{,}585)$

= 0,000427 x 267,69 x 3,13 x 1 x 0,557

≈ **0,2 nehody / 7 let = 0,03 nehody / rok**

4.1 Přehled predikčních modelů

Tab. 8 **Model „MÚK-uzly“**

n = 2550

R^2 = 66,1 %
SV = 89,8 %
k = 0,880

Rozmezí hodnot	Minimum	Maximum	Průměr
$I_{hlavní}$ [voz/d]	175	70923	11092,26
$I_{vedlejší}$ [voz/d]	17	32765	1337,96

Parametr	Regresní koeficient	Standardní chyba	95% Waldův interval spolehlivosti		Testové kritérium	Stupně volnosti	Hladina významnosti
(konstanta)	-7,760	0,401	-8,547	-6,974	373,966	1	0,000
[typ = stykový]	1,267	0,084	1,103	1,432	228,058	1	0,000
[typ = průsečný]	1,761	0,139	1,488	2,033	160,289	1	0,000
[typ = okružní]	1,327	0,200	0,934	1,719	43,854	1	0,000
[typ = přípojný]	0,198	0,060	0,079	0,316	10,733	1	0,001
[typ = odpojný]	0*						
[řízení = neřízené SSZ]	-0,585	0,163	-0,905	-0,265	12,823	1	0,000
[řízení = řízené SSZ]	0*						
ln ($I_{hlavní}$)	0,679	0,037	0,608	0,751	345,873	1	0,000
ln ($I_{vedlejší}$)	0,324	0,028	0,270	0,378	137,568	1	0,000

Pozn.: Kategorie proměnné *typ* popisují jednotlivé kolizní body (terminologie podle ČSN 73 6102, viz kap. 3.3).
* Hodnota 0 označuje referenční kategorii, se kterou se porovnávají ostatní kategorie dotyčné proměnné.

$$\widehat{N} = \exp(-7{,}760) \cdot (I_{hlavní})^{0{,}679} \cdot \left(I_{vedlejší}\right)^{0{,}324} \cdot \exp(typ) \cdot \exp(řízení)$$

Tab. 9 **Model „MÚK-úseky“**

n = 3636

R^2 = 28,4 %
SV = 84,9 %
k = 1,195

Rozmezí hodnot	Minimum	Maximum	Průměr
I [voz/d]	34	72489	5677,18
L [m]	5	2332	172,36
R [m]	0	2058	116,62

Parametr	Regresní koeficient	Standardní chyba	95% Waldův interval spolehlivosti		Testové kritérium	Stupně volnosti	Hladina významnosti
(konstanta)	-5,845	0,248	-6,331	-5,358	554,270	1	0,000
[zakřivení = rampa]	0,291	0,082	0,131	0,452	12,660	1	0,000
[zakřivení = větev]	0*						
[typ = kolektor]	-0,322	0,237	-0,786	0,142	1,847	1	0,174
[typ = nadřazený]	-0,726	0,159	-1,038	-0,414	20,755	1	0,000
[typ = nadřazený 1sm.]	-0,660	0,133	-0,920	-0,400	24,792	1	0,000
[typ = nájezd]	0,489	0,111	0,271	0,707	19,369	1	0,000
[typ = obousm.]	0,246	0,110	0,029	0,462	4,948	1	0,026
[typ = okružní pás]	-0,455	0,277	-0,997	0,087	2,707	1	0,100
[typ = podřazený]	0,360	0,141	0,083	0,636	6,506	1	0,011
[typ = podřazený 1sm.]	0,199	0,157	-0,109	0,507	1,597	1	0,206
[typ = sjezd]	0,743	0,110	0,527	0,959	45,555	1	0,000
[typ = sjezd + nájezd]	0*						
$\ln(I)$	0,926	0,026	0,875	0,977	1262,959	1	0,000
$\ln(L)$	0,649	0,030	0,589	0,708	456,748	1	0,000
R	0,001	0,000	-0,001	0,000	6,293	1	0,012

Pozn.: Kategorie proměnné *typ* popisují jednotlivé prvky MÚK (terminologie podle ČSN 73 6102, viz kap. 3.3).
* Hodnota 0 označuje referenční kategorii, se kterou se porovnávají ostatní kategorie dotyčné proměnné.

$$\widehat{N} = \exp(-5{,}845) \cdot I^{0{,}926} \cdot L^{0{,}649} \cdot R^{0{,}001} \cdot \exp(zakřivení) \cdot \exp(typ)$$

Tab. 10 **Model „D-úseky“**

n = 390

R^2 = 65,9 %
SV = 69,9 %
k = 0,214

Rozmezí hodnot	Minimum	Maximum	Průměr
I [voz/d]	2938	44230	13472,98
L [km]	0,29	16,82	5,39

Parametr	Regresní koeficient	Standardní chyba	95% Waldův interval spolehlivosti		Testové kritérium	Stupně volnosti	Hladina významnosti
(konstanta)	-6,402	0,420	-7,225	-5,579	232,510	1	0,000
$\ln(I)$	0,981	0,043	0,896	1,065	516,369	1	0,000
$\ln(L)$	0,758	0,036	0,687	0,829	438,968	1	0,000

$$\widehat{N} = \exp(-6{,}402) \cdot I^{0{,}981} \cdot L^{0{,}758}$$

Tab. 11 **Model „I-kříž-styk“**

n = 582

R^2 = 36,0 %
SV = 76,8 %
k = 0,435

Rozmezí hodnot	Minimum	Maximum	Průměr
$I_{hlavní}$ [voz/d]	691	40041	8058,00
$I_{vedlejší}$ [voz/d]	46	16641	1565,03

