

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Zvýšení bezpečnosti na vybrané křižovatce
I/35 mezi městy Holice a Vysoké Mýto

Bc. Jiří Pilný

Diplomová práce

2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Pilný**
Osobní číslo: **D16488**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy**
Název tématu: **Zvýšení bezpečnosti na vybrané křižovatce I/35 mezi městy
Holice a Vysoké Mýto**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Úvod

1. Analýza bezpečnosti vybrané křižovatky
2. Návrhy na zvýšení bezpečnosti na vybrané křižovatce
3. Zhodnocení předložených návrhů

Závěr

Rozsah grafických prací: 4 - 5

Rozsah pracovní zprávy: 40 - 50

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

(1) **Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, v platném znění.**

(2) **Policie ČR [online]. Dostupné z: <<http://www.policie.cz/>>.**

(3) **LEDVINOVÁ, Michaela. Dopravní inženýrství: studijní opora. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-654-7.**

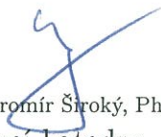
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **5. února 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.


doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 5. února 2018

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 24. 04. 2018

Bc. Jiří Pilný

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Jaromírovi Širokému, Ph.D. a Ing. Pavlíně Zemanové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky v průběhu vypracovávání práce a za veškerý čas, který mi věnovali. Dále bych chtěl poděkovat za odbornou pomoc s výpočty Ing. Michaele Ledvinové, Ph.D. a mým rodičům za jejich finanční i morální pomoc a trpělivost.

ANOTACE

Diplomová práce je zaměřena na dopravní nehody na vybraném úseku pozemní komunikace první třídy číslo I/37. Dále je zde uveden přehled některých možných opatření zabráňujících dopravním nehodám, zvýšení bezpečnosti na řešeném úseku a vybraný způsob možného opatření je detailněji popsán.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dopravní nehoda, křižovatka, návrh bezpečnostního opatření, radar, světelné signalizační zařízení

TITLE

Increasing safety on specific traffic crossroad I/35 between towns Holicice and Vysoké Mýto

ANNOTATION

The diploma thesis is focused on traffic accidents in the selected section of the first class road I /37. Here is an overview of some possible measures to prevent traffic accidents and increase safety on the section and the selected way of possible action is described in more detail.

KEYWORDS

Crossroads, draft security measure, light signaling device, radar, traffic accidents

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM ZKRATEK	13
ÚVOD	13
1 Analýza bezpečnosti křižovatky pozemních komunikací I/35 a I/17	14
1.1 Zhodnocení nehodovosti v Pardubickém kraji ve sledovaném období 2011 – 201615	
1.2 Křižovatka pozemních komunikací číslo I/35 a I/17 nedaleko Zámrsku	17
1.3 Zhodnocení nehodovosti na křižovatce I/35 a I/17 u Zámrsku	20
1.4 Statistika provozu na vybrané křižovatce	24
1.5 Zhodnocení ochranných bezpečnostních prvků na vybrané křižovatce	32
2 Návrh na zvýšení bezpečnosti křižovatky	37
2.1 Radar	37
2.2 Vodorovné dopravní značení	45
2.3 Světelné signalizační zařízení	49
2.4 Výstavba okružní křižovatky	52
3 Zhodnocení návrhů	69
ZÁVĚR	72
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	73
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Počet dopravních nehod v Pardubickém kraji v letech 2011 – 2016	15
Obrázek 2 Počet zraněných a usmrcených osob při DN v Pardubickém kraji v letech 2011 – 2016	16
Obrázek 3 Hmotné škody v tisících při počtu DN v Pardubickém kraji v letech 2011 – 2016....	17
Obrázek 4 Křižovatka komunikací I/35 a I/17 u Zámrsku	18
Obrázek 5 Situační pohled na křižovatku komunikací I/35 a I/17	19
Obrázek 6 Situování křižovatky	20
Obrázek 7 Přehled nehodovosti na křižovatce I/35 a I/17 u Zámrsku.....	21
Obrázek 8 Dopravní nehody v letech 2012 – 2016	23
Obrázek 9 Dopravní proudy	30
Obrázek 10 Omezení rychlosti na I/35	33
Obrázek 11 Dopravní značení od Chrudimi	34
Obrázek 12 Dopraní značení od Zámrsku	35
Obrázek 13 Přístroj pro měření rychlosti RAMER 10P	38
Obrázek 14 Přístroj pro měření rychlosti RAMER 10T	39
Obrázek 15 Princip dálkového řízení radarového měřiče.....	42
Obrázek 16 Umístění radaru	44
Obrázek 17 Vodorovné dopravní značení křižovatek.....	45
Obrázek 18 Vodorovné dopravní značení při velké intenzitě dopravy	46
Obrázek 19 Vodorovné dopravní značení omezující dovolenou rychlost.....	47
Obrázek 20 Optická psychologická brzda	48
Obrázek 21 Světelné signalizační zařízení	50
Obrázek 22 Kolizní body.....	52

Obrázek 23 Jednopruhová okružní křižovatka	54
Obrázek 24 Návrh okružní křižovatky.....	56
Obrázek 25 Rozdělení křižovatky.....	58
Obrázek 26 Modelová okružní křižovatka.....	61
Obrázek 27 Cesty vozidel v modelové křižovatce.....	63
Obrázek 28 Přednost v jízdě v modelové křižovatce.....	64
Obrázek 29 Simulace křižovatek	65
Obrázek 30 Měřicí body	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Přehled druhu a charakteru dopravních nehod na vybrané křižovatce	22
Tabulka 2 Přehled zatíženosti dopravní komunikace I/35 v úseku číslo 5 – 5030, směr křižovatka – Vysoké Mýto.....	25
Tabulka 3 Přehled zatíženosti dopravní komunikace I/35 v úseku číslo 5 – 0529, směr Holice - křižovatka	26
Tabulka 4 Přehled zatíženosti dopravní komunikace I/17 v úseku číslo 5 – 3239, směr Chrudim – křižovatka.....	27
Tabulka 5 Úroveň kvality dopravy	28
Tabulka 6 rozdělení kvality dopravy	29
Tabulka 7 Intenzita proudů ze směru od Zámrsku	31
Tabulka 8 Jednotlivé kapacity dopravních proudů a jejich rezervy	32
Tabulka 9 Technické údaje měřiče rychlosti RAMER 10P.....	40
Tabulka 10 Ceník radaru a jeho montáž	43
Tabulka 11 Rozpočet pořízení psychologické brzdy	49
Tabulka 12 Ceník světelného signalizačního zařízení	51
Tabulka 13 Minimální rozměry jednopruhové okružní křižovatky.....	55
Tabulka 14 Položky ceny za výstavbu okružní křižovatky	57
Tabulka 15 Maximální kapacita vjezdů.....	58
Tabulka 16 Maximální kapacita výjezdů.....	59
Tabulka 17 Minimální kapacita vjezdů	60
Tabulka 18 Minimální kapacita výjezdů	60
Tabulka 19 Porovnání úrovně kvality.....	61
Tabulka 20 Intenzity dopravních proudů.....	62
Tabulka 21 Cestovní doby	67
Tabulka 22 Délka kolon.....	68

Tabulka 23 Kritéria a jejich ohodnocení.....	69
Tabulka 24 Fullerův trojúhelník párového srovnání.....	70
Tabulka 25 Upravená váha kritérií	70
Tabulka 26 Míra užitku návrhů	71

SEZNAM ZKRATEK

A – Ampér

DN – Dopravní nehoda

DPH – Daň z přidané hodnoty

ÚKD – Úroveň kvality dopravy

ÚVOD

Podle § 47 Zákona o silničním provozu č. 361/2000 Sb., je „*Dopravní nehoda událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu*“. (1)

Každoročně na tuzemských silnicích vyhasnou stovky životů. Automobilovými výrobci jsou vyvíjena stále bezpečnější vozidla, a dále tu jsou bezpečnostní prvky na silnicích. Přestože přibývá bezpečnostních ochranných prvků na motorových vozidlech i na pozemních komunikacích, dochází nadále k závažným nehodám jak mezi vozidly, tak například mezi vozidlem a jiným účastníkem silničního provozu, a to cyklistou nebo chodcem. Vysokým počtem dopravních nehod se také vyznačují křižovatky, a to zejména úrovněvé křižovatky mezi pozemními komunikacemi typu prvních tříd.

Nejprve zde budou uvedeny dopravní nehody v Pardubickém kraji. Dále bude v této práci detailněji popsána křižovatka typu komunikace prvních tříd ve vybraném úseku silnice první třídy I/35 a bude navrženo a detailněji popsáno opatření ke zlepšení ochrany účastníků silničního provozu a ke zmírnění nehodovosti bez zbytečného zpomalování silničního provozu na tomto úseku. K tomu bude využita simulace provozu v programu PTV VISSIM za použití studentské licence. Následně bude provedeno vyhodnocení. Dále bude nastíněno porovnání jednotlivých návrhů a výběr dané varianty s největším užitekem za pomoci multikriteriální analýzy.

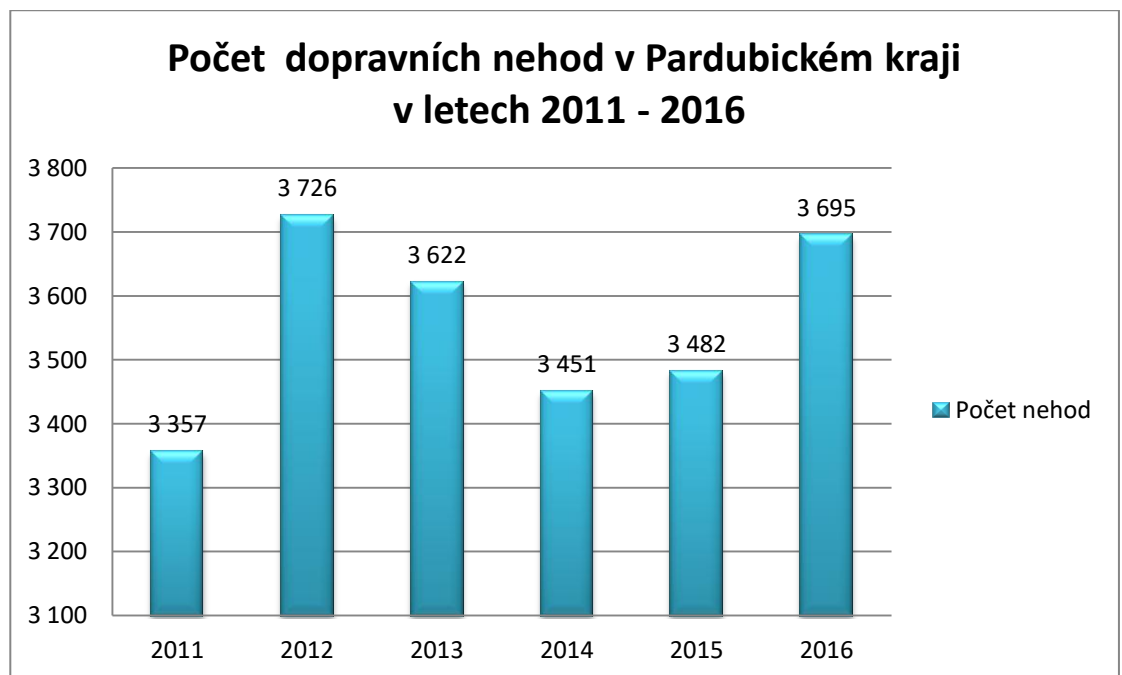
Cílem této práce je poskytnout ucelený přehled o nehodovosti na vybraném úseku pozemní komunikace I/35, zaměřit se na kritický úsek na této pozemní komunikaci a navrhnout varianty ochrany vybraného úseku. K tomu byly využity statistiky, tabulky a údaje dostupné na stránkách Policie České republiky.

1 ANALÝZA BEZPEČNOSTI KŘIŽOVATKY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ I/35 A I/17

Bezpečnost na úrovňovém křížení pozemních komunikací je velice důležitá. Provoz na pozemních komunikacích roste a i přes technicky vyspělé bezpečnostní prvky na vozidlech nehodovost nijak výrazně neklesá. Technologie pro zvýšení bezpečnosti na křižovatkách se neustále modernizují, avšak nejsou dostatečně využívány na „nebezpečných“ křižovatkách. Úpravy křižovatek jsou součástí rozvoje silniční sítě, kdy dochází ke změně nároků na jejich parametry. Na řadě míst dochází ke změně dopravního režimu v lokalitě v souvislosti s územním rozvojem v okolí. Úpravy mají vždy dopad na intenzitu dopravy na přilehlé silniční síti. Dalším podnětem proč upravovat křižovatku, může být její vnímání veřejností jako nebezpečného místa (subjektivní bezpečnost) nebo se může jednat o nehodovou lokalitu (objektivní bezpečnost). (2) Tato kapitola se zaměří na křižovatku pozemních komunikací I/35 a I/17 z hlediska nehodovosti a intenzity dopravy.

1.1 Zhodnocení nehodovosti v Pardubickém kraji ve sledovaném období 2011 – 2016

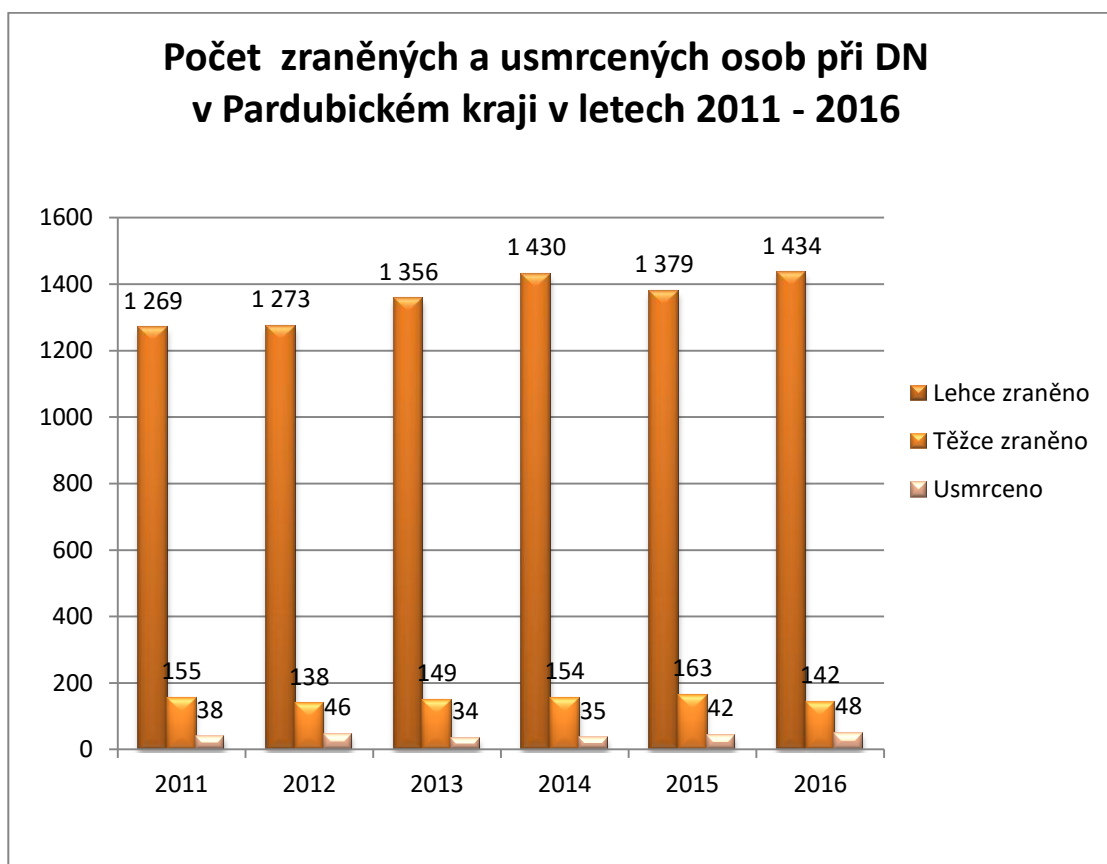
Podle obrázku 1 byl počet nehod v roce 2011 nejmenší. Od roku 2012 nehodovost klesá až do roku 2014, kde poté nehodovost narůstá až do konce měřeného období. Tento propad může být způsobený například vyšší cenou pohonných hmot. Nárůst dopravních nehod od roku 2015 by mohl způsobovat vyšší intenzity dopravy a tím i zatížení pozemních komunikací v Pardubickém kraji. (1)



Obrázek 1 Počet dopravních nehod v Pardubickém kraji v letech 2011 – 2016

Zdroj: (1)