Parametr	Regresní koeficient	Standardní chyba	95% Waldův interval spolehlivosti		Testové kritérium	Stupně volnosti	Hladina významnosti
(konstanta)	-6,274	0,522	-7,298	-5,251	144,299	1	0,000
[odb. = ano]	-0,173	0,080	-0,329	-0,016	4,651	1	0,031
[odb. = ne]	0*						
$\ln(I_{hlavní})$	0,637	0,066	0,508	0,767	92,522	1	0,000
$\ln(I_{vedlejší})$	0,362	0,039	0,286	0,438	87,420	1	0,000

Pozn.: Proměnná $odb.$ označuje přítomnost samostatných odbočovacích pruhů.
* Hodnota 0 označuje referenční kategorii, se kterou se porovnávají ostatní kategorie dotyčné proměnné.

$$\widehat{N} = \exp(-6{,}274) \cdot (I_{hlavní})^{0{,}637} \cdot \left(I_{vedlejší}\right)^{0{,}362} \cdot \exp(odb.)$$

Tab. 12 **Model „I-kříž-průs“**

n = 104

R^2 = 49,6 %
SV = 64,3 %
k = 0,201

Rozmezí hodnot	Minimum	Maximum	Průměr
$I_{hlavní}$ [voz/d]	901	27567	8618,40
$I_{vedlejší}$ [voz/d]	304	17445	3183,00

Parametr	Regresní koeficient	Standardní chyba	95% Waldův interval spolehlivosti		Testové kritérium	Stupně volnosti	Hladina významnosti
(konstanta)	-4,663	0,909	-6,444	-2,882	26,340	1	0,000
[přednost = P4]	-0,242	0,133	-0,502	0,019	3,293	1	0,070
[přednost = SSZ]	-0,293	0,172	-0,630	0,044	2,904	1	0,088
[přednost = P6]	0*						
$\ln(I_{hlavní})$	0,399	0,111	0,182	0,617	12,935	1	0,000
$\ln(I_{vedlejší})$	0,480	0,089	0,306	0,655	29,022	1	0,000

Pozn.: $přednost$ udává způsob určení přednosti v jízdě (DZ P4 Dej přednost v jízdě, P6 Stůj, dej přednost v jízdě nebo SSZ). * Hodnota 0 označuje referenční kategorii, se kterou se porovnávají ostatní kategorie dotyčné proměnné.

$$\widehat{N} = \exp(-4{,}663) \cdot (I_{hlavní})^{0{,}399} \cdot \left(I_{vedlejší}\right)^{0{,}480} \cdot \exp(přednost)$$

Tab. 13 **Model „I-kříž-OK“**

n = 67

R^2 = 26,3 %
SV = 75,0 %
k = 0,306

Rozmezí hodnot	Minimum	Maximum	Průměr
součet I na vjezdu [voz/d]	14771	91735	34359,18
šířka prstence [m]	0,0	4,0	2,12

Parametr	Regresní koeficient	Standardní chyba	95% Waldův interval spolehlivosti		Testové kritérium	Stupně volnosti	Hladina významnosti
(konstanta)	-4,560	2,486	-9,432	0,312	3,365	1	0,067
ln (součet I na vjezdu)	0,714	0,234	0,255	1,173	9,305	1	0,002
[ram. = 3]	-0,328	0,158	-0,637	-0,019	4,337	1	0,037
[ram. = 4]	0*						
šířka prstence	-0,156	0,073	-0,298	-0,014	4,608	1	0,032

Pozn.: Proměnná $ram.$ označuje počet ramen okružní křižovatky.
* Hodnota 0 označuje referenční kategorii, se kterou se porovnávají ostatní kategorie dotyčné proměnné.

$$\widehat{N} = \exp(-4{,}560) \cdot (\textit{součet I na vjezdu})^{0{,}714} \cdot \exp(-0{,}156 \cdot \textit{šířka prstence}) \cdot \exp(ram.)$$

Tab. 14 **Model „I-úseky“**

n = 1797

R^2 = 63,9 %
SV = 75,0 %
k = 0,365

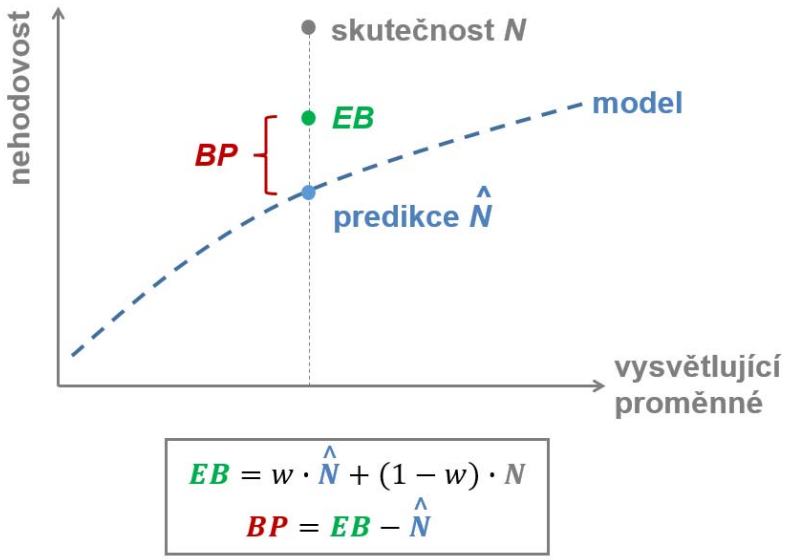
Rozmezí hodnot	Minimum	Maximum	Průměr
I_{max} [voz/d]	535	42555	9619,79
L [km]	0,01	30,86	3,76
hustota křižovatek [km^{-1}]	0,00	17,86	2,08

Parametr	Regresní koeficient	Standardní chyba	95% Waldův interval spolehlivosti		Testové kritérium	Stupně volnosti	Hladina významnosti
(konstanta)	-2,797	0,219	-3,226	-2,368	163,237	1	0,000
ln (I_{max})	0,579	0,024	0,532	0,626	584,866	1	0,000
ln (L)	0,808	0,014	0,781	0,836	3368,202	1	0,000
hustota křižovatek	0,114	0,008	0,099	0,129	229,636	1	0,000

$$\widehat{N} = \exp(-2{,}797) \cdot (I_{max})^{0{,}579} \cdot L^{0{,}808} \cdot \exp(0{,}114 \cdot \textit{hustota křižovatek})$$

4.2 Identifikace kritických míst

V souladu s certifikovanou metodikou *Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu* [4] byla pro identifikaci použita empirická bayesovská (EB) metoda. Jejím cílem je zpřesnění identifikace pomocí váženého průměru predikce (výsledku predikčního modelu) $\widehat{N}$ a historické nehodovosti N (váhu w udává kvalita modelu, vypočtená s využitím disperzního parametru k, se zohledněním délky L), výsledek se nazývá „EB odhad“. Následně se určí bezpečnostní potenciál, jako rozdíl mezi očekávaným počtem nehod (EB odhadem) a odpovídající hodnotou na ostatních podobných místech, která je určena predikčním modelem ($\widehat{N}$). Princip ilustruje Obr. 14.



Obr. 14 Ilustrace principu empirické bayesovské metody

Za kritická byla označena všechna místa, která mají kladnou hodnotu BP. Pro vytvoření „žebříčku“ a vizualizaci bylo použito seřazení, popsané v následujícím textu.

Pozn.: Hodnoty predikce i BP vychází ze 7-leté nehodovosti. Pro další zpracování byly použity roční hodnoty (vydělené sedmi).

4.3 Prioritizace kritických míst a jejich vizualizace

Za účelem prioritizace byly nejprve

1. definovány kategorie (zúžení původních sedmi kategorií)

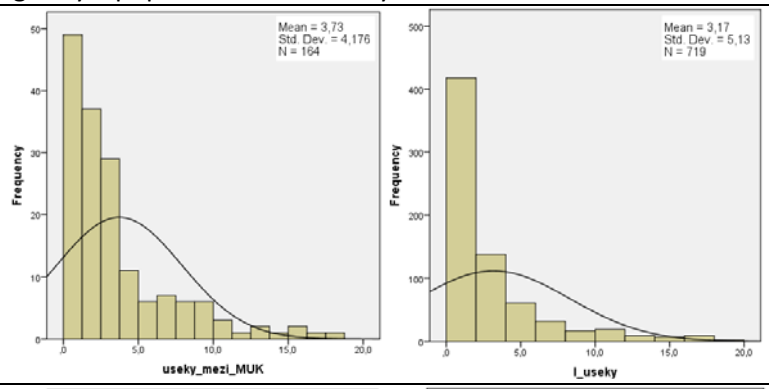
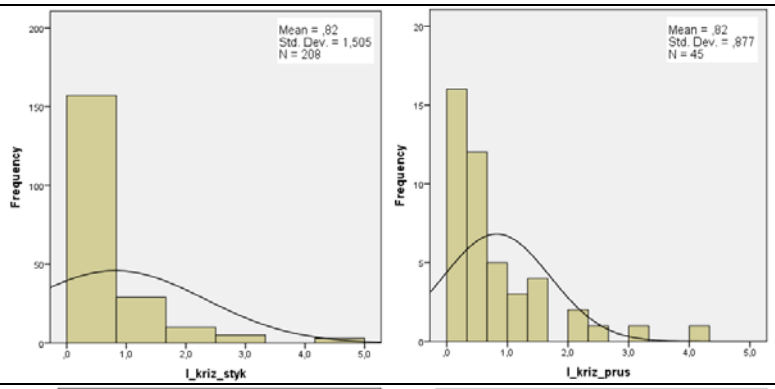
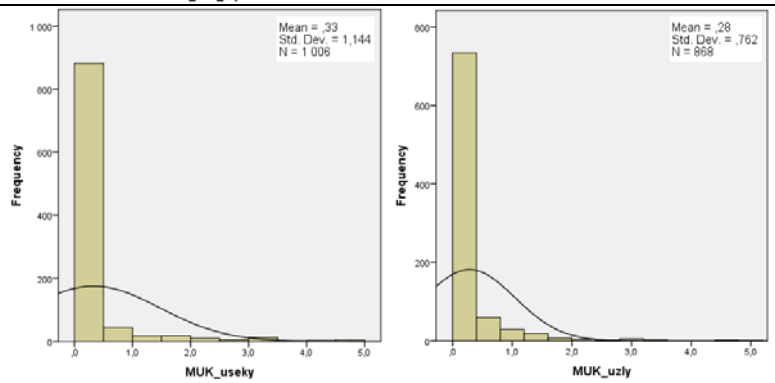
a pro každou kategorii byl aplikován následující postup:

2. Stanovení stupňů závažnosti.
3. Sestavení žebříčku pro nejzávažnější stupně.

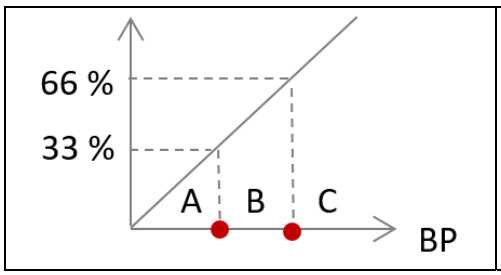
ad 1. Na základě podobnosti histogramů četnosti hodnot BP a popisných charakteristik (průměru a směrodatné odchylky) byly definovány 3 skupiny (viz Tab. 15):

- úseky mezi MÚK a úseky silnic I. třídy
- stykové a průsečné křižovatky na silnicích I. třídy
- úseky a uzly MÚK

Tab. 15 Skupiny kategorií definované na základě podobnosti histogramů a popisných charakteristik

Skupina kategorií	Histogramy a popisné charakteristiky
▪ úseky mezi MÚK ▪ I-úseky	
▪ I-kříž-styk ▪ I-kříž-průs (pro I-kříž-OK nebyl histogram sestaven z důvodu nízkého počtu hodnot)	
▪ MÚK-úseky ▪ MÚK-uzly	

ad 2. Pro jednoduchost byly uvažovány tři stupně (od nejnižší po nejvyšší závažnost) A, B, C. Jejich ideální rozdělení by bylo takové, aby každý stupeň pokrýval třetinu hodnot. Za tím účelem byly sestrojeny grafy distribučních funkcí jednotlivých kategorií (viz Obr. 15). Podle zvolených hodnot procent lze odhadnout mezní hodnoty, které definují stupně závažnosti.



Ideální rozdělení po třetinách:

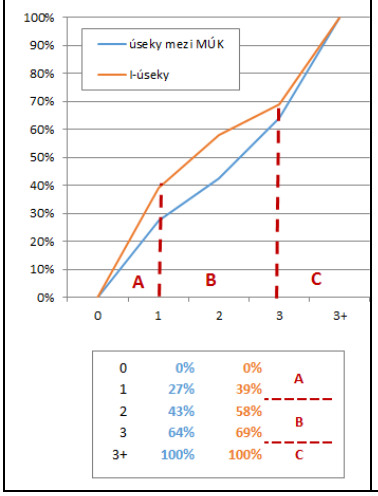
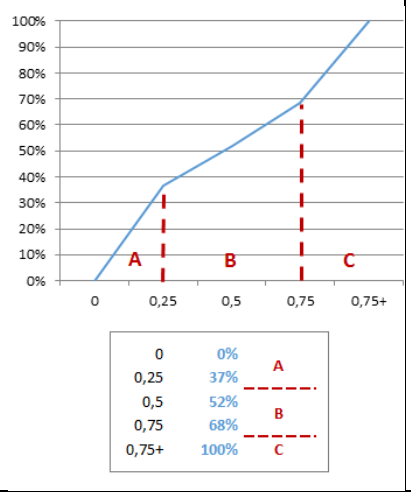
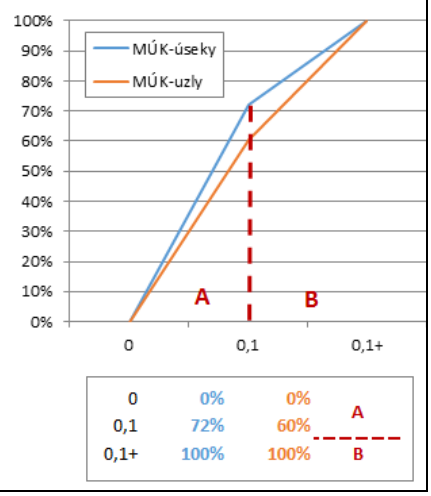
- A … do 33 %
- B … od 33 % do 66 %
- C … nad 66 %

Podle zvolených % lze interpolovat **mezní hodnoty** (červené body).

Obr. 15 Ilustrace principu využití distribuční funkce pro určení mezních bodů a definici stupňů závažnosti

Tímto způsobem byly stanoveny mezní body a definovány stupně závažnosti pro 3 výše uvedené kategorie (viz Tab. 16).