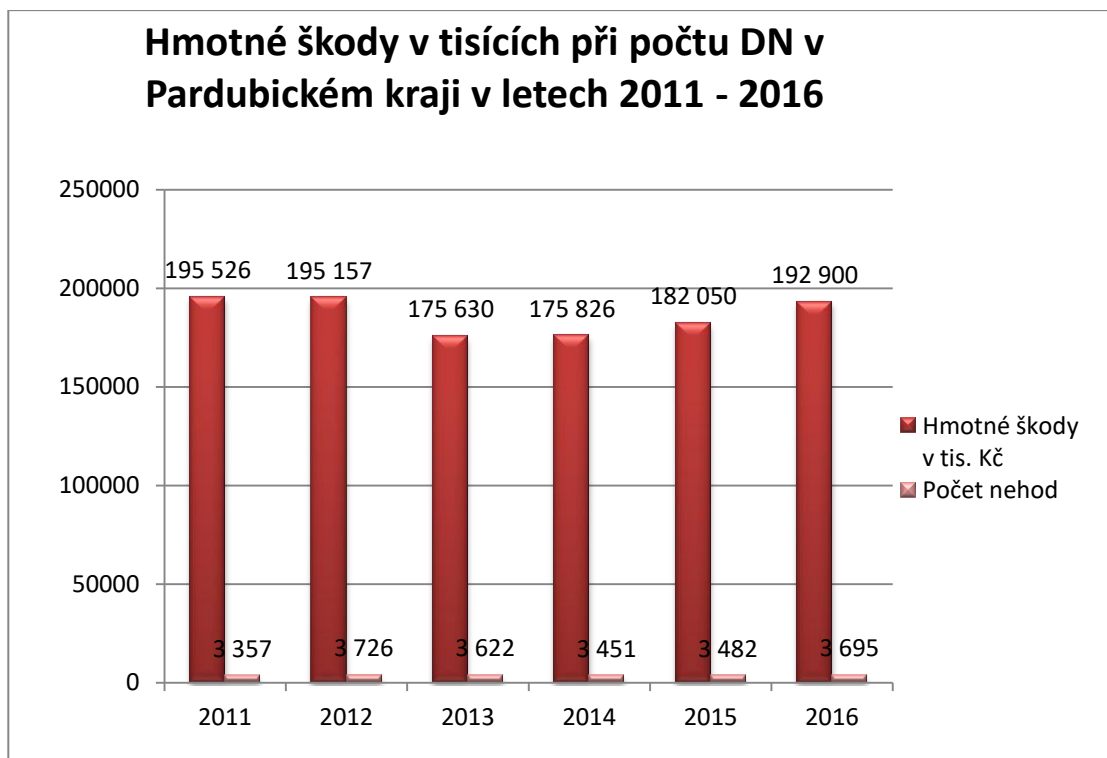
Rok 2016 byl tím nejtragičtějším v počtu lehce zraněných, těžce zraněných a usmrcených osob, což je patrné na obrázku 2. Lehce zraněno bylo 1 434 osob a 48 účastníků silničního provozu bylo usmrceno. (1)



Obrázek 2 Počet zraněných a usmrcených osob při DN v Pardubickém kraji v letech 2011 – 2016

Zdroj: (1)

Hmotnou škodu v tisících je možno porovnat na obrázku 3, kde je zároveň vidět i počet dopravních nehod, při kterých k hmotné škodě došlo. Je patrný téměř stejný počet nehod v jednotlivých letech i téměř stejná hodnota hmotné škody. Mírný pokles hmotné škody byl v roce 2013. Nejmenší počet nehod byl v roce 2011 a ve stejném roce bylo naopak dosaženo největší hmotné škody. (1)



Obrázek 3 Hmotné škody v tisících při počtu DN v Pardubickém kraji v letech 2011 – 2016

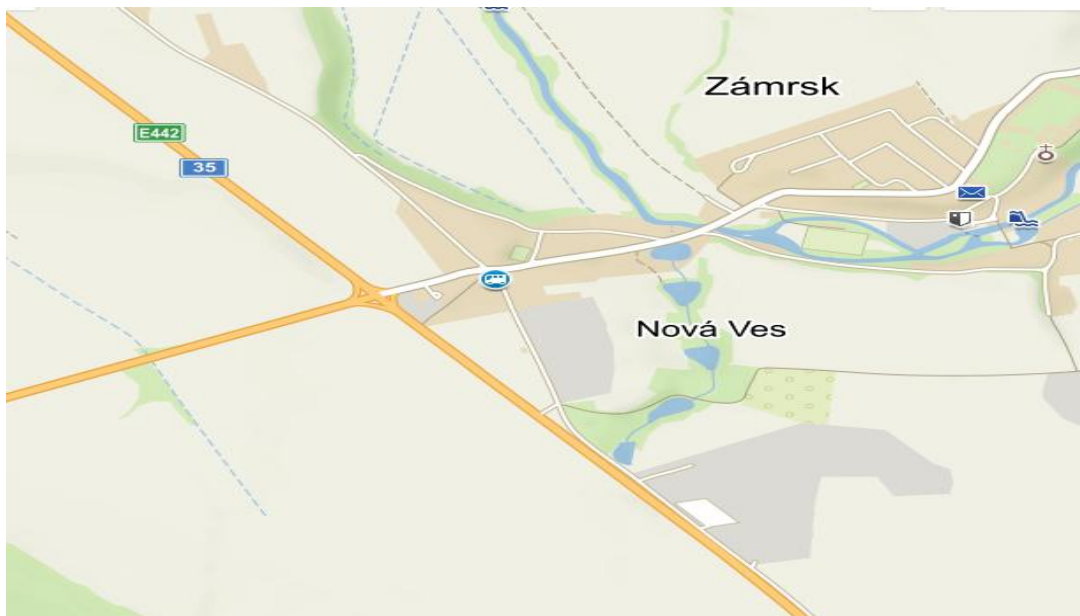
Zdroj: (1)

1.2 Křižovatka pozemních komunikací číslo I/35 a I/17 nedaleko Zámrsku

V této kapitole bude detailněji zpracována křižovatka dopravní komunikace číslo I/35 směrem od Holic na Vysoké Mýto a dopravní komunikace I/17 směrem od Chrudimi na Zámrsk. Tato křižovatka se nachází nedaleko Nové Vsi u Zámrsku a nachází se na velmi frekventované pozemní komunikaci I/35.

Pozemní komunikace první třídy číslo 35 je se svými 303,878 km druhou nejdelší pozemní komunikací první třídy. Prochází šesti kraji a třemi krajskými městy. Protože tato křižovatka spojuje pozemní komunikace první třídy I/17 a I/35, je jejím vlastníkem stát České republiky a jejím správcem je Ředitelství silnic a dálnic České republiky. Opravu, údržbu a rekonstrukci této křižovatky financuje ze svého rozpočtu Ředitelství silnic a dálnic České republiky. (2)

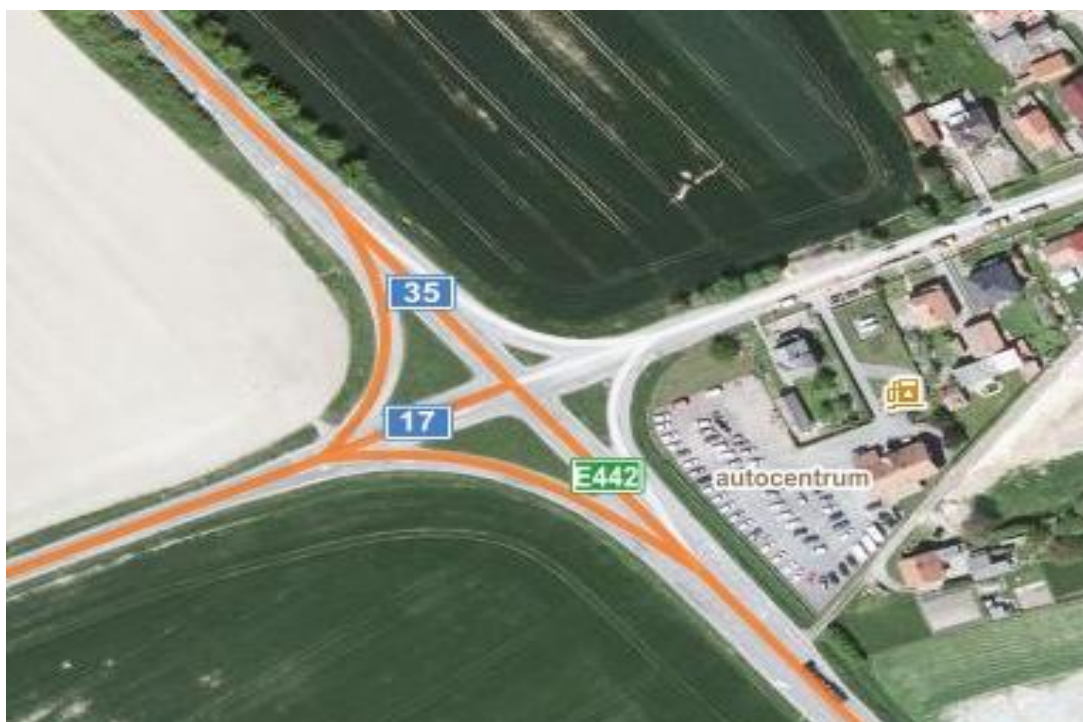
Průjezdná rychlost přes křižovatku komunikací I/35 je zde upravena na nejvyšší povolenou rychlost 70 km.h^{-1} z obou směrů. Na obrázku 4 je situační pohled na vybranou křižovatku. (7)



Obrázek 4 Křižovatka komunikací I/35 a I/17 u Zámorsku

Zdroj: (7)

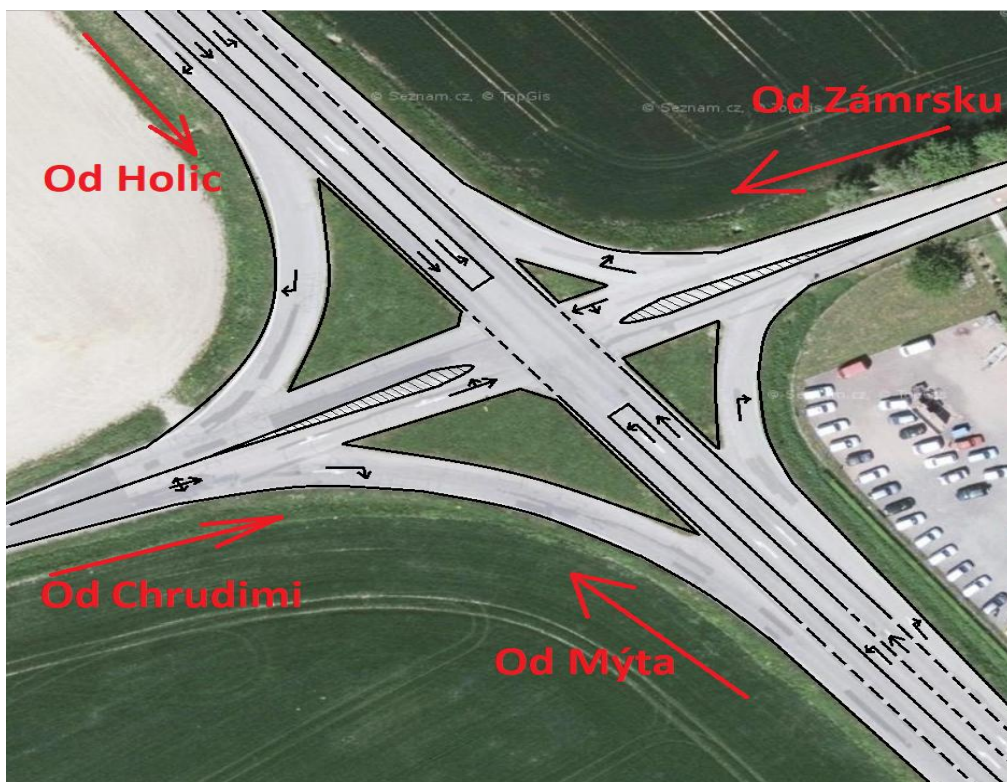
Tato křižovatka, jak už bylo řečeno, kříží dvě důležité dopravní tepny v Pardubickém kraji. Křižovatka se nachází v téměř rovinné krajině, málo zalesněné, jak je vidět na obrázku 5, proto účastníky silničního provozu svádí k nedodržování nejvyšší povolené rychlosti a dochází zde k četným nehodám.



Obrázek 5 Situační pohled na křižovatku komunikací I/35 a I/17

Zdroj: (7)

Křižovatku tvoří čtyři samostatné odbočovací pruhy vpravo ze všech směrů, dva vložené odbočovací pruhy vlevo a dva průjezdné pruhy ve směrech od Vysokého Mýta a od Holic a dva průjezdné pruhy společné s odbočením vlevo ve směrech od Chrudimi a od Zámrsku. Situování křižovatky je znázorněno na obrázku 6, kde jsou jednotlivé pruhy a směry vykresleny pro lepší přehled o křižovatce. Zde jsou vidět nejrizikovější směry od Chrudimi a Zámrsku, a to průjezdný směr spolu s odbočením vlevo. Při odbočení vlevo z těchto směrů musejí dát řidiči přednost 5 dopravním proudům, což je nejvíce v křižovatce. Řidiči odbočující vlevo ze směru od Chrudimi nebo Zámrsku, musejí dát přednost vozidlům projíždějícím rovně z protější strany křižovatky a všem vozidlům projíždějícím křižovatkou po hlavní komunikaci nebo odbočujícím vlevo z hlavní komunikace. Proto jsou tyto směry nejvíce rizikové.

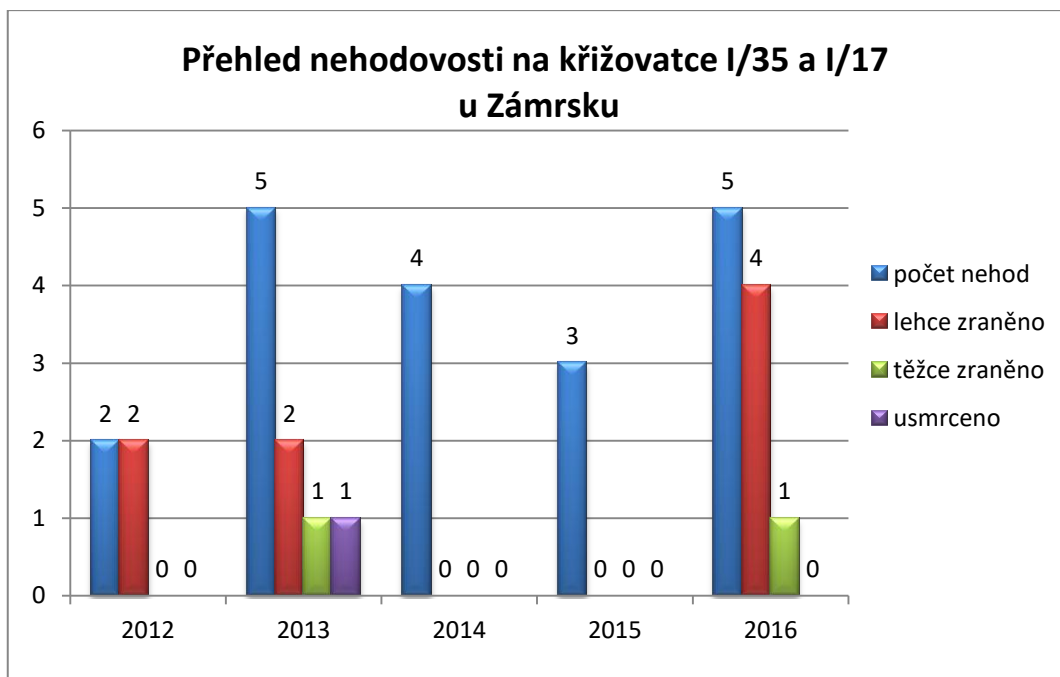


Obrázek 6 Situování křižovatky

Zdroj: (9), (úprava Autor)

1.3 Zhodnocení nehodovosti na křižovatce I/35 a I/17 u Zámrsku

Podle statistiky uvedené na obrázku 7 byl nejtragičtější rok 2013, kdy se stalo pět nehod, dvě osoby byly lehce zraněny a těžce zraněno a usmrceno bylo po jedné osobě. Dalším tragickým rokem byl rok 2016, kdy bylo také pět nehod, byly zde lehce zraněny čtyři osoby a jedna osoba byla těžce zraněna. Ztráty na životech v tomto roce nebyly žádné. Naopak rok 2015 se třemi nehodami bez zranění a rok 2014 se čtyřmi nehodami také bez zranění patří k nejlepším rokům. (1) Co se týká bezpečnosti silničního provozu, je tato křižovatka silně riziková. Bylo by dobré navrhnout taková bezpečnostní opatření, která by bez velkého omezení plynulosti dopravy, přispěla ke zvýšení bezpečnosti účastníků silničního provozu na této křižovatce.



Obrázek 7 Přehled nehodovosti na křižovatce I/35 a I/17 u Zámrsku

Zdroj: (1)

Pokud je na dopravní nehody na této křižovatce pohlíženo z hlediska počtu a druhu účastníků provozu v jednotlivých případech a z hlediska charakteru nehody, je k dispozici tabulka 1, kde je detailněji zachycena tato problematika.

Z tabulky 1 je vidět, že srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem ve většině případů určuje druh nehody v jednotlivých letech a nehody s následky na životě nebo zdraví jsou určujícím charakterem většiny nehod. Nákladní vozidlo bylo pouze ve dvou případech účastníkem nehody.