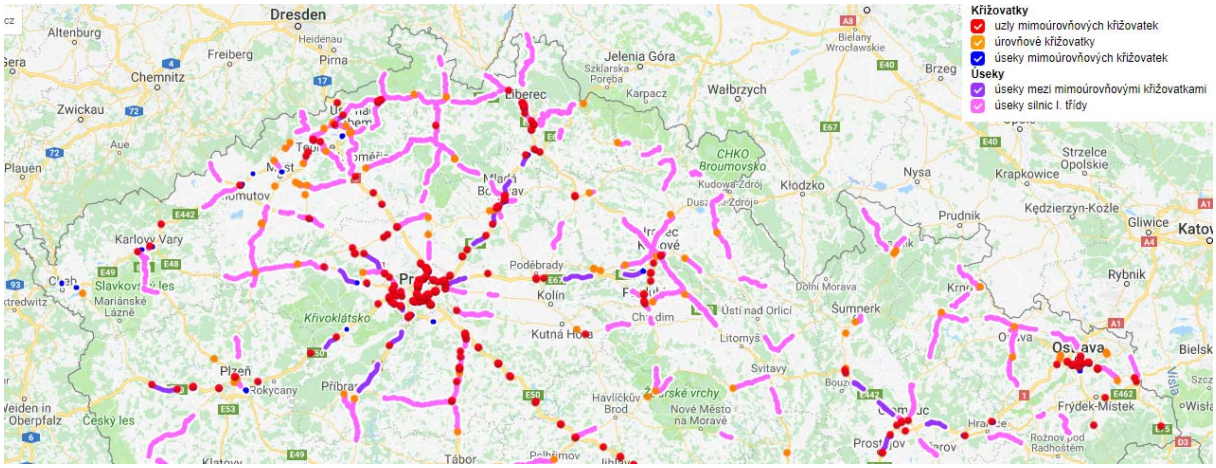
Tab. 16 Stanovení mezních bodů a definice stupňů závažnosti

Úseky mezi MÚK + I-úseky	**I-kříž** (OK + průs. + styk.)	**MÚK-úseky + MÚK-uzly**
		

Pro první dvě kategorie byly definovány stupně závažnosti A, B, C. Třetí kategorie byla, z důvodu nízkých hodnot BP, rozdělena jen na stupně A a B. Pro vytvoření seznamu kritických míst a jeho vizualizaci byly vybrány nejvyšší stupně závažnosti, tzn.:

- pro úseky mezi MÚK a úseky silnic I. třídy … stupeň C (BP > 3)
- pro křižovatky silnic I. třídy … stupeň C (BP > 0,75)
- pro úseky a uzly MÚK … stupeň B (BP > 0,1)

Seznam míst po jednotlivých kategoriích, spolu se základními informacemi a popisem, je v **Příloze 10.** Jednalo se o celkem 342 uzlů MÚK, 84 úrovňových křižovatek na silnicích I. třídy, 194 úseků MÚK, 30 úseků mezi MÚK a 208 úseků silnic I. třídy. Tato místa byla vizualizována v on-line mapě na adrese http://sfdi.cdvgis.cz/ (Obr. 16). Zobrazení kategorií lze volit filtrem v pravé části.



Obr. 16 Náhled části on-line mapy vybraných míst s nejvyššími hodnotami bezpečnostního potenciálu

Pozn.: Ačkoli jsou soubory rozděleny na uzly a úseky, v řadě případů se překrývají, např. na vybraných MÚK; dále řada kritických úseků silnic I. třídy se spojuje do delších tras. Toho lze využít při plánování efektivních sanací daných míst.

Další ovládání mapy je intuitivní: lze zvolit mapový podklad; k dispozici jsou i další ovládací prvky (Zoom na území ČR, Zobrazit předchozí/následující výřez, Poslat odkaz, Sdílet, Měřit vzdálenost).

Při klepnutí na konkrétní místo v mapě se zobrazí základní informace (číslo, popis, kategorie) a vstupní data, použitá při výpočtu (RPDI, délky úseků, počty ramen křižovatek apod.).

Po klepnutí na fotografii má uživatel možnost virtuální prohlídky v prostředí Google Street View (otáčení, posouvání…).

Obr. 17 Příklad informací k místu, vybranému v on-line mapě

Shrnutí

Pro účely zefektivnění alokace investic na dopravně bezpečnostní úpravy je zapotřebí co nejspolehlivěji identifikovat kritická místa dopravní infrastruktury, jejichž uspořádání přispívá ke vzniku dopravních nehod. V současnosti jsou celosvětově používanou metodou predikční modely nehodovosti. Vstupními daty jsou nehodovost, intenzita dopravy a další rizikové faktory dané právě uspořádáním komunikace a jejího okolí. Z důvodu kompatibility se zdrojem dopravních dat CSD 2010 byla všechna data vztažena k roku 2010; to zahrnovalo i vyloučení úseků zprovozněných nebo rekonstruovaných po roce 2010, včetně úseku D1 Praha – Brno.

Protože bylo zjištěno, že plošné zdroje dat intenzity (CSD a TSK) nepokrývají kompletní síť dálnic a I. tříd (zejména MÚK), byl proveden vlastní doplňkový průzkum. Zároveň byla prověřena možnost zjednodušení využitím proměnné „hustota křižovatek“. Síť byla rozdělena na úseky a křižovatky a byla shromážděna potřebná data. Byly vytvořeny predikční modely a použity k určení bezpečnostního potenciálu. (Celý metodický postup byl mj. přijat k prezentaci na celosvětové konferenci TRB [1, 5].)

Po následné prioritizaci byla vybrána nejkritičtější místa a zobrazena v on-line mapě na adrese http://sfdi.cdvgis.cz/. Návazné kroky lze volit následovně:

1. Výběr míst ze seznamu/mapy dle priorit ŘSD ČR. Sestavení seznamu kritických míst v koordinaci s dalšími činnostmi ŘSD ČR (prohlídky úseků, plánované investiční akce apod.).
2. Realizace bezpečnostní inspekce, auditu a/nebo nehodové analýzy.
3. Identifikace rizikových faktorů a návrh opatření k jejich minimalizaci.