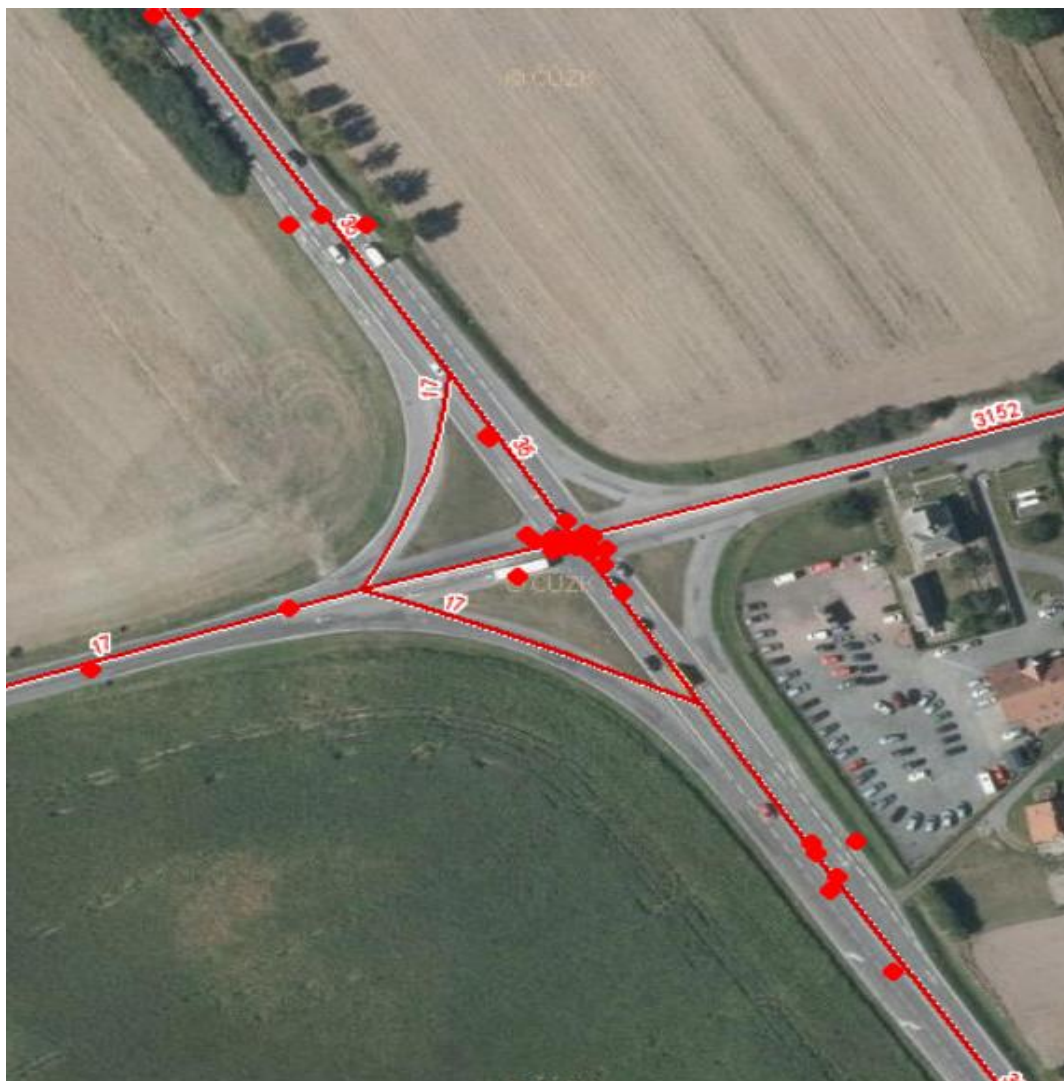
Tabulka 1 Přehled druhu a charakteru dopravních nehod na vybrané křižovatce

Rok	Druh	Charakter	Počet a druh vozidel
2016	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2016	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda pouze s hmotnou škodou	2xOS
2016	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2016	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda pouze s hmotnou škodou	2xOS
2016	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda pouze s hmotnou škodou	2xOS
2015	havárie	nehoda pouze s hmotnou škodou	N
2015	zvěř	nehoda pouze s hmotnou škodou	N
2015	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda pouze s hmotnou škodou	2xOS
2015	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda pouze s hmotnou škodou	3xOS
2014	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda pouze s hmotnou škodou	2xOS
2014	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2014	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2014	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2013	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2013	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2013	srážka s pevnou překážkou	nehoda s následky na životě nebo zdraví	1xOS
2013	havárie	nehoda s následky na životě nebo zdraví	1xOS
2013	havárie	nehoda pouze s hmotnou škodou	1xOS
2012	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	2xOS
2012	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda s následky na životě nebo zdraví	3xOS
2012	srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	nehoda pouze s hmotnou škodou	2xOS

Zdroj: (4)

Všechny dopravní nehody, které se staly v letech 2012 – 2016, jsou vyznačené na obrázku 8. Z obrázku je patrné, že nejvíce nehod je způsobeno ve středu křižovatky, je to způsobeno tím, že ve středu křižovatky je nejvíce kolizních bodů a nejrizikovější odbočování vlevo z vedlejších komunikací. Dále ve středu křižovatky vozidla odbočují z hlavní komunikace vpravo. Toto odbočení je také rizikové vzhledem k zatížení

křižovatky, zejména pro nákladní vozidla a autobusy, z důvodů nižší akcelerace oproti osobním vozidlům.



Obrázek 8 Dopravní nehody v letech 2012 – 2016

Zdroj: (7)

Na křižovatce bylo ve sledovaných letech způsobeno celkem 21 nehod. Z dostupných údajů jako je počet nehod za sledované časové období a průměrná denní intenzita dopravy, lze vypočítat relativní nehodovost R pomocí vzorce 1 relativní nehodovost. Ta vyjadřuje bezpečnost, která se vztahuje k pravděpodobnosti dopravní nehody za určených dopravních výkonů. Velikost relativní nehodovosti se obvykle pohybuje v rozmezí od 0.1 až po 0.9. Pokud ukazatel překročí tuto hodnotu, znamená to, že bezpečnost na dané křižovatce není dostatečná. Intenzita dopravy dané křižovatky bude vypočtena jako průměr intenzit daných směrů křižovatky. (6)

$$R = \frac{N_0}{365 \cdot I \cdot t} * 10^6 \text{ [počet vozidel/milion vozidel a rok]} \quad (1)$$

Kde:

- R relativní nehodovost [počet vozidel/milion vozidel a rok]
- N_0 počet nehod [-]
- I průměrná denní intenzita vozidel za den (viz kapitola 1.4) [voz/den]
- t sledované časové období tj. roky [-]

Po dosazení následně dostaneme:

$$R = \frac{21}{365 \cdot 12452 \cdot 4} * 10^6 = 1,155 \text{ [počet vozidel/milion vozidel a rok]}$$

Relativní nehodovost na této křižovatce vypočítaná podle vzorce 1 je zvýšená, než je u obvyklých křižovatek. Z tohoto důvodu by bylo vhodné provést bezpečnostní opatření pro zvýšení bezpečnosti.

1.4 Statistika provozu na vybrané křižovatce

Díky výstavbě dálnice D35, která bude spojoval střední a východní Čechy se severní Moravou, se z řešeného úseku přesune část dopravního proudu. Tím se ulehčí pozemní komunikaci I/35, a to i v úseku Vysoké Mýto – Holice. Výstavba úseku dálnice D35, který bude procházet poblíž křižovatky pozemních komunikací I/35 a I/17, se plánuje na rok 2021, dokončení je odhadováno na rok 2023. Po dostavbě dálnice D35 v tomto úseku by se vytížení úseku nemělo zásadně zvýšit. Je předpokládáno, že se naopak výrazně sníží. (7) Na vybrané křižovatce proto byla vybrána statistika silničního provozu z roku 2016. Provoz na vybraném úseku lze rozdělit do třech úseků. První úsek pozemní komunikace I/35 číslo 5-5030 ve směru křižovatka – Vysoké Mýto, je popsán v tabulce 2. Osobních a dodávkových vozidel projíždějících v tomto úseku v roce 2016 bylo průměrně 12 866 za den. Těžkých motorových vozidel projelo průměrně za den 5 203 a celkový součet všech vozidel byl **18 169 vozidel za den**. Cyklistů zde projelo 90 za den. (4)

Tabulka 2 Přehled zatíženosti dopravní komunikace I/35 v úseku číslo 5 – 5030, směr křižovatka – Vysoké Mýto

Sčítání dopravy rok 2016, číslo úseku 5 – 5030	
Druh motorového vozidla	Vozidla/ den
Těžká motorová vozidla celkem	5 203
- Lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3,5 t)	1581
- Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10t)	931
- Těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10t)	263
- Návěsové soupravy nákladních vozidel	2 321
- Autobusy	102
- Traktory	5
Osobní a dodávková vozidla bez přívěsů i s přívěsy	12 866
Jednostopá motorová vozidla	100
Všechna motorová vozidla celkem (součet vozidel)	18 169
Cyklistická doprava	90 [cyklistů/den]

Zdroj: (4)

Tabulka 3 je zaměřena na další část pozemní komunikace I/35 a to úsek 5 – 0529 z Holic ke křižovatce. I zde je vidět velký počet osobních a dodávkových vozidel projíždějících v tomto úseku a to 10 081 za jeden den při sčítání dopravy v roce 2016. Těžkých motorových vozidel projelo v tomto úseku 3 953 za den a průměrný celkový počet všech motorových vozidel projíždějících v tomto úseku v roce 2016 za jeden den bylo **14 121 vozidel**. Cyklistů, projíždějících v tomto úseku bylo průměrně 20 za den. (4)

Tabulka 3 Přehled zatíženosti dopravní komunikace I/35 v úseku číslo 5 – 0529, směr Holice - křižovatka

Sčítání dopravy rok 2016, číslo úseku 5 – 0529	
Druh motorového vozidla	Vozidla/ den
Těžká motorová vozidla celkem	3 953
- Lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3,5 t)	1361
- Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10t)	620
- Těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10t)	168
- Návěsové soupravy nákladních vozidel	1 742
- Autobusy	58
- Traktory	4
Osobní a dodávková vozidla bez přívěsů i s přívěsy	10 081
Jednostopá motorová vozidla	87
Všechna motorová vozidla celkem (součet vozidel)	14121
Cyklistická doprava	20 [cyklistů/den]

Zdroj (4)

Posledním zkoumaným úsekem byl úsek číslo 5 – 3229 na dopravní komunikaci číslo I/17 ze směru od Chrudimi ke křižovatce. I když toto není tak úplně „hlavní tah“ i zde je vidět velký provoz, protože tato dopravní komunikace spojuje Chrudim s Vysokým Mýtem. Podle sčítání dopravy z roku 2016 zde projede průměrně 3 471 osobních a dodávkových vozidel za jeden den, což je vidět v tabulce 4. Těžkých motorových vozidel to bylo v průměru 1 560 za jeden den a všechna motorová vozidla se vyšplhala na průměrnou hodnotu **5 066 vozidel za jeden den**. Cyklistů zde projelo shodně jako v úseku číslo 5 – 0529, v průměru 20 za jeden den. (4)

**Tabulka 4 Přehled zatíženosti dopravní komunikace I/17 v úseku číslo 5 – 3239,
směr Chrudim - křižovatka**

Sčítání dopravy rok 2016, číslo úseku 5 – 3239	
Druh motorového vozidla	Vozidla/ den
Těžká motorová vozidla celkem	1 560
- Lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3,5 t)	544
- Střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3,5 – 10t)	326
- Těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10t)	94
- Návěsové soupravy nákladních vozidel	570
- Autobusy	23
- Traktory	3
Osobní a dodávková vozidla bez přívěsů i s přívěsy	3 471
Jednostopá motorová vozidla	35
Všechna motorová vozidla celkem (součet vozidel)	5 066
Cyklistická doprava	20 [cyklistů/den]

Zdroj: (4)

Kapacita křižovatky

Výpočet kapacity křižovatky udává, jakou kapacitu mají jednotlivé dopravní proudy v křižovatce. Dále zjistíme, jaké mají tyto dopravní proudy rezervy v kapacitě, délce front a střední době zdržení vozidel, a také do jaké úrovně kvality dopravy (ÚKD) spadají. Úroveň kvality dopravy se zjišťuje ze střední doby zdržení a rezervy kapacity jednotlivých dopravních proudů. Její charakteristika a označení stupnice je vidět v tabulce 5. Stupeň úrovně kvality F, to znamená nevyhovující úsek, který je přetížen má stupeň vytížení větší než jedna. Pokud dopravní proud přesáhne stupeň vytížení více než jedna, znamená to, že kapacita je nedostatečná a její kapacita rezerv je nulová anebo v minusových hodnotách.

Tabulka 5 Úroveň kvality dopravy

Úroveň kvality (ÚKD)		Střední doba zdržení (s)
Označení	Charakteristika	
A	velmi dobrá plynulý dopravní tok	do 10
B	dobrá dopravní tok omezený	do 20
C	uspokojivá stabilní provoz	do 30
D	dostatečná ještě stále stabilní	do 45
E	nestabilní naplněna kapacita jízdního pásu	nad 45
F	nevyhovující úsek přetížen	stupeň vytížení $a_v > 1$

Zdroj: (12)

Požadovaný stupeň úrovně kvality dopravy, dle konkrétních typů komunikací, je znázorněn v tabulce 6. Řešená křižovatka je složena z komunikací I. třídy ze směru od Holic, Chrudimi, Vysokého Mýta a komunikace III. třídy za směru od Zámrsku. Z této tabulky je patrné, že komunikace I. třídy mají mít ÚKD stupně C a komunikace III. třídy má mít ÚKD stupně E.

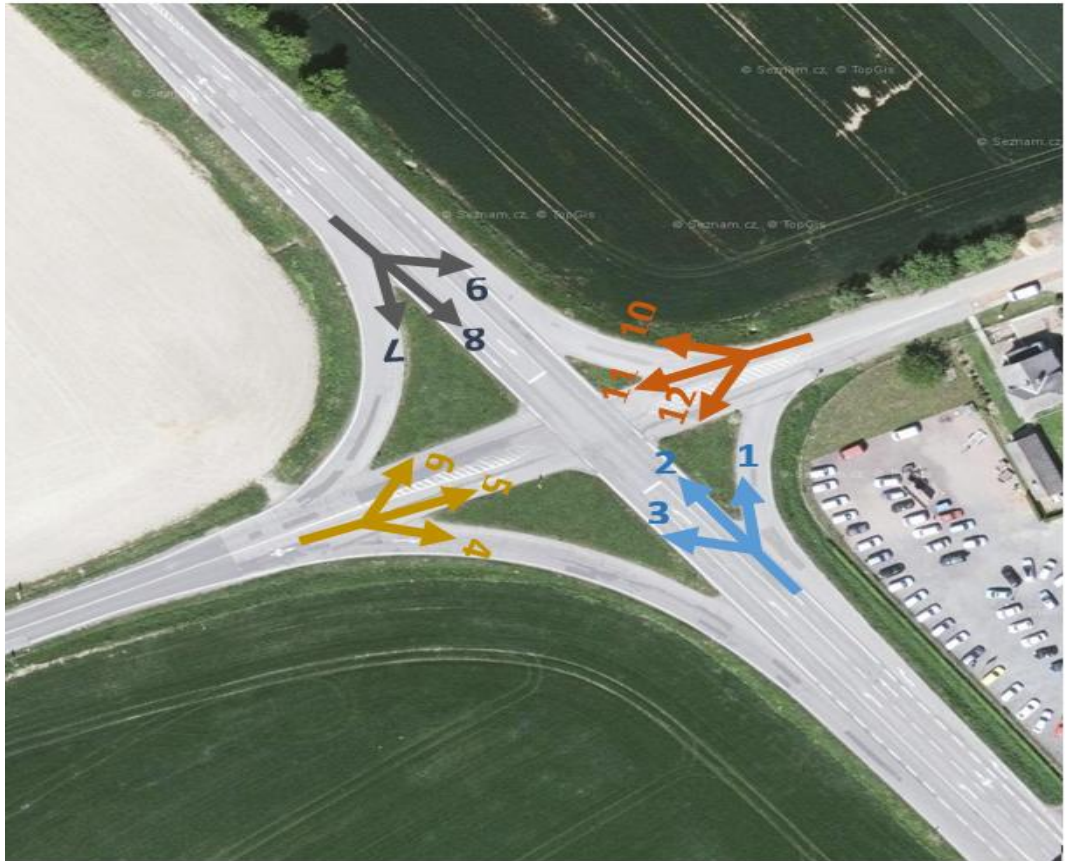
Tabulka 6 rozdělení kvality dopravy

Typ komunikace	Stupeň ÚKD
Dálnice, komunikace I. třídy	C
Komunikace II. třídy	D
Komunikace III. třídy	E
Rychlostní místní komunikace	D
Místní komunikace	E

Zdroj: (12)

Kapacita křižovatky byla provedena podle technických podmínek TP188 Posuzování kapacity neřízených úrovnových křižovatek v platném znění pomocí výpočetních tabulek vytvořených v programu Excel.

Křižovatka byla rozdělena do jednotlivých dopravních proudů. Dopravním proudům bylo přiděleno číslování tak, aby splňovalo podmínky dle TP188 Posuzování kapacity neřízených úrovnňových křižovatek v platném znění a mohl se provést následně výpočet samotné kapacity. (12) Toto rozdělení je vidět na obrázku 9, kde jsou znázorněny jednotlivé dopravní proudy a jejich směřování.



Obrázek 9 Dopravní proudy

Zdroj: (9)

Do výpočetních tabulek byly přepočítány na jednotlivé intenzity dopravních proudů a dosazeny 50ti rázové intenzity dostupné ze sčítání dopravy 2016 ředitelstvím silnic a dálnic České republiky. Tyto intenzity jsou vidět v tabulce 7. Intenzity proudů ze směru od Zámrsku ke křižovatce byly z důvodu nedostupnosti údajů odhadnuty z vlastních měření intenzit a porovnáním s hodnotami z interaktivní mapy sčítání dopravy 2016. (11)

Tabulka 7 Intenzita proudů ze směru od Zámrsku

paprsek křižovatky	dopravní proud	Osobní vozidla [voz/h]	Nákladní vozidla [voz/h]	(skutečná) intenzita dopr. proudu [voz/h]	(zohledněná) intenzita dopr. proudu [pvoz/h]
A Vysoké Mýto	1	13	5	18	21
	2	549	48	597	621
	3	124	211	335	441
B Chrudim	4	77	37	114	133
	5	9	4	13	15
	6	87	41	128	149
C Holice	7	94	30	124	139
	8	418	132	550	616
	9	11	4	15	17
D Zámrsk	10	14	2	16	17
	11	13	1	14	15
	12	13	2	15	16

Zdroj: (Autor)

Po dosazení do výpočtových tabulek byla vypočítána samotná kapacita křižovatky pro jednotlivé dopravní proudy. Dopravní proudy ze směru od Chrudimi jsou počítány jako společný jízdní pruh s rozšířeným vjezdem, z toho důvodu, že vozidla projíždějící rovně a odbočující vlevo, zabraňují vozidlům odbočujícím vpravo vjezd na odbočující jízdní pruh (bypass). Tudíž tyto pruhy na sobě jsou závislé. Délky front a stupeň vytižení byly odečteny z grafů z TP188 Posuzování kapacity neřízených úrovnových křižovatek v platném znění. V tabulce 8 jsou jednotlivé kapacity dopravních proudů a jejich rezervy. Je vidět, že nejhorší je směr od Chrudimi, jelikož má vysoký nedostatek kapacitní rezervy, který je vyznačený v tabulce červeně. Z tohoto důvodu nelze jednoznačně určit délku fronty a střední dobu zdržení, protože při takovéto nedostatečné rezervě kapacity nelze tyto hodnoty určit z grafu. Směr Zámrsk má také nedostatečné rezervy kapacity a spolu se směrem od Chrudimi jsou nejhůře klasifikovány v úrovni kvality dopravy. Nejlepších hodnot dosahuje směr od Holice, kde tento směr dosahuje úrovně kvality dopravy nejlépe. Co se týče délky fronty, nejhůře na tom je dopravní proud odbočující vpravo ze směru od Vysokého Mýta. Délka fronty zde dosahuje téměř 26 metrů, což odpovídá zhruba čtyřem osobním vozidlům.(12) Samotné výpočtové tabulky jsou vidět v příloze A.

Tabulka 8 Jednotlivé kapacity dopravních proudů a jejich rezervy

dopravní proud		řadící pruh	kapacita	rezerva kapacity	délka fronty	střední doba zdržení	ÚKD
z	do						
Mýto	Zámorsk	1	1800	1779	0	0	C
	Holice	2	1800	1179	0	0	
	Chrudim	3	739	298	25,9	12	
Chrudim	Mýto	4	45	-252		rez<0	F
	Zámorsk	5					
	Holice	6					
Holice	Chrudim	7	1800	1661	0	0	A
	Mýto	8	1800	1184	0	0	
	Zámorsk	9	752	735	0,4	2	
Zámorsk	Holice	10	1161	1144	0,3	2	F
	Chrudim	11	30	-1	10,2	rez<0	
	Mýto	12			18,0	rez<0	

Zdroj: (Autor)

Z výpočtu vyplývá, že kapacita křižovatky ve směrech od Chrudimi a Zámorsku je nedostatečná, tím dochází i k riskantnímu vjíždění do křižovatky řidiči, kteří nemají dostatečný rozhled. Tento problém nastává z důvodu příliš velkého čekání a narůstající nervozitou řidiče.

1.5 Zhodnocení ochranných bezpečnostních prvků na vybrané křižovatce

Před touto křižovatkou je na pozemní komunikaci I/35 snížena rychlost na 70 km.h⁻¹ po obou směrech pomocí svislého dopravního značení B20a „NEJVYŠŠÍ POVOLENÁ RYCHLOST“ (10) zvýrazněné retroreflexními prvky, které jsou vidět na obrázku 10. Toto omezení rychlosti je často řidiči nedodržováno. Jedním z důvodů nedodržování předepsané nejvyšší povolené rychlosti, může být i to, že značka z pohledu od Holice zarůstá vegetací v letním období.

Dalším důvodem je také bezohlednost řidičů, což bude řečeno v druhé části práce.



Obrázek 10 Omezení rychlosti na I/35

Zdroj: (Autor)

Napojení pozemní komunikace I/17 na hlavní pozemní komunikaci I/35 od Chrudimi je upraveno dopravní značkou P04 „DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ“ a následně dopravní značkou P06 „STŮJ, DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ“ (10) příkazující řidičům, kteří vjíždí do křižovatky, zastavit na hraně křižovatky. Tyto značky jsou pro zvýraznění opatřeny retroreflexními prvky, které jsou vidět na obrázku 11.



Obrázek 11 Dopravní značení od Chrudimi

Zdroj: (Autor)

Při příjezdu do tělesa křižovatky od Chrudimi jsou dopravní značky velmi dobře vidět nejen díky jejich retroreflexním prvkům, ale i díky malé vegetaci v jejich okolí. Největším nedostatkem v tomto směru je špatný stav vodorovného dopravního značení. Při příjezdu ke křižovatce nelze rozeznat, kde má řidič zastavit pro dobrý rozhled do křižovatky. Pokud by řidič zastavil u značky, neměl by dostatečný rozhled. To je způsobeno absencí, nebo opotřebením původního, vodorovného značení na hraně křižovatky, které by řidiče „navedlo“ na místo, kde má zastavit. Absencí vodorovného značení by mohlo dojít k přejetí

hrany křižovatky, tím by řidič zastavil přední částí vozidla až na hlavním pruhu, což by mohlo vést k vážné nehodě.

Při příjezdu ke křižovatce od obce Zámorsk je dopravní značka P06 „STUJ, DEJ PŘEDNOST V JÍZDĚ“. Tato značka není opatřena retroreflexními prvky, což je vidět na obrázku 12. Vodorovné značení je v tomto směru také značně opotřebované. Je dobře viditelné pouze za dobrých povětrnostních podmínek.



Obrázek 12 Dopraní značení od Zámrsku

Zdroj: (Autor)

Na tomto úseku, kde se kříží pozemní komunikace I/35 a I/17, je ochranných prvků pro zvýšení bezpečnosti žalostně málo, nebo jsou tak opotřebované, že je potřeba maximální soustředění, aby byly viděny a plnily tak svoji funkci. Tato práce je zaměřena právě na to, aby bylo na tuto křižovatku zavedeno co nejúčinnější bezpečnostní opatření, aby byla nehodovost snížena na minimum a účastníci silničního provozu tak byli maximálně chráněni.

Navržení některých ochranných bezpečnostních prvků

Mezi možné ochranné prvky by bylo dobré zmínit možnost umístění radaru na dopravní komunikaci I/35 v obou směrech, který by monitoroval řidiče nedodržující nejvyšší povolenou rychlost v křižovatce. Pro zvýšení bezpečnosti by byla vhodná instalace světelného signalizačního zařízení. Možná by také bylo dobré se zamyslet, zda by vodorovné značení snížení rychlosti v obou směrech nemohlo zajistit lepší viditelnost upozornění na snížení rychlosti. Další možnost úpravy bezpečnosti na vybrané křižovatce, ale pravděpodobně nejnákladnější, by bylo vybudování okružní křižovatky.

2 NÁVRH NA ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI KŘÍŽOVATKY

Tato kapitola se bude zabývat možnými prostředky pro zvýšení bezpečnosti dané křižovatky. Bude zde probrána například možnost instalace radarového systému pro neustálé měření rychlosti projíždějících vozidel. Dále zde bude zmiňována možnost instalace světelného zařízení a jeho možnosti. Bude zde probráno vodorovné značení snížení rychlosti v obou směrech a jeho vliv na bezpečnost účastníků silničního provozu na pozemní komunikaci. Dále zde bude zmíněna a detailněji rozebrána přestavba na okružní křižovatku.

2.1 Radar

Zařízení pro měření rychlosti vozidel slouží k zvýšení bezpečnosti daného úseku tím, že zaznamenává řidiče překračující nejvyšší povolenou rychlost. Díky záznamům pak provozovatel měřicího zařízení může vyvodit důsledky na základě pořízené fotografie s registrační značkou. Tyto radary slouží ke zklidňování dopravy v problémových místech. Tyto místa mohou být tam, kde řidiči velmi často nedodrží nejvyšší povolenou rychlost a tím snižují bezpečnost úseku a mohou dokonce i negativně ovlivnit plynulost dopravy.

Vysoce efektivním nástrojem pro měření rychlosti je například dopplerovský měřič používaný jako měřicí zařízení pevné, mobilní, nebo také zabudované ve vozidlech. Pro tuto křižovatku by byl vhodný měřič rychlosti na stativu pro široký rozsah použití za libovolných světelných podmínek. Měřič je vyráběn například firmou RAMET a.s. s názvem radaru RAMER 10P, který je na obrázku 13. Měřič rychlosti zaznamenává fotografii vozidla, registrační značku, datum, čas a naměřenou rychlost u vozidel překračující nejvyšší povolenou rychlost v měřeném úseku a ukládá ji do databáze, kde je dále zpracována. (13)

Tato verze radarového měřiče rychlosti je variantou měřiče určeného pro pevnou zástavbu v místech, kde je trvalé nebezpečí překračování nejvyšší povolené rychlosti. Do těchto míst je na betonový základ připevněn sloup se skříní měřiče. Skříň měřiče tvoří jak ochranu před povětrnostními vlivy, tak i ochranu zařízení před vandaly. Skříň může být také opatřena kamuflážním krytem zadní strany. S tímto krytem nelze z vozidla rozeznat přední měřicí stranu od zadní strany, kde je tento kryt, který vypadá jako přední strana. (13)



Obrázek 13 Přístroj pro měření rychlosti RAMER 10P

Zdroj: (13)

Velkou výhodou této varianty je, že do skříně se používá měřicí blok včetně reflektoru blesku z radarového měřiče RAMER 10T. Radarový měřič rychlosti je složen z výměnného měřicího bloku a reflektoru blesku. Při použití této verze měřiče se zvyšuje variabilita zařízení, jelikož tento přístroj lze použít i na stativu jako přenosný, nebo ho lze vyjmout a přesunout do jiného měřicího místa. Tyto výměnné části je možno vidět na obrázku 14. Tím se mohou snížit i náklady na pořízení, jelikož lze pořídit více měřicích míst a pouze jeden výměnný měřicí modul, který je přemisťován mezi jednotlivými měřicími místy. Zbývající komponenty jsou pevně umístěny ve skříní na sloupu. Výška sloupu se určuje podle místa a způsobu měření (jeden nebo více jízdních pruhů, vzdálenost od vozovky). (13)



Obrázek 14 Přístroj pro měření rychlosti RAMER 10T

Zdroj: (13)

Vybrané technické parametry tohoto měřicího zařízení jsou uvedeny v tabulce 9 a ukazují, že tento přístroj je vhodný pro měření nejvyšší povolené rychlosti u řešené křižovatky, a to rychlost 70 km.h^{-1} . Jeden z nejdůležitějších parametrů je dosah měření. Ten se pohybuje ve volitelném rozmezí 20 až 60 metrů, což vyhovuje daným podmínkám v předpokládaném měřeném úseku.

Tabulka 9 Technické údaje měřiče rychlosti RAMER 10P

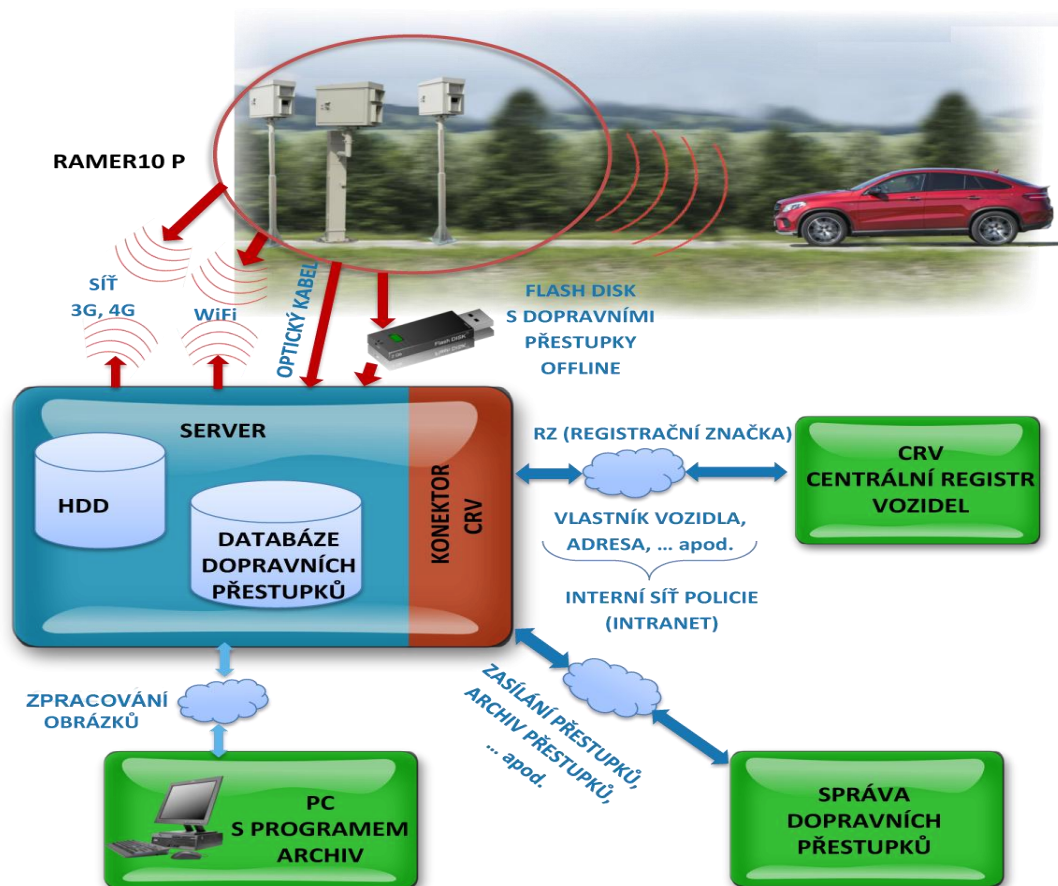
Technické parametry RAMER 10P	
Vysílací výkon	$2 \pm 1 \text{ mW}$
Šířka svazku antény	5°
Vysílací kmitočet	34,3GHz;34GHz;24GHz(24,0÷24,25GHz
Úroveň postranních smyček	min. - 20 dB
Způsob měřen	Příjezd, odjezd, oba směry
Maximální vzdálenost měřeného objektu	60 m (4 jízdní pruhy)
Volba dosahu měření (citlivost měřicí části)	60m; 30m; 20m;
Rozsah zaručované přesnosti měření rychlosti	20 km.h^{-1} až 250 km.h^{-1}
Rozlišitelnost měřené rychlosti	1 km.h^{-1}
Výstup změřeného údaje	Snímek na displeji
Maximální povolená chyba měření	Do $100 \text{ km.h}^{-1} \pm 3 \text{ km.h}^{-1}$ Nad $100 \text{ km.h}^{-1} \pm 3 \%$
Rozlišovací schopnost použitých kamer	> 1 mil. obrazových bodů dle typu kamery
Odebíraný proud	Maximálně 6A

Zdroj: (13)

Přednosti zařízení:

- 1) Plně automatický bezobslužný provoz,
- 2) univerzální blok RAMER 10P využitelný jak v základní sestavě na stativu, tak i ve skříni na sloupu,
- 3) otočením skříně lze zajistit měření v obou směrech,
- 4) sloup ukotven v betonové základně, čímž je zaručena dokonalá stabilita skříně,
- 5) přenos dat pro zpracování je prováděn on-line,
- 6) automatické rozpoznávání značek vozidel,
- 7) možnost dodat s klimatizací,
- 8) provedení skříně je vysoce odolné a dvouplášťové,
- 9) bezpečností sklo je odolné vůči útokům vandalů,
- 10) zabudovaná nabíječka baterií,
- 11) zadní strana skříně může být opatřena kamuflážním krytem, který vypadá stejně jako přední „měřicí“ strana,
- 12) možno opatřit alarmem signalizující nedovolenou činnost, pokusy o vniknutí či útok na zařízení,
- 13) lze měnit mezi několika skříněmi,
- 14) dvě varianty sloupů - pevný ocelový nebo stahovací pro snadnější manipulaci.(13)

Tento stacionární radarový měřič je možno zapojit do sítě a dálkově řídit. Princip řízení je vyobrazen na obrázku 15. Radarový měřič dokáže komunikovat se serverem třemi možnými způsoby, a to bezdrátovou WIFI sítí, mobilní sítí nebo optickým kabelem. Způsob přenosu může být použit podle dané situace a daných možností. Pokud není možnost měřicího zařízení propojit online se serverem, je možnost připojit přenosné zařízení (flash disk) k zařízení pomocí USB portu a data ze zařízení stáhnout. Pokud je zařízení propojeno online se serverem, tak server dále komunikuje s centrálním registrem vozidel pro zjištění majitele vozidla, který nedodržel nejvyšší povolenou rychlost daného úseku. Server dále komunikuje se správou dopravních přestupků, která řeší daný přestupek.



Obrázek 15 Princip dálkového řízení radarového měřiče

Zdroj: (13)

Cena zařízení a jeho montáž je vidět v tabulce 10. Cena byla stanovena pro kompletní montáž dvou kusů radarových měřičů, včetně potřebného softwaru a zaškolení obsluhy. Záruční servis po dobu 36 měsíců bude zajišťovat dodavatelská firma. Cena celé dodávky tohoto zařízení se pohybuje orientačně, podle dostupných materiálů získaných z podobných dodávek, kolem **2 506 271 Kč** s DPH. (14) Investor měřícího radarového systému může být samotný správce pozemní komunikace, anebo obec s rozšířenou působností. To je v tomto případě obec Vysoké Mýto. Výstavbu a provoz radarového zařízení musí ale schválit policie České republiky.