Dle bodu 17 smlouvy je příjemce povinen zajistit bezplatné využívání vytvořených predikčních modelů. Za tím účelem byly modely popsány v Tab. 8 – 14 a v přílohách 5 – 9 jsou doložena vstupní data.

Protože se však v čase mění hodnoty rizikových faktorů (zejména intenzity dopravy), lze do budoucna doporučit kalibraci modelů podle aktuálních dat. Z dřívější studie [6] vyplývá, že vhodná perioda aktualizace je 5 let, což odpovídá intervalu provádění CSD. Data z budoucích CSD poskytnou vstupy do modelů; bude však pravděpodobně opět nutno doplnit intenzity dopravy na MÚK samostatným průzkumem.

Reference

[1] Ambros, J., Sedoník, J., Křivánková, Z. How to simplify road network safety screening: Two case studies. In *96th TRB Annual Meeting*, Washington, 8. – 12. 1. 2017.

[2] *Prohlídky vybraných úseků silniční sítě*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2016.

[3] *Multifaktorová analýza dopravní nehodovosti*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2014.

[4] *Identifikace kritických míst na pozemních komunikacích v extravilánu*. Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2012.

[5] Ambros, J., Turek, R., Brich, M., Mikšová, D. Safety screening of Czech core road network. In *97th TRB Annual Meeting*, Washington, 7. – 11. 1. 2018.

[6] Ambros, J., Sedoník, J. A Feasibility Study for Developing a Transferable Accident Prediction Model for Czech Regions. *Transportation Research Procedia*, roč. 14 (2016), s. 2054–2063.