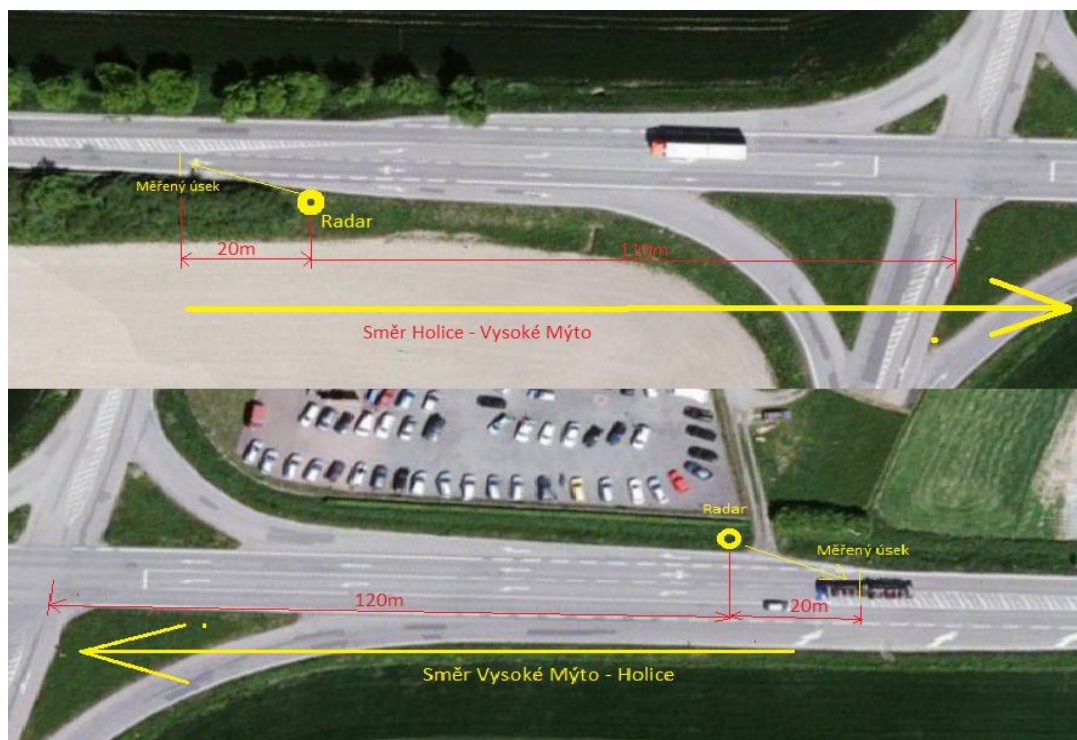
Tabulka 10 Ceník radaru a jeho montáž

Položka	Cena v Kč bez DPH	Cena v Kč s DPH
Radarový měřič rychlosti RAMER10 P 2 ks	1 290 000	1 560 900
Skříň RAMER10 P 2 ks	164 700	199 287
Stahovací sloup RAMER 10 P 2 ks	59 900	72 479
Příslušenství pro dálkový přenos 2 krát	42 800	51 788
Instalace, oživení, metodické ověření stanoviště 2 krát	32 560	39 398
Betonářské a výkopové práce 2 krát	35 258	42 662
Metrologické ověření na 3 roky	16 280	19 699
Příslušenství pro skříň (GPS)	4 200	5 082
Licence, software, zaškolení	425 600	514 976
Celkem v Kč	2 071 298	2 506 271

Zdroj: (14)

Radarové měřiče lze také pronajmout. Pronájem spočívá v dodání a montáži měřících zařízení, zajištění provozu a údržby. Pokud by bylo přistoupeno pouze k pronájmu tohoto zařízení, cena by se pohybovala, podle dostupných informací, přibližně kolem 700 000 Kč ročně. (15) Roční údržba dvou zařízení se pohybuje okolo 240 000 Kč. V ceně údržby je zahrnuto i obnovení licence, nové proškolení obsluhy a ověření stavu zařízení. Do ceny nejsou zahrnuty náklady na obsluhu a pracovníky zpracovávající informace vynaložených příslušným správním úřadem. Vysoké náklady na údržbu často vykompenzuje zisk z pokut, který bývá několikanásobně vyšší než vynaložené roční náklady na provoz. Toto měřící zařízení je v řešené křižovatce navrhované za účelem zklidnění provozu a tím zvýšení bezpečnosti úseku, proto zde ziskovost měřícího zařízení nebude uvedena, a nebude se započítávat do srovnání s ostatními návrhy na zvýšení bezpečnosti.

Tento radar by bylo vhodné umístit tak, aby měřil rychlost před rozdělením komunikace na odbočovací pruhy. Nejvhodnější umístění je znázorněno na obrázku 16. Měřený úsek by byl vzdálený 110 až 120 metrů od středu křižovatky. To je místo, kde by řidiči již měli jet nejvyšší povolenou rychlostí, a to 70 km.h^{-1} .



Obrázek 16 Umístění radaru

Zdroj: (17), (úprava Autor)

Cílem radarového měření nejvyšší povolené rychlosti 70 km.h^{-1} na komunikaci I/35 před křižovatkou pozemních komunikací I/35 a I/17 v obou směrech je dodržování nejvyšší povolené rychlosti. V tomto úseku je rychlost snížena z 90 km.h^{-1} na 70 km.h^{-1} , bohužel tato rychlost je řidiči nedodržována. Radar by v tomto případě mohl mít velký vliv na „neukázněné“ řidiče, kteří si navyknou, že tento úsek je neustále měřen. Tato skutečnost by mohla mít za následek dodržování nejvyšší povolené rychlosti téměř všemi řidiči. Měření tohoto úseku by mohlo vytvořit takový efekt, aby řidiči, pravidelně projíždějící tímto úsekem už automaticky snižovali svoji rychlost na nejvyšší a to 70 km.h^{-1} a tím by ovlivňovali i řidiče za nimi, kteří by byli nuceni reagovat na tuto skutečnost a upravit také svoji rychlost na nejvyšší povolenou v tomto úseku. Díky tomuto opatření by mělo dojít ke zklidnění provozu a tím ke zvýšení bezpečnosti křižovatky pozemních komunikací I/35 a I/17, protože velká část dopravních nehod na této křižovatce byla způsobena právě nedodržováním nejvyšší povolené rychlosti.

2.2 Vodorovné dopravní značení

Vodorovné dopravní značky jsou značky vyznačené na pozemní komunikaci, mohou být stálé nebo přechodné. Tyto značky jsou vyznačovány pomocí speciální barvy nebo jiným možným způsobem jako například pomocí fólie, dopravních knoflíků nebo dlažby. Vodorovné dopravní značení se pro zvýšení trvanlivosti a zvýšení noční viditelnosti provádí v retroreflexní úpravě. Pro zlepšení účinku mohou být doplněny dalšími retroreflexními prvky. (16)

Vodorovné dopravní značení může být také vyhotoveno ze speciální směsi, která zvyšuje hrubost vozovky a tím i adhezi pneumatik. Tím se dosáhne kratší brzdné dráhy vozidel. Tento materiál se používá na rizikových křižovatkách, jako je na obrázku 17, kde je přikázáno zastavení vozidel, nebo také na přechodech pro chodce.



Obrázek 17 Vodorovné dopravní značení křižovatek

Zdroj: (Autor)

Dopravní značení je důležitým prvkem pro silniční bezpečnost. Řidiče informuje, navádí a vymezuje na komunikaci prostor jim určený. To řidiči pomáhá vozidlo udržovat bezpečně na vozovce. Vodorovné dopravní značení oproti svislému značení má jednu velkou výhodu, je vyznačené přímo na vozovce v přímo zorném poli řidiče, přičemž nepředstavuje fyzickou překážkou v jízdě. Z toho také ale plyne jeho hlavní nevýhoda, je vystaveno značnému znečištění, a proto nemusí být vždy plně rozeznatelné, obzvláště v zimním období. (16) Vodorovné dopravní značení při velké intenzitě dopravy také velmi rychle ztrácí svoji životnost a stává se nečitelné, což je vidět na obrázku 18 pořízeného z jedoucího vozidla za normálních povětrnostních podmínek.



Obrázek 18 Vodorovné dopravní značení při velké intenzitě dopravy

Zdroj: (Autor)

Před křižovatkou pozemních komunikací I/35 a I/17 ze směru od Vysokého Mýta a ze směru od Holic je zhruba 250 metrový úsek s omezením nejvyšší povolené rychlosti na $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ svislou dopravní značkou. I přes zvýraznění značky retroreflexními prvky, může být přehlédnuta. Proto by bylo vhodné svislou dopravní značku doplnit **značením vodorovným** zobrazeným na obrázku 19 a to symbolem svislé dopravní značky omezující nejvyšší povolenou rychlost pro lepší viditelnost a tím i dodržení této rychlosti. Tím by se snížil počet vozidel překračující nevyšší povolenou rychlost a mělo by dojít ke zvýšení bezpečnosti na křižovatce.



Obrázek 19 Vodorovné dopravní značení omezující dovolenou rychlost.

Zdroj: (17), (úprava Autor)

Zhotovení tohoto dopravního značení by mohlo přispět k lepšímu zpozorování stávajícího svislého dopravního značení, které může být hůře viditelné například z důvodu vzrostlé vegetace před svislou dopravní značkou, nebo také jízdou za nákladním vozidlem či automobilem zamezující dobrý výhled a tím i viditelnost značky.

Symbol svislé dopravní značky omezující povolenou rychlost může být doplněn například **optickou psychologickou brzdou** vyobrazenou na obrázku 20. Optická psychologická brzda je tvořena několika svislými čarami. Jejich vzdálenost od sebe je postupně zkracována. Toto má za následek vyvolání dojmu vyšší rychlosti, než je skutečná. Tyto čáry jsou z hmoty nanesené na vozovku, jejíž výška převyšuje povrch vozovky. Tímto se dosáhne i akustického efektu po přejetí čáry. (18) Optická psychologická brzda se zvukovým efektem se používá pro upozornění před možným nebezpečím jako je například železniční přejezd, blížící se vjezd do obce nebo také náhlé snížení nejvyšší povolené rychlosti. Akustický efekt poté upozorní řidiče na možné nebezpečí a zvýší tím jeho pozornost.



Obrázek 20 Optická psychologická brzda

Zdroj: (19)

Dále by bylo vhodné upravit vozovku ze směru od Chrudimi a od Zámrsku výše zmiňovanou speciální barvou pro lepší brzdnu dráhu. Dále by bylo vhodné zvýraznit dopravní značku omezující nejvyšší povolenou rychlost v úsecích od Vysokého Mýta a od Holic nátěrem vodorovného dopravního značení stejného jako je svislá dopravní značka. Upozornění na toto omezení rychlosti by bylo vhodné také zvýraznit optickou psychologickou brzdou s akustickým efektem.

Přínosem tohoto opatření je snížení možnosti přehlédnutí omezení nejvyšší dovolené rychlosti řidičem přijíždějícím ke křižovatce po pozemní komunikaci I/35 z obou směrů. Nejvyšší dovolená rychlost, v našem případě $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, bude více dodržována a tím by měla být zvýšena bezpečnost na této křižovatce. Povinnost zastavení, příkazující značkou u vedlejších komunikací, by mělo být bezpečnější díky zvýraznění stopčáry a zvýšením hrubosti vozovky v kritickém místě.

Nevýhodou optické psychologické brzdy je již zmiňované značné opotřebenění při vyšší intenzitě provozu a zhoršená viditelnost v zimním období a za deště. Pořízení tohoto bezpečnostního opatření byla získána hrubým odhadem firmou Louvar s.r.o., která má sídlo v obci Skuteč, je možno vidět v tabulce 11. Životnost vodorovného dopravního značení závisí na intenzitě dopravy, z tohoto důvodu vyhotovitel deklaruje životnost 24 měsíců. (21)

Tabulka 11 Rozpočet pořízení psychologické brzdy

Položka	Cena za jednotku/ m²	Počet ks / m²	Cena v Kč
Značka 70	7 200	2	14 400
Optická brzda	38 000	2	76 000
STOP čára výplň	526	2 x 80	84 160
Ostatní práce	-	-	8000
CELKEM bez DPH			182 560
DPH 21%			38 337,6
CELKEM VČETNĚ DPH			220 897,6

Zdroj: (21)

2.3 Světelné signalizační zařízení

Světelná signalizační zařízení, které je vidět na obrázku 21, je zřizováno pro zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích nebo ke zlepšení plynulosti provozu. Průběh provozu na křižovatce je úzce spjat se stavebním uspořádáním křižovatky a navzájem se ovlivňují. Návrh stavebního uspořádání křižovatky a výpočet signálního plánu je tedy nutné posuzovat a provádět souběžně, přičemž je zapotřebí brát v úvahu oprávněné nároky všech účastníků provozu na pozemních komunikacích. (18)



Obrázek 21 Světelné signalizační zařízení

Zdroj: (20)

Způsoby řízení dopravy světelným signalizačním zařízením lze rozdělit na:

- **Řízení pevné,**
- **řízení dynamické.**

Principem **pevného řízení** provozu je neměnné řízení v daném časovém období. Toto řízení provozu předpokládá ustálenou intenzitu provozu vozidel pouze s dlouhodobými změnami, neboť při tomto způsobu řízení není reagováno na krátkodobé výkyvy intenzity provozu. (18)

Dynamické řízení provozu, je charakterizováno přizpůsobováním se provozu tak, že i krátkodobé výkyvy intenzity provozu ovlivňují řízení světelného signalizačního zařízení. Tento způsob řízení provozu vyžaduje o něco vyšší technické náklady než při použití řízení pevného s ohledem na zpracování údajů, které charakterizují danou dopravní situaci. Je realizován pružnou úpravou signálních plánů v reálném čase. Počet potřebných měřících míst v podstatě odpovídá počtu řízených řadicích pruhů, přičemž intervaly měření a dotazování jsou krátké (sekundy). Prvky obou způsobů řízení, pevného i dynamického, lze kombinovat. (18)

Z důvodu velké intenzity dopravy na hlavní trase Vysoké Mýto – Holice bude uvažováno o dynamickém způsobu řízení světelného signalizačního zařízení. Systém rozpoznání kolony vozidel bude zajišťovat kamerový systém ve všech směrech. Snímací kamery systému budou monitorovat tvorbu kolon ve všech směrech a posílat informace do řídicího modulu řadiče signalizace. Tento systém počítá s tím, že pokud se nebude nacházet žádné vozidlo na pozemní vedlejší komunikaci ze směru Chrudim a ze směru od obce Zámorsk, bude nepřetržitě svítit na signalizačním zařízení nacházející se na hlavní pozemní komunikaci I/35 signál „volno“. Po příjezdu vozidla do křižovatky z vedlejší komunikace se řízení křižovatky bude řídit podle signálního plánu křižovatky.

Po dobu záruky bude zařízení udržovat zhotovitel. Cena pro dodávku a instalaci kompletního zařízení včetně projektových a přípravných prací a svislého vodorovného značení k této křižovatce je stanovena v tabulce 12. Cena byla stanovena firmou SWARCO TRAFFIC CZ s.r.o. přímo na řešenou křižovatku. Podrobně rozepsaný ceník světelného signalizačního zařízení je vidět v příloze B.

Tabulka 12 Ceník světelného signalizačního zařízení

Položka	Cena v Kč
Projektové a přípravné práce	240 000,00
Rozpočtové náklady signalizačního zařízení	1 484 474,00
Ostatní náklady	645 260,00
Inženýrské výkony	61 000,00
NÁKLADY CELKEM BEZ DPH	2 430 734,00
DPH 21 %	510 454,14
NÁKLADY CELKEM VČETNĚ 21 % DPH	2 941 188,14

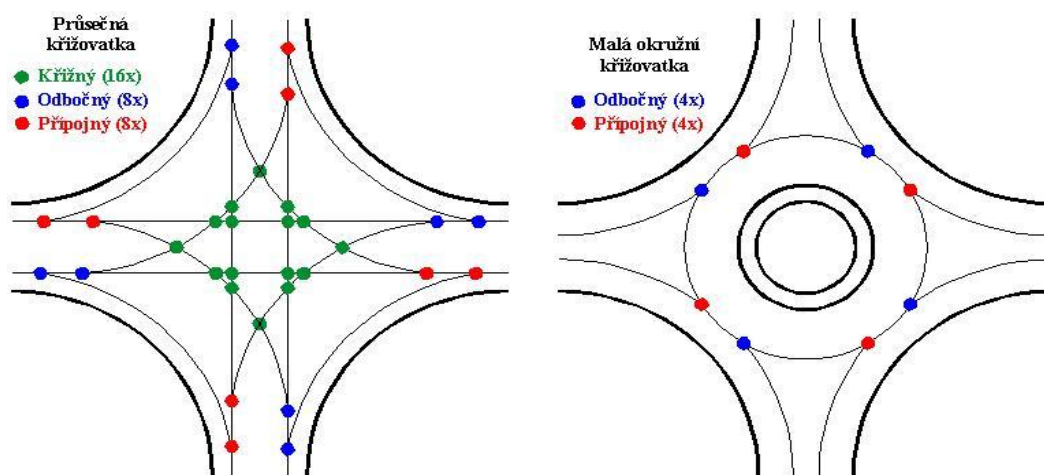
Zdroj: (22)

Přínosem řízení křižovatky pozemních komunikací I/35 a I/17 světelným signalizačním zařízením je zvýšení bezpečnosti provozu při průjezdu křižovatkou. Dojde ke snížení počtu nehod způsobených nedáním přednosti v jízdě při vjezdu do křižovatky z vedlejší pozemní komunikace. Vozidla jedoucí rovně nebo odbočující vlevo z vedlejší komunikace ze směru od Chrudimi nebo Zámorsku budou mít tak bezpečnější průjezd křižovatkou. Vozidla projíždějící rovně nebudou muset dávat přednost žádným dopravním

proudům, zatímco u původní neřízené křižovatky musejí vozidla dávat přednost 4 dopravním proudům. Odbočující vlevo z vedlejší komunikace budou muset dávat přednost pouze vozidlům projíždějícím rovně z protějšího směru, u stávající neřízené křižovatky vozidla musejí dávat přednost 5 dopravním proudům vozidel, což způsobuje veliké obtíže.

2.4 Výstavba okružní křižovatky

Okružní křižovatka je zvláštní typ úrovněho křížení pozemních komunikací. Tato křižovatka je jiná v tom, že při vjezdu i při výjezdu se připouští pouze odbočení vpravo. Tím je zapříčiněn nucený objezd středového ostrůvku po okružním pásu. Dochází také ke zredukování kolizních bodů, které vznikají u „normální“ úrovně křižovatky křížením dopravních proudů z důvodu odbočení. Kolizní body na obrázku 22 jsou body křížné, přípojné a odbočné. Nejnebezpečnější body jsou křížné, které jednopruhová okružní křižovatka takřka vylučuje. Stávající průsečná křižovatka má celkem 32 kolizních bodů, 16 křížných, 8 odbočných a 8 přípojných, zatímco okružní křižovatka jich umožňuje pouze 8 a to 4 odbočné a 4 přípojné. Toto pravidlo platí pouze pro jednopruhové okružní křižovatky. Například u dvoupruhové okružní křižovatky počet kolizních bodů stoupá opět na 32. Tento fakt je zapříčiněn možností průpletu vozidel mezi pruhy. (23)



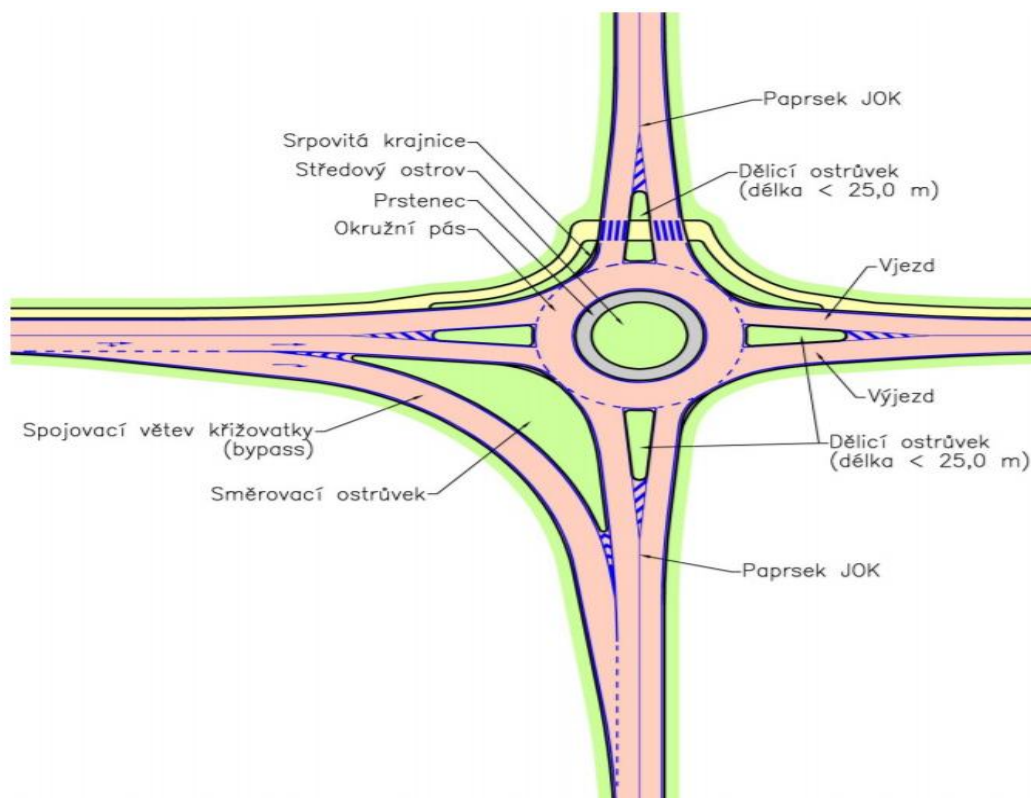
Obrázek 22 Kolizní body

Zdroj: (25)

Jednopruhová okružní křižovatka

Je úroňová křižovatka s jedním pruhem na vjezdech, okružním pásu a výjezdech. Okružní pás se navrhuje s minimálním průměrem 23 m. Tento rozměr je závislý na počtu připojených paprsků a také na možnostech připojení komunikací na okružní pás. Jednopruhová okružní křižovatka umožňuje osobním, nákladním automobilům a autobusům projetí křižovatky po okružním pásu. Návěsové a přívěsové soupravy pro průjezd využijí prstenec a srpovitou krajnici vyobrazené na obrázku 23, který je převážně zhotoven z velkých kostek vyrobených z žuly. Ve středovém ostrově by neměly být pevné překážky snižující bezpečnost křižovatky. Měl by být také zvýšen nejméně o 1 metr. Tyto křižovatky se navrhují na pozemních komunikacích za účelem snížení jízdní rychlosti, zklidnění dopravy a hlavně zvýšení bezpečnosti silničního provozu.(27) Zároveň je možné tyto křižovatky použít pro zvýšení kapacity oproti stávajícím úroňovým křižovatkám s neřízeným provozem.

Výstavbou jednopruhových okružních křižovatek se zabývají technické podmínky Ministerstva dopravy TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích v platném znění s vazbou na českou státní normu ČSN 73 6102, kde jsou veškerá nařízení a potřebné informace pro zhotovení okružní křižovatky.(27)



Obrázek 23 Jednopruhová okružní křižovatka

Zdroj: (27)

Na tomto úroňovém křížení pozemních komunikací I/35 a I/17 je uvažován vnější průměr okružní křižovatky 42 m. Tento průměr umožní přestavbu stávající křižovatky na okružní jednopruhovou křižovatku, aniž by se muselo těleso křižovatky rozšířit. Nebude se muset přistoupit k odkoupení okolních pozemků, tím se i výrazně sníží náklady na výstavbu a potřebný čas na zahájení výstavby. Středový ostrov by bylo vhodné zhotovit z takového materiálu, který je snadno rozebíratelný, pro umožnění bezproblémového projetí například nadrozměrného nákladu bez většího zásahu do infrastruktury křižovatky. Dělicí ostrůvky jsou uvažovány v délce 25 m mezi všemi vjezdovými a výjezdovými pruhy. Další parametry křižovatky vychází z tabulky 11, dle TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích v platném znění. Tabulka 13 ukazuje doporučené šířkové uspořádání jednopruhové okružní křižovatky v závislosti na jejím průměru. Šířka okružního pásu je doporučována 5 m a šířka prstence 1,1 m. Průměr středového ostrova je 29,8 m. (27)

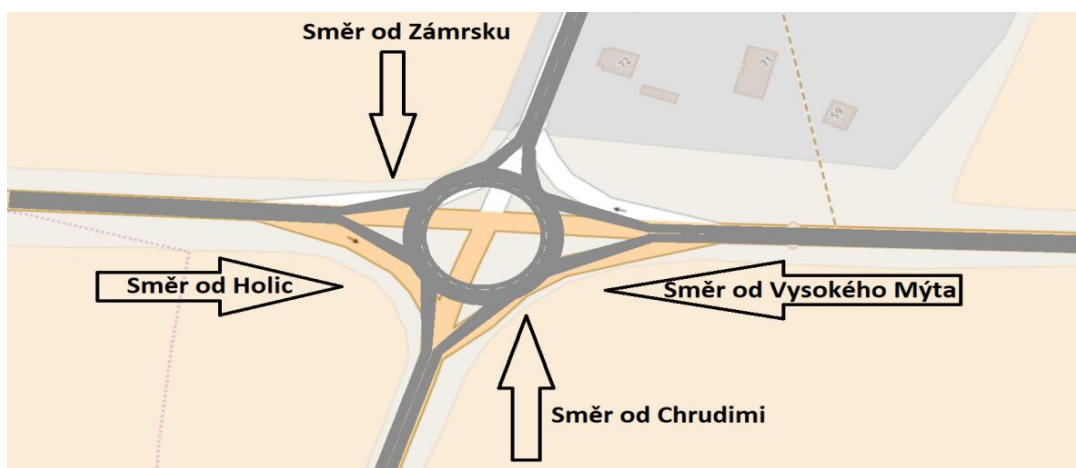
Tabulka 13 Minimální rozměry jednopruhové okružní křižovatky

Vnější průměr	Šířka okružního pásu	Šířka prstence	Průměr středového ostrova
40	5,10	1,20	27,4
42	5,00	1,1	29,8
44	4,9	1,0	32,2
46	4,8	1,0	34,4

Zdroj: (27)

Na navrhované křižovatce, pro lepší průjezd nákladních vozidel, bude uvažována šířka okružního pásu 6 m, šířka středového prstence 2 m a průměr středového ostrova 26 m. Tyto rozměry umožní snazší průjezd křižovatkou přívěsovým a návěsovým soupravám. Ostatní parametry okružní křižovatky jako například vjezdové a výjezdové poloměry budou stanoveny dle specifikací investora, nebo v projektové studii.

Okružní křižovatka je vyobrazena na obrázku 24, kde je vidět, že tato křižovatka zapadá do tělesa původní křižovatky. Tím jsou vyřešeny problémy a finanční náročnost s odkupem okolních pozemků. Tato okružní křižovatka by mohla mít i spojovací větev (bypass) ze směru od Vysokého Mýta do Zámrsku, nebo ze směru od Holic do Chrudimi, aniž by přesahovala těleso stávající křižovatky. Z důvodu malé intenzity směru Vysoké Mýto – Zámorsk spojovací větev nebyla uvažována. Vhodná spojovací větev by byla ve směru Holice – Chrudim. Možnost výstavby této spojovací větve bude záležet na zadavateli zakázky, proto zde bude uvedena okružní křižovatka bez spojovací větve.



Obrázek 24 Návrh okružní křižovatky

Zdroj: (26), (úprava Autor)

Dále bude uvažována délka dělicích ostrůvků 25 m. V okružní křižovatce bude zanechána stávající spojovací větev Vysoké Mýto – Zámorsk. Dosahovaná rychlost v_1 , při průjezdu okružní křižovatkou, nesmí přesáhnout 35 km.h⁻¹ a zároveň by neměla klesnout pod 20 km/h. Tuto rychlost vypočítáme podle vzorce 2 dosahovaná rychlost na okružním páse. (27)

$$v_1 = 3,6 * \sqrt{g * R * f} \quad [km/h] \quad (2)$$

$$v_1 = 3,6 * \sqrt{9,81 * 21 * 0,40}$$

$$v_1 = 32,68 [km.h^{-1}]$$

Kde:

g gravitační zrychlení [m/s²]

R poloměr kružnicové dráhy [m]

fkoeficient příčného tření, $f = 0,40$ [-]

Dosahovaná rychlost na navrhované okružní křižovatce dosahuje téměř 33 km.h^{-1} , což je dostatečně vysoká rychlost, ale zároveň nepřesahuje maximální rychlost 35 km.h^{-1} .

Cena

Cena výstavby okružní křižovatky byla získána hrubým odhadem od stavební firmy Louvar s.r.o. Přesná cena okružní křižovatky by závisela na požadavcích investora, jako například čím bude zhotovený středový ostrůvek. Z tabulky 14 je vidět, že výstavba okružní křižovatky je nejnákladnější z probíraných návrhů. (21) Celková částka okružní křižovatky se pohybuje okolo 14 milionů.

Tabulka 14 Položky ceny za výstavbu okružní křižovatky

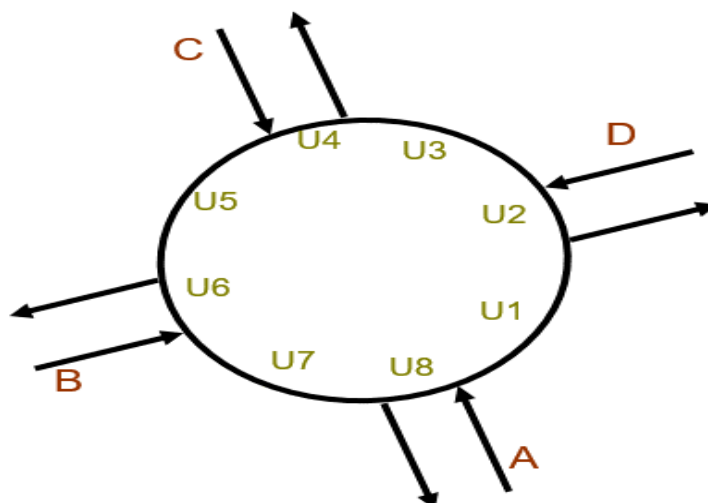
Položka	Cena v Kč
Projektové a přípravné práce	1 135 460
Rozpočtové náklady okružní křižovatka	7 023 167
Ostatní náklady	3 052 778
Inženýrské výkony	288 595
NÁKLADY CELKEM BEZ DPH	11 500 000
DPH 21 %	2 415 000
NÁKLADY CELKEM VČETNĚ 21 % DPH	13 915 000

Zdroj: (21)

Kapacita okružní křižovatky

Kapacita okružní křižovatky byla vypočítána stejnou metodikou popsanou v kapitole 1.4. Protože nejsou přesně stanoveny parametry křižovatky potřebné pro výpočet, byly použity mezní hodnoty poloměru vjezdu, výjezdu a vzdálenosti mezi kolizními body pro dosažení maximální a minimální možné kapacity. Díky vnějšímu poloměru křižovatky 42 m se budou skutečné hodnoty kapacity okružní křižovatky pohybovat blíže k maximálním hodnotám vypočítané s maximálními mezními hodnotami. (12) Výpočtové tabulky jsou v příloze C.

Jednotlivé směry byly označeny písmeny A až D a následně byla křižovatka rozdělena do úseků U1 až U2. Tyto úseky udávají, kolik vozidel jimi projede při samotném průjezdu okružní křižovatkou. Rozdělení křižovatky je patrné na obrázku 25.



Obrázek 25 Rozdělení křižovatky

Zdroj: (12)

Tabulka 15 ukazuje vypočítané hodnoty maximální kapacity vjezdů. Je vidět, že nejhorší úroveň kvality dosáhl paprsek A ze směru od Vysokého Mýta. Zde se mohou tvořit fronty až téměř 53 metrů, což odpovídá zhruba devíti osobním vozidlům i s odstupy mezi nimi. Střední doba zdržení je v tomto směru 25 sekund, to odpovídá úrovni kvality dopravy C.

Tabulka 15 Maximální kapacita vjezdů

Paprsek	Název komunikace	Vozidla s předností [pvoz/h]	Intenzita vozidel [pvoz/h]	Kapacita [pvoz/h]	Rezerva kapacity [pvoz/h]	Střední doba zdržení [s]	Délka fronty [m]	UKD [-]
A	Vysoké Mýto	156	1136	1247,755	111,7545	26	52,70527	C
B	Chrudim	580	313	887,1039	574,1039	5	3,264996	A
C	Zámorsk	1060	50	498,2396	448,2396	8	0,668952	A
D	Holice	364	806	1068,782	262,7822	12	17,99243	B

Zdroj: (Autor)

Kapacita výjezdů u této křižovatky je plně dostačující. V tabulce 16 je vidět, že v žádném směru nebyla překročena kapacita o více než 54 %.

Tabulka 16 Maximální kapacita výjezdů

Paprsek	Název komunikace	Intenzita vozidel [pvoz/h]	Kapacita [pvoz/h]	Stupeň vytížení [-]	Kapacita vyhovuje Ano/Ne
A	Vysoké Mýto	800	1500	0,533	Ano
B	Chrudim	643	1500	0,429	Ano
C	Zámorsk	806	1500	0,537	Ano
D	Holice	56	1500	0,037	Ano

Zdroj: (Autor)

Pokud by byly mezní hodnoty poloměrů vjezdu, výjezdu a délky kolizních bodů minimální, což je vidět v tabulce 17. Kapacita okružní křižovatky by byla nedostatečná ze směru od Vysokého Mýta, kde tento směr nemá dostatečnou kapacitu a tím i úroveň kvality kategorie F. Tím by se zde tvořily fronty o délce až 407 metrů, což odpovídá téměř 68 osobních vozidel. U tohoto směru nelze určit střední dobu zdržení, protože minusové hodnoty rezervy kapacity nelze jednoznačně určit odečtením z grafu dle TP 188 Posuzování kapacity neřízených úrovnových křižovatek v platném znění, protože tyto hodnoty přesahují stanovený rozsah grafu. (12) Směr od Holic v tomto případě má hodnotu úrovně kvality E. Tato úroveň je nedostačující, protože je to pozemní komunikace I. třídy, která má minimální požadavek na hodnotu úrovně kvality C.

Tabulka 17 Minimální kapacita vjezdů

Paprsek	Název komunikace	Vozidla s předností [pvoz/h]	Intenzita vozidel [pvoz/h]	Kapacita [pvoz/h]	Rezerva kapacity [pvoz/h]	Střední doba zdržení [s]	Délka fronty [m]	UKD [-]
A	Vysoké Mýto	156	1136	1017	-119	Rez < 0	407,21	F
B	Chrudim	580	313	670	357	9	5,23	A
C	Zámorsk	1060	50	345	295	11	1	B
D	Holice	364	806	839	33	65	80,72	E

Zdroj: (Autor)

Kapacita výjezdů při použití minimálních hodnot poloměrů vjezdu, výjezdu a délek kolizních bodů by byla i nadále dostatečná. V tabulce 18 je vidět, že stupeň vytížení vjezdů nepřesáhne hodnotu 0,667, což je zhruba 67 %.

Tabulka 18 Minimální kapacita výjezdů

Paprsek	Název komunikace	I_e [pvoz/h]	Kapacita [pvoz/h]	Stupeň vytížení [-]	Kapacita vyhovuje? Ano/Ne
A	Vysoké Mýto	800	1500	0,667	Ano
B	Chrudim	643	1500	0,536	Ano
C	Zámorsk	806	1500	0,672	Ano
D	Holice	56	1500	0,037	Ano

Zdroj: (Autor)

V porovnání úrovně kvality stávající křižovatky s navrhovanou křižovatkou v tabulce 19, je jednoznačné zlepšení úrovně kvality dopravy v problematických směrech, a to směry od Zámorsku a od Chrudimi. V těchto směrech dochází ke zlepšení na úroveň A, což je střední doba zdržení řidičů do 10 sekund. Ve směru od Holic dochází ke zhoršení úrovně kvality na hodnotu B, která udává zdržení od 10 do 20 sekund. Zvýšení střední doby zdržení u tohoto směru je akceptovatelné, vzhledem k výraznému zlepšení celkové kvality křižovatky.