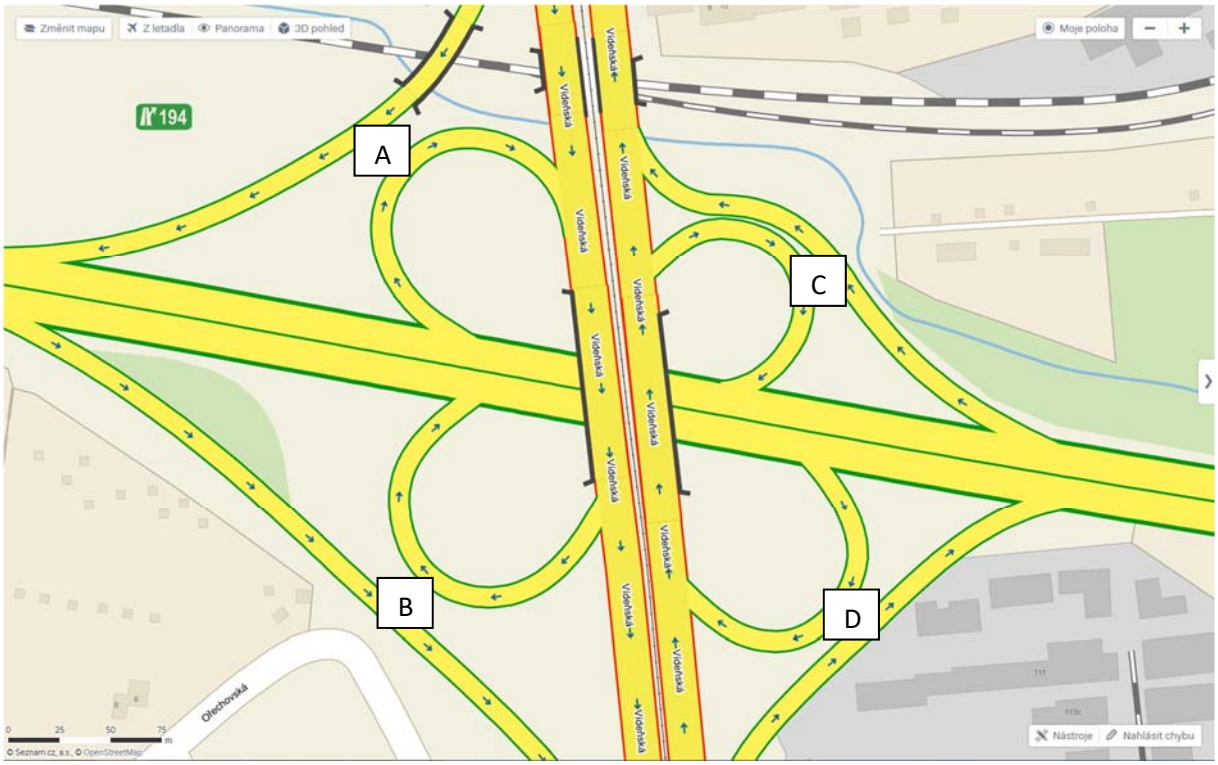
Přílohy

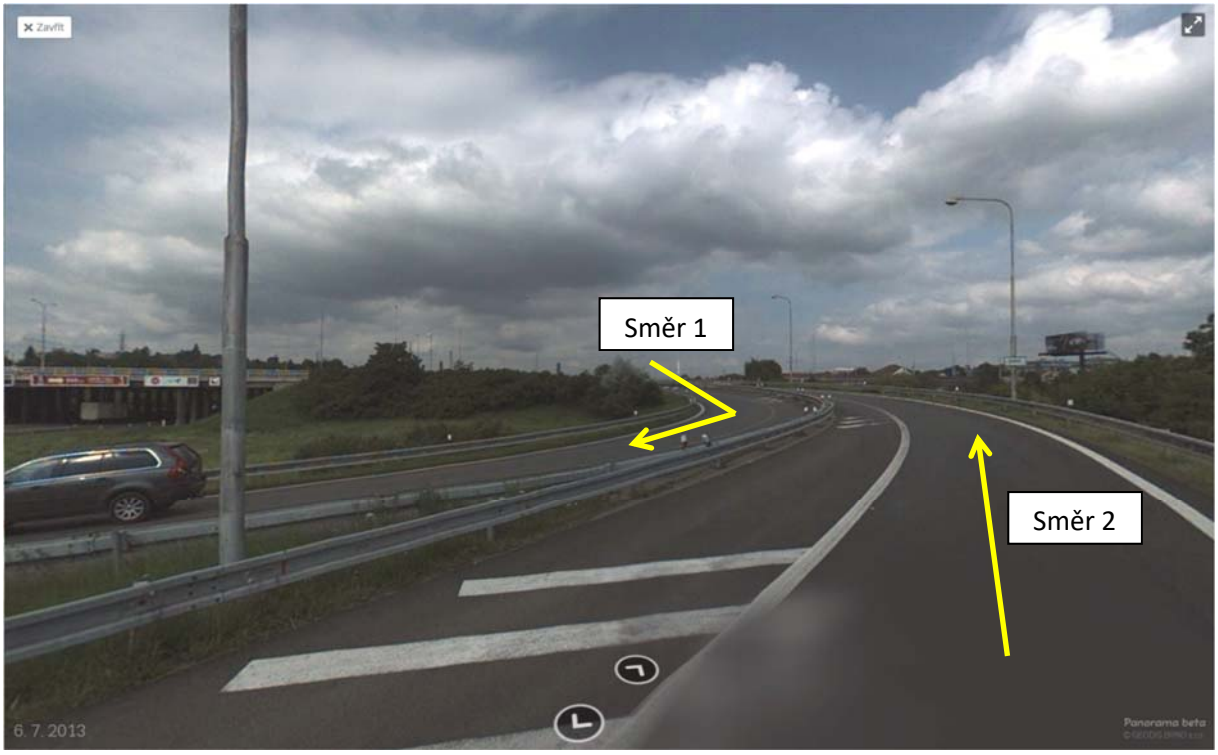
1. Příklad pokladu pro sčítače
2. Technická specifikace pro personální agenturu
3. Příklad podkladu pro rozvoz sčítačů
4. Příklad sčítacího listu
5. Data pro mimoúrovňové křižovatky (uzly)
6. Data pro mimoúrovňové křižovatky (úseky)
7. Data pro dálniční úseky
8. Data pro silnice I. třídy (křižovatky)
9. Data pro silnice I. třídy (úseky)
10. Seznam vybraných kritických míst

Přílohy 1 – 4 jsou na následujících stranách. Přílohy 5 – 10 jsou s ohledem na velikost umístěny na webu http://sfdi.cdvgis.cz/.

Příloha 1: Příklad pokladu pro sčítače

Sčítání MÚK 2016			
Okruh:	JMK-II-2c	GPS:	49.1598353N, 16.5995947E
Uzlový bod	2434A033	Stanoviště	**C**
Křiž. kom.	D1 x 52 (Exit 194)	Hotline	778 486 267





Směr 1: Praha, D1

Směr 2: Brno

Příloha 2:

Technická specifikace na personální agenturu pro sčítání mimoúrovňových křižovatek:

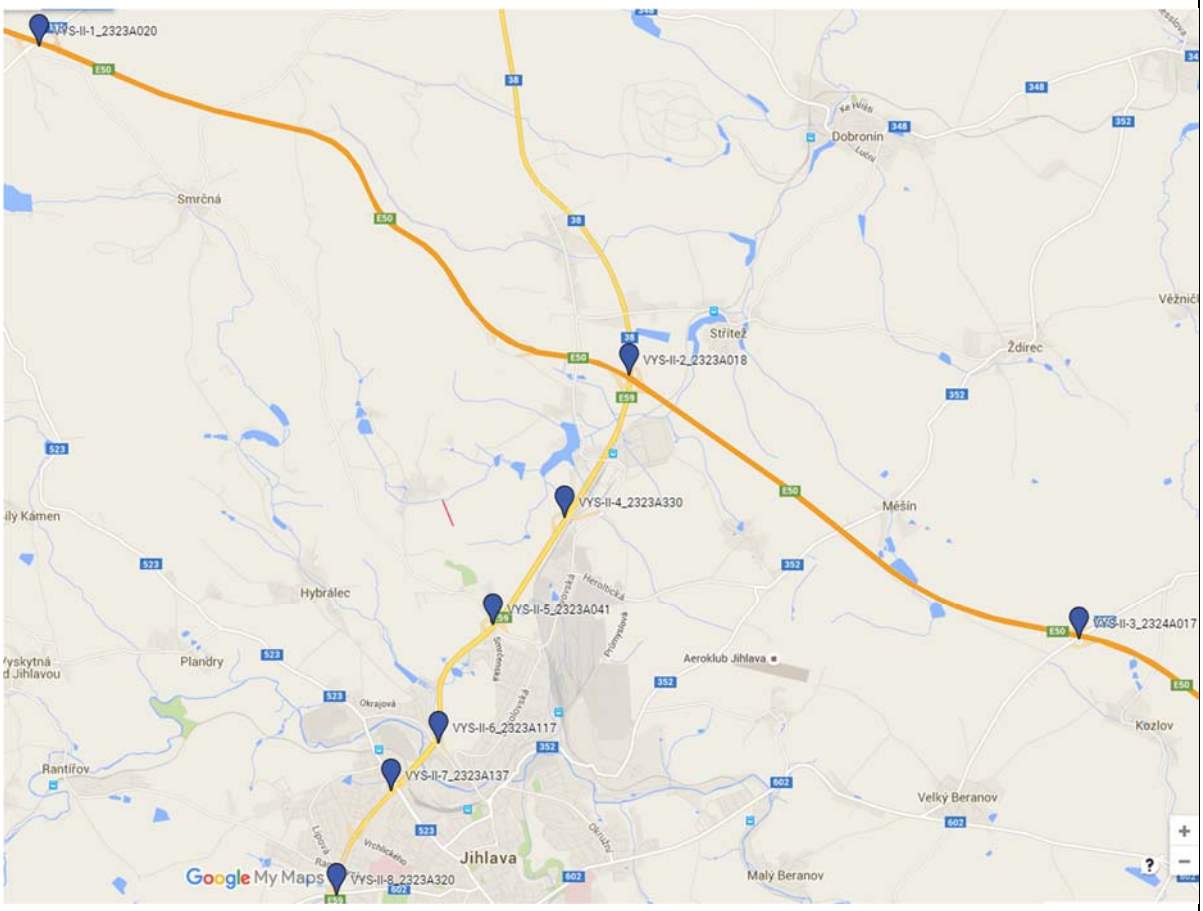
- termín plnění: 1.4.2016 – 30.9.2016
- místo plnění: 14 krajů v ČR
- zajistit na předem avizované termíny určitý počet brigádníků (max. 20 brigádníků/termín/kraj), se kterými by si CDV následně ve vlastní režii uzavřelo dohodu o provedení práce (75 Kč/hod, PHA-100 Kč/hod, JMK-85 Kč/hod), rozvezlo na sčítací stanoviště u komunikace a využili je k zaznamenávání intenzity dopravy do připraveného formuláře
- agentura zajistí pro CDV brigádníky na určitý den, hodinu a místo
- agentura poskytne nejpozději 3 dny před termínem sčítání osobní údaje nových sčítačů (pro sepsání DPP), vč. kontaktů na sčítače (mobil, e-mail)
- délka dopravního průzkumu v jednom dni je stanovena na cca 6 hodin (pracovní den)
- doprava brigádníků na sběrné místo bude ve vlastní režii brigádníků, tzn. bude zahrnuta v 6ti hodinové pracovní době
- požadavky na brigádníky: 18 let, zdravotní způsobilost pro práci na komunikaci v souladu se směrnicí generálního ředitele ŘSD č. 4/2007 Pravidla bezpečnosti práce na dálnicích a silnicích
- počet hodin jednoho brigádníka v daném kalendářním měsíci nesmí přesáhnout 100 hodin
- v případě nepříznivých klimatických podmínek může být sčítací termín ze strany CDV zrušen (1,5 hod. předem)
- předpokládaný počet brigádníků – 638 celkem
- předpokládaná alokace brigádníků dle jednotlivých krajů:

Kraj	Předpokládaný počet brigádníků
Praha	81
Středočeský	110
Jihočeský	70
Plzeňský	35
Karlovarský	25
Ústecký	60
Liberecký	30
Královéhradecký	13
Pardubický	15
Olomoucký	40
Moravskoslezský	78
Jihomoravský	30
Zlínský	26
Vysočina	25

Příloha 3: Příklad podkladu pro rozvoz sčítačů

VYS-II

MÚK – Směrový průzkum			
Datum	17.05.2016	Čas	8:00, 9:15
Křiž. kom. 1	D1, I/38		
Sběrné místo	HM Albert - vchod, ul. Romana Havelky, Jihlava		
Popis trasy/rozvoz *lokalita (počet sčítačů)*	Sk. 1: Sb. místo -> VYS-II-4 (1), VYS-II-2 (3) -> VYS-II-1 (2), VYS-II-3 (2) Sk. 2: Sb. místo -> VYS-II-5 (2), VYS-II-7 (3) -> VYS-II-6 (2), VYS-II-8 (3)		
Dozor	Stanislav Řehák	Vozidlo	4B4 3753
Hot-line	+420 778 486 268		



Detaily lokalit viz podklady pro sčítače.

Poznámky:

SČÍTACÍ LIST

Uzlový bod:	0242A 002	Číslo listu:	1
Křiž. kom.:	9x262	Datum:	19. 10 2016
Sčítač:	Dolák	Čas (od-do):	12⁰⁰–14⁰⁰

Okruh: LBK - 1-3 s

Stanoviště:

Směr: 1.

Osobní automobily, dodávky	Nákladní automobily ≥ 3,5 t
247	90

Dodávka v nákladním provedení = os. automobil

RPDZ00: 2173

Směr: 2.

Osobní automobily, dodávky	Nákladní automobily ≥ 3,5 t
196	52

RPDZ00: 1626