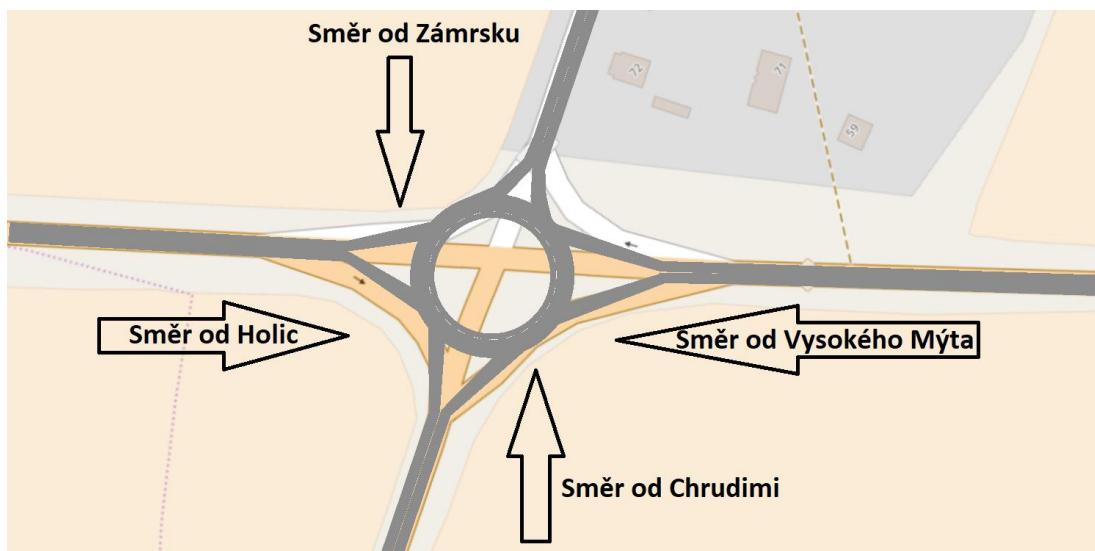
Tabulka 19 Porovnání úrovně kvality

Název komunikace	Okružní křižovatka	Stávající křižovatka
Vysoké Mýto	C	C
Chrudim	A	F
Zámrsk	A	F
Holice	B	A

Zdroj: (Autor)

Simulace provozu

Pro zjištění funkčnosti navrhované okružní křižovatky bude provedena mikrosimulace v programu PTV Vissim 10. V programu byla využita studentská verze, která byla k dispozici od společnosti PTV Group na základě žádosti. Tento program umožňuje vybrat potřebnou lokalitu z mapových podkladů a vytvořit podklad pro tvorbu infrastruktury modelu. V infrastruktuře byly vytvořeny linky a jednotlivé paprsky vjezdu a výjezdu z křižovatky. Tyto linky jsou směrově orientovány a tím definují i směr vozidel, kterým budou vozidla v simulaci jezdit. Dále byla vytvořena samotná jednopruhová okružní křižovatka se středovým prstencem navrhovaných parametrů. Modelovaná okružní křižovatka je znázorněna na obrázku 26. Zde je vidět, že tato křižovatka je vložena do tělesa stávající křižovatky.



Obrázek 26 Modelová okružní křižovatka

Zdroj: (26), (úprava Autor)

Dále byly vloženy vstupy vozidel pro jednotlivé směry vstupující do křižovatky. Intenzity vozidel byly vloženy jako 50ti rázové intenzity dopravy, které jsou vidět v tabulce 20.

Tabulka 20 Intenzity dopravních proudů

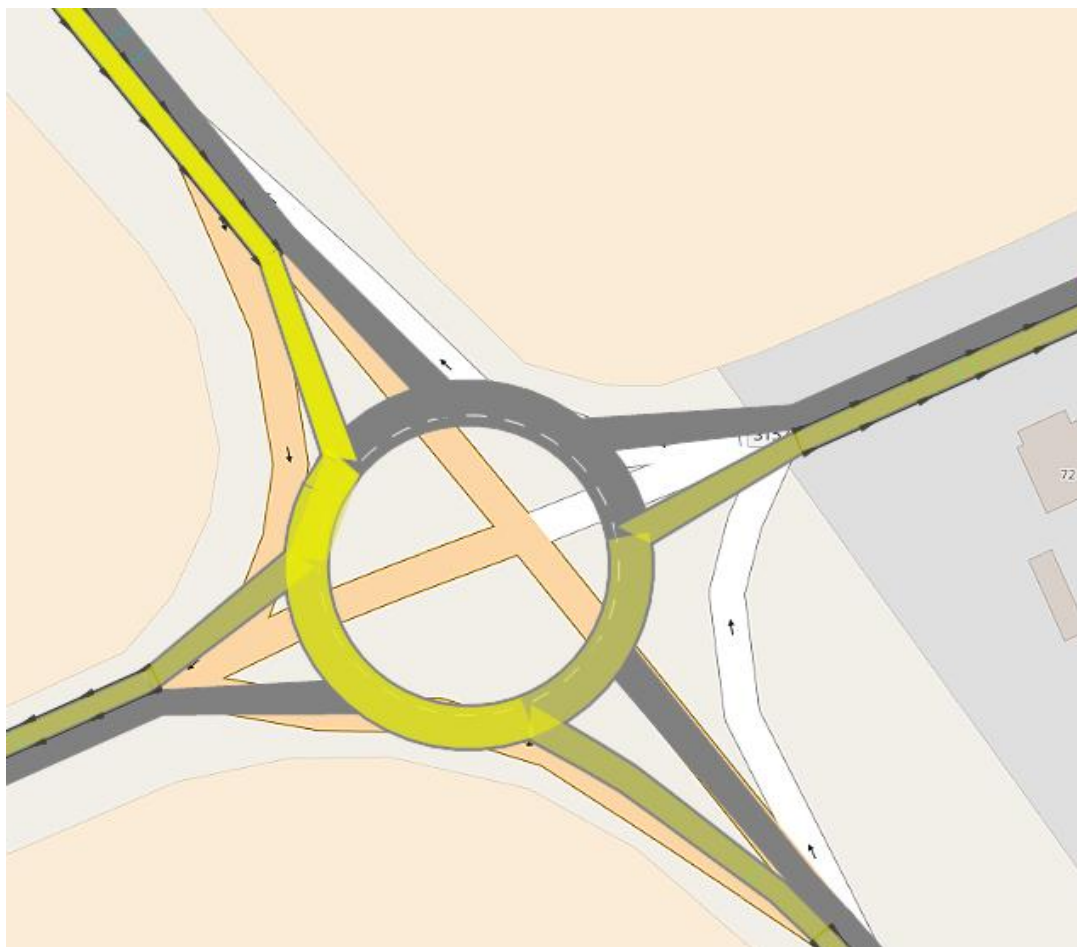
dopravní proud		vjezd	řadící pruh	Intenzita dopravního proudu [voz/h]
z	do			
Mýto	Zámorsk	A	1	22
	Holice		2	631
	Chrudim		3	483
Chrudim	Mýto	B	4	140
	Zámorsk		5	16
	Holice		6	157
Holice	Chrudim	C	7	145
	Mýto		8	643
	Zámorsk		9	18
Zámorsk	Holice	D	10	18
	Chrudim		11	15
	Mýto		12	17

Zdroj: (Autor)

V modelu byly použity tyto třídy vozidel:

- osobní automobily,
- autobusy,
- lehká nákladní vozidla,
- těžká nákladní vozidla.

Dále byly vytvořeny **cesty vozidel** vyobrazených na obrázku 27. Tyto cesty udávají trasu vozidel projíždějících křižovatkou. V programu PTV Vissim se dají jednotlivým trasám přiřadit, kolik procent vozidel v simulaci bude směřovat na jednotlivé trasy.(28) Z dostupných intenzit v tabulce 20 byly přepočítány jednotlivé dopravní proudy na procenta tak, aby se získaná data dala vložit do jednotlivých proudů v programu. Tím se dosáhlo toho, že program bude „posílat“ vozidla z určitého směru do předem zadaných tras tak, aby intenzity dopravních proudů souhlasily s reálnou situací. Trasy pro „otáčení“ vozidel v křižovatce nebudou zohledňovány pro přesnější výsledky, protože u původní křižovatky tento manévr nebyl možný.



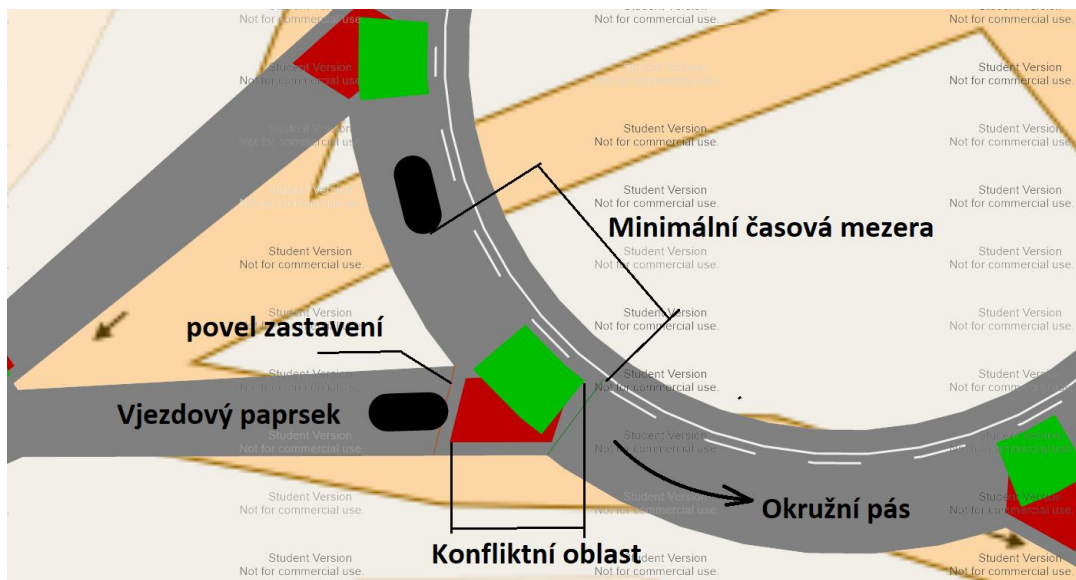
Obrázek 27 Cesty vozidel v modelové křižovatce

Zdroj: (26)

Následně byla **upravena maximální rychlost** na okružním pásu na výše vypočítaných $32,68 \text{ km.h}^{-1}$ ze vzorce 2. Tato hodnota vypočítané rychlosti byla použita i ve vjezdových paprscích křižovatky. Linkám směřovaným ke křižovatce byla omezena rychlost na 70 km.h^{-1} , což upravují zachované svislé značení na pozemní komunikaci I/35 z obou směrů a navrhované značení ze směru od Chrudimi. Ze směru od Zámrsku tuto rychlost zabezpečí nedaleká vesnice Nová Ves, jelikož vozidla vyjíždějící z této obce nebudou mít dostatečnou dráhu pro rozjezd na vyšší rychlost. Na výjezdových paprscích byla ponechána rychlost 90 km.h^{-1} .

Dalším krokem bylo **nastavení přednosti v jízdě**. Přednost v jízdě je vidět na obrázku 28, byla nastavena v souladu s pravidly silničního provozu (zelený směr má přednost před červeným). Při tomto kroku je nutné nastavit i důležitý parametr, a to minimální časové

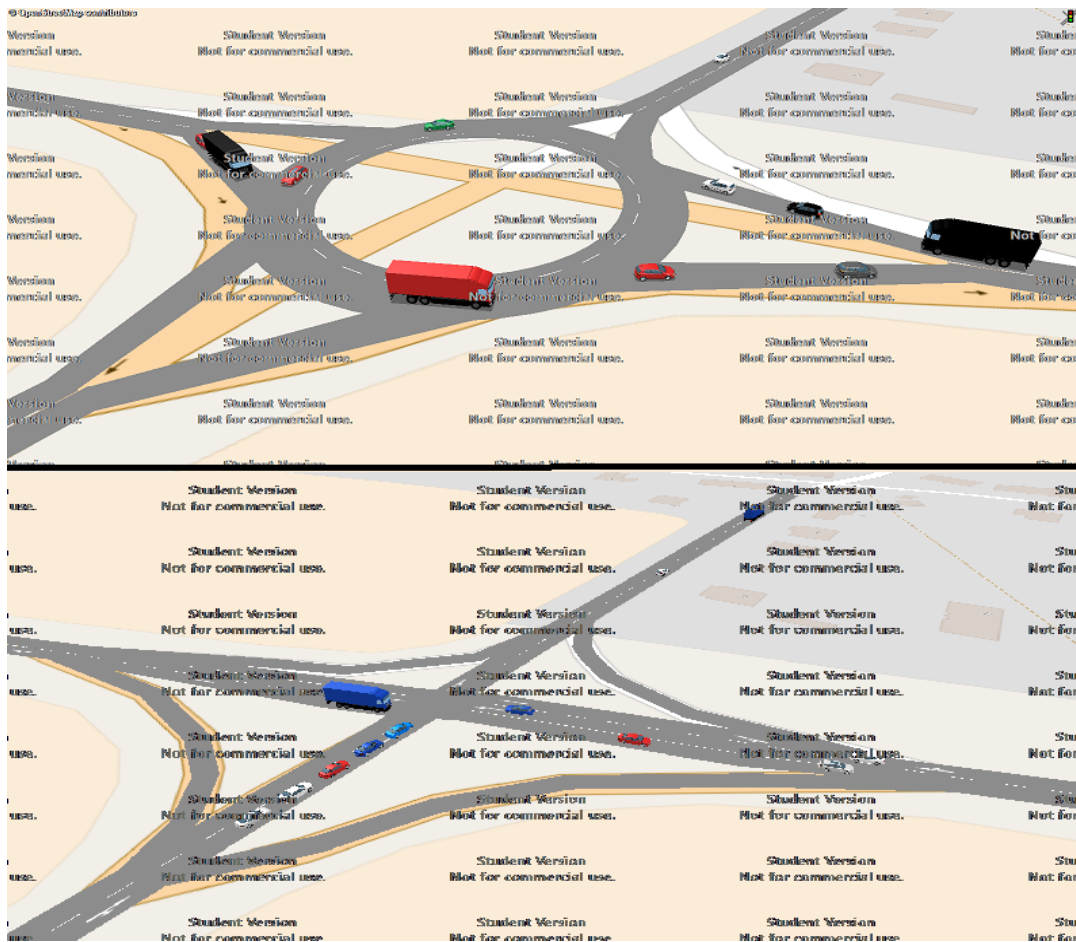
mezery.(28) Tato mezera udává čas, který má vozidlo přijíždějící do křižovatky na rozhodování, zda zastaví. Pro tento model byla zvolena mezera 4 sekundy.



Obrázek 28 Přednost v jízdě v modelové křižovatce

Zdroj: (26), (úprava Autor)

Aby bylo možné výsledky simulace porovnat, byla provedena i simulace stávající křižovatky za přesně stejných podmínek, jako byla provedena simulace okružní křižovatky. Výsledný model křižovatek je vidět na obrázku 29. Text částečně překrývající obrázek je z důvodu použití studentské licence programu, to však nemá vliv na samotnou simulaci. Simulace provozu světelného signalizačního zařízení s dynamickým řízením provozu tento program neumožňuje, proto zde nebude uveden. Program umožňuje pouze simulaci se statickým řízením dopravy, což není předmětem návrhu v kapitole 2.3.



Obrázek 29 Simulace křižovatek

Zdroj: (26)

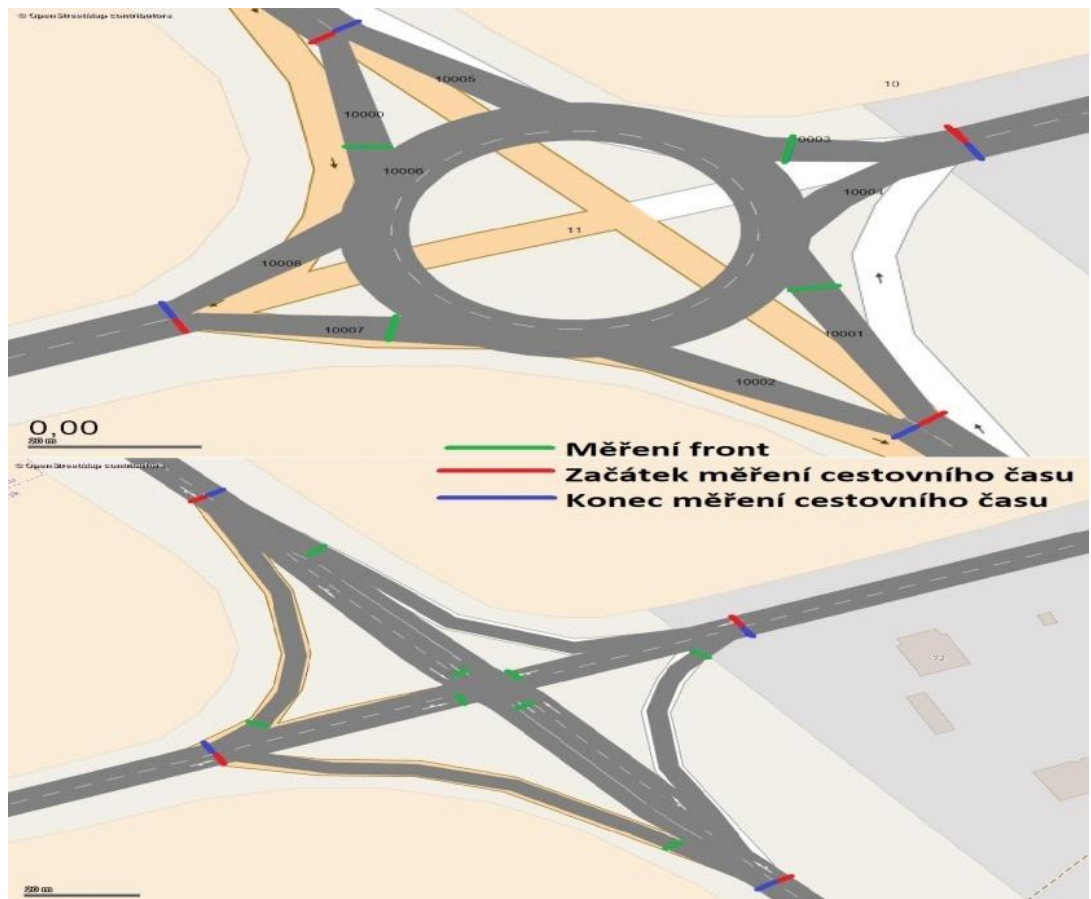
Výstupy simulace

Průběh simulace poměrně přesně představil reálnou situaci dopravního provozu. Model však počítá s absolutní slušností projíždějících řidičů a respektování časových mezer. To znamená, že v reálné situaci, část řidičů nebude respektovat maximální povolenou rychlost na okružním pásu. A části řidičů bude stačit menší časová mezera než 4 sekundy, které jsou nastaveny v modelu. Tato skutečnost způsobuje v simulaci větší zdržení než v reálném provozu.

Pro srovnání modelu bylo použito dvou měření, a to měření cestovního času a délce vytvořené kolony, vyobrazené na obrázku 30. Cestovní čas je založen na měření před vstupem do tělesa křižovatky a následným výstupem z křižovatky. Měřicí body byly umístěny na okružní křižovatce vždy na začátek vjezdového paprsku a na konec výjezdového paprsku. U původní křižovatky byly měřicí body umístěny před těleso křižovatky na místo, kde se napojují bypassy křižovatky na hlavní komunikace.

Měřicí body kolon u okružní křižovatky byly umístěny tam, kde v reálné situaci u těchto křižovatek začínají kolony, tzn. těsně před napojení vjezdových paprsků na okružní

pás. U původní křižovatky byly umístěny měřící body na hlavní komunikaci I/35 na odbočovací pruhy vlevo. Na směr od Chrudimi a Zámrsku byly měřící body umístěny před dopravní značku „STOP“. Odbočné bypassy pro odbočení vpravo byly bez vytvářejících se kolon a jejich hodnoty by byly nulové, proto zde nebudou uvedeny.



Obrázek 30 Měřící body

Zdroj: (26), (úprava Autor)

Výsledky uvedené v tabulkách 21 a 22 jsou průměrné hodnoty vytvořené z 10 provedených simulačních kol. U každého simulačního kola byla nastavena jiná hodnota Random seed v programu. Random seed mění hodnotu generátoru náhodných čísel. Při ponechání stejné veličiny by mělo za následek, že výsledné hodnoty by byly totožné. Při změně hodnoty random seed stochastická funkce v programu TPV Vissim přiřadí jiné sekvence hodnot a tím změní dopravní proud v modelu. Pro získání dobrých výsledků je potřeba provést více než jedno simulační kolo. V praxi se používá 10-20 simulačních kol s jiným Random seed. (28) Z tabulky 21 je vidět, že cestovní čas u okružní křižovatky

je téměř rovnoměrný ve všech směrech. Za to u původní křižovatky jsou cestovní časy rozdílné. Nejhůře dopadl směr od Chrudimi, kde cestovní čas tvoří téměř 76 sekund.

Tabulka 21 Cestovní doby

Směr	Okružní křižovatka		Původní křižovatka	
	vozidla	Cestovní čas (s)	vozidla	Cestovní čas (s)
Mýto - Holice	61	14,74	72	10,96
Mýto - Chrudim	36	21,40	31	14,13
Mýto - Zámorsk	13	12,17	13	6,32
Holice - Mýto	40	13,41	55	11,79
Holice - Chrudim	25	9,77	29	6,71
Holice - Zámorsk	12	15,00	8	13,50
Chrudim - Mýto	16	12,23	16	11,16
Chrudim - Holice	6	13,64	14	75,55
Chrudim - Zámorsk	16	15,58	3	62,69
Zámorsk - Holice	5	10,95	6	12,04
Zámorsk - Mýto	4	20,77	4	44,90
Zámorsk - Chrudim	5	16,32	5	33,70

Zdroj: (26), (úprava Autor)

Délky kolon jsou vidět v tabulce 22, kde nejhůře v simulaci původní křižovatky dopadl směr od Chrudimi, kde se tvořily fronty až 38 metrů, což odpovídá zhruba šesti osobním automobilům. V simulaci okružní křižovatky se kolony tvořily na hlavním tahu pozemní komunikace I/35, kde fronty dosahovaly délky téměř 20 metrů, což odpovídá zhruba 3 osobním vozidlům. Zde je vidět zlepšení v problémovém směru od Chrudimi oproti původní křižovatce.

Tabulka 22 Délka kolon

	Okružní křižovatka	Původní křižovatka
Směr	Délka kolony (m)	Délka kolony (m)
od Mýta	16,22	1,89
od Zámrsku	1,16	2,91
od Holic	19,51	0,68
od Chrudimi	1,36	38,28

Zdroj: (26), (úprava Autor)

3 ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ

K zjištění varianty s největším užitekem byla provedena multikriteriální analýza za použití metody párového srovnání pomocí Fullerova trojúhelníku. Metoda patří mezi nepřímé metody pro stanovení vah kritérií, protože nelze z předem dané stupnice přiřadit jednotlivým kritériím body. Proto se u této metody porovnávají jednotlivé kritéria mezi sebou. To znamená, že je zjišťován počet preferencí kritéria vůči všem ostatním. (24)

V tabulce 23 jsou stanovena kritéria. Jejich ohodnocení bylo stanoveno podle dostupných údajů a vyznačeny barevně položky s největšími dosaženými hodnotami. Dále bylo stanoveno u jednotlivých kritérií, zda minimalizována nebo maximalizována. U těchto zvolených kritérií bylo zvoleno jejich minimalizování.

Tabulka 23 Kritéria a jejich ohodnocení

Název kritéria	Cena (Kč)	Cena údržby (za rok)	Kolizní body	Doba výstavby (týden)
Vodorovné značení	220 898	110 449	32	1
Radar	2 506 271	240 000	32	4
Světelné signalizační zařízení	2 941 188	93 000	32	8
Okružní křižovatka	13 915 000	32 000	8	16
Číslo kritéria	1.	2.	3.	4.
MIN/MAX	MIN	MIN.	MIN	MIN.
Označení kritéria	v_1	v_2	v_3	v_4

Zdroj: (Autor)

Poté byl sestaven Fullerův trojúhelník párového srovnání v tabulce 24. V tomto trojúhelníku byly porovnány jednotlivé kritéria mezi sebou ve dvojicích. V každé dvojici bylo vybráno kritérium, které má větší preferenci oproti druhému. Kritéria s větší preferencí jsou označena v závorkách.

Tabulka 24 Fullerův trojúhelník párového srovnání

(1) 2	1 (3)	(1) 4
	2 (3)	(2) 4
		(3) 4

Zdroj: (Autor)

Nevýhodou párového srovnání je, že nejméně důležitý prvek dostane nulovou váhu. Tento problém lze odstranit tím, že navýšíme počet preferencí u každého kritéria o 1 a jmenovatele ve zlomku vah upravíme podle počtu již navýšených preferencí. Tím dostaneme upravenou váhu kritérií, která je vidět v tabulce 25. (24)

Tabulka 25 Upravená váha kritérií

Kritérium	Počet preferencí	Váha	Navýšení počtu preferencí	Upravená váha
v_1	2	1/3	3	0,3
v_2	1	1/6	2	0,2
v_3	3	1/2	4	0,4
v_4	0	0	1	0,1
Celkem	6	1	10	1

Zdroj: (Autor)

Následně byly váhy kritérií přepočítány na jednotlivé návrhy pomocí vzorce 3 pro minimalizaci a poté se vynásobí upravenou váhou kritéria. (24)

$$y'_{ij} = \frac{H_j - y_{ij}}{H_j - D_j} \quad [-] \quad (3)$$

Kde:

y'_{ij} užitek varianty X_i při hodnocení kritéria Y_j [-]

y_{ij} hodnoty vstupní kritériální matice [-]

H_j nejvyšší kritériální hodnota kritéria Y_j [-]

D_j nejnižší kritériální hodnota kritéria Y_j [-]

Po dosažení byla vytvořena tabulka 26, která ukazuje celkovou míru užitku jednotlivých návrhů. U ostatních návrhů počet kolizních bodů zůstává na původních 32.

Tabulka 26 Míra užitku návrhů

	Váha kritéria 1	Váha kritéria 2	Váha kritéria 3	Váha kritéria 4	
Návrh	0,3	0,2	0,4	0,1	Užitek
Vodorovné značení	0,300	0,125	0,000	0,100	0,525
Radar	0,250	0,000	0,000	0,080	0,330
Světelné signalizační zařízení	0,240	0,141	0,000	0,053	0,435
Okružní křižovatka	0,000	0,200	0,400	0,000	0,600

Zdroj: (Autor)

Z tabulky je patrné, že největší míru užitku má okružní křižovatka i přes její několika násobně větší cenu za realizaci, než mají ostatní návrhy. Tento výsledek je také způsoben tím, že okružní křižovatka redukuje počet kolizních bodů na 8. U ostatních návrhů počet kolizních bodů zůstává na původních 32. Z toho vyplývá, že jako nejvhodnější varianta pro zvýšení bezpečnosti na dané křižovatce, by byla výstavba jednopruhové okružní křižovatky. Mělo by být bráno v potaz, že projektové dokumentace, studie proveditelnosti a následná výběrová a schvalovací řízení jsou časově velmi náročné. Z tohoto důvodu by bylo vhodné nejprve obnovit a doplnit navrhované vodorovné značení, a zároveň s tím začít připravovat podklady pro celkovou výstavbu okružní křižovatky.

ZÁVĚR

Bylo zjištěno, že nejvíce dopravních nehod s následkem smrti bylo na křižovatce dopravních komunikací I/35 a I/ 17 u Nové Vsi v roce 2013.

Na vybraném kritickém úseku Pardubického kraje byla zhodnocena stávající ochranná opatření a navržena některá další, která by mohla přispět ke zmírnění rizikovosti tohoto úseku a zvýšení jeho bezpečnosti, jako například dopplerovský měřič rychlosti na stativu, který by mohl pomoci zajistit dodržování nejvyšší povolené rychlosti $70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, která je upravena vodorovnou dopravní značkou na pozemní komunikaci I/35 z obou stran křižovatky. I když tato varianta ochrany bezpečnosti bude patřit, podle dostupných informací, k těm středně finančně nákladným, přes to je možné, že vybírání pokut na tomto úseku by mohlo přispět k rychlé návratnosti vložené investice. Dalším vhodným opatřením ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu by mohlo být vodorovné dopravní značení upozorňující na snížení rychlosti v daném úseku a mohla by napomoci i optická psychologická brzda. Na této křižovatce by bylo možno dále využít i světelné signalizační zařízení, které by ovšem mohlo provoz způsobit nekontinuálním a mohlo by docházet k vytváření kongescí ve špičkách. Z výsledků multikriteriální analýzy za pomoci metody párového srovnání je patrné, že největší míru užítu má návrh na přestavbu na jednopruhovou okružní křižovatku, která redukuje kolizní body na 8 s tím, že nejnebezpečnější křižné body, úplně vylučuje.

Jako nejméně časově náročná varianta zvýšení bezpečnosti se jeví obnova a doplnění navrhovaného vodorovného značení, proto by bylo vhodné ji provést současně s přípravami na započetí výstavby okružní křižovatky.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) *Zákon č. 361/2000 Sb.*, o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, v platném znění
- (2) Ředitelství silnic a dálnic [online].[cit. 2017 -11-09]. Dostupné z:
<<https://www.rsd.cz/wps/portal/web/Silnice-a-dalnice/delky-a-dalsi-data-komunikaci>>
- (3) Striegler, R., Valentová, V., Vyskočilová, L., Novák, J., Frič, J. *Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2013. ISBN 978-80-86502-68-7.
- (4) *Bude silnice jako papoušek?* © 2001 - 2018 Copyright CZECH NEWS CENTER [online].[cit. 2018 -03-05]. Dostupné z:
<<http://svetmotoru.auto.cz/clanek/servis/5283/bezpecnostni-prvky-na-silnicich-bude-silnice-jako-papousek.html>>
- (5) *Policie České republiky* [online].[cit. 2017 -11-09]. Dostupné z: <<http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx>>
- (6) *VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, copyright © 2009* [online].[cit. 2018 -04-11]. Dostupné z: <<http://projekt150.ha-vel.cz/node/97>>
- (7) *Dálnice D35* [online].[cit. 2018 -04-09]. Dostupné z: <<http://www.dalnice-d35.cz/#vznik-a-historicky-vyvoj-dalnice-d35>>
- (8) *Statistické vyhodnocení nehodovosti v dané lokalitě* [online].[cit. 2018 -04-11]. Dostupné z: <<http://maps.jdvm.cz/cdv2/apps/nehodynalokalite/Search.aspx>>
- (9) *Mapy.cz* [online].[cit. 2017 -11-11]. Dostupné z: <<http://www.mapy.cz/>>
- (10) *Dopravní značení* [online].[cit. 2018 -03-20]. Dostupné z: <<http://www.dopravni-znaceni.eu/>>
- (11) *Celostátní sčítání dopravy 2016* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z:<<http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx>>
- (12) LEDVINOVÁ, Michaela. *Dopravní inženýrství: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-654-7
- (13) *RAMET a. s.* [online].[cit. 2017 -11-20]. Dostupné z: <<http://www.ramet.as/ramer10-p-1419322652>>
- (14) *Město Hlinsko* [online].[cit. 2017 -12-16]. Dostupné z:
<<https://stavebnionline.cz/Profily/profil.asp?Typ=2&ID=222&IDZak=6398>>

- (15) *Rozhlas Pardubice* [online]. [cit. 2017 -12-16]. Dostupné z:
<<https://pardubice.rozhlas.cz/na-ridice-u-chrudimske-nemocnice-dohlednou-usekove-radary-6487389>>
- (16) *HARDMAN UH a.s.* [online]. 2017 [cit. 2017 -12-13]. Dostupné z: <<http://www.hardmanuh.cz/>>
- (17) *Google mapy* [online]. 2015 [cit. 2017 -12-13]. Dostupné z: <<https://www.google.cz/maps>>
- (18) *Politika jakosti pozemních komunikací* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <<http://www.pjpk.cz/>>
- (19) *Blatrysk* [online]. [cit. 2017 -12-13]. Dostupné z: <http://www.blatrysk.cz/imgs/optickomechanicka%20brzda_5260.jpg>
- (20) *Pražský deník* [online]. [cit. 2017 -12-13]. Dostupné z: <https://prazsky.denik.cz/zpravy_region/misto-znacky-semafor-praha-7-navrhla-reseni-pro-dopravu-mezi-bohnicemi-a-trojou-20171006.html>
- (21) interní materiály firmy *Louvar s.r.o.* [cit. 2018 -04-25].
- (22) interní materiály firmy *SWARCO TRAFFIC CZ s.r.o.* [cit. 2018 -03-07].
- (23) Okružní křižovatky typy [online]. [cit. 2018 -04-18]. Dostupné z:
<<http://kds.vsb.cz/ord/okruzni-typy.htm>>
- (24) *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích* [online]. [cit. 2018 -04-25]. Dostupné z:
<<http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/tspp/data/teorie/Vicekritko.pdf>>
- (25) Okružní křižovatky kolizní body [online]. [cit. 2018 -04-18]. Dostupné z:
<<http://kds.vsb.cz/ord/okruzni-kolize.htm>>
- (26) *Program pro modelování dopravy PTV VISSIM 10 studentská licence* [cit. 2018 -04-18].
dostupné z: <<http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>>
- (27) TP 135- duben 2017 *Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích* [online]. [cit. 2018 -04-29]. Dostupné z:
<http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_135_2017.pdf>
- (28) *PTV VISSIM 7: USER MANUAL*, 1. vyd. Karlsruhe: PTV AG, 2014, 789 s.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Výpočetní tabulky kapacity stávající křižovatky

Příloha B Celková cena světelného signalizačního zařízení

Příloha C Výpočtové tabulky kapacity okružní křižovatky

Příloha A Výpočetní tabulky kapacity stávající křižovatky

Obrázek 1 Vstupy výpočtů

Název křižovatky:		Křižovatka pozemních komunikací I/35 a I/17					
Posuzovaný stav:							
Rychlost jízdy $v_{95\%}$ na hlavní komunikaci:		70					
Dopravní značení na vedlejší komunikaci							
vjezd B	Dej přednost v jízdě	Stůj, dej přednost v jízdě					
vjezd D	Dej přednost v jízdě	Stůj, dej přednost v jízdě					
Požadovaný stupeň UKD		Nejvyšší přípustná střední doba zdržení [s]					
na hlavní komunikaci I/36	C	na hlavní komunikaci I/36		30			
na vedlejší komunikaci I/17	C	na vedlejší komunikaci I/17		30			
na vedlejší komunikaci	E	na vedlejší komunikaci		45			
dopravní proud		vjezd	řadičí pruh				
z	do						
Mýto	Zámorsk	A	1				
	Holice		2				
	Chrudim		3				
Chrudim	Mýto	B	4				
	Zámorsk		5				
	Holice		6				
Holice	Chrudim	C	7				
	Mýto		8				
	Zámorsk		9				
Zámorsk	Holice	D	10				
	Chrudim		11				
	Mýto		12				

paprsek křižovatky	dopravní proud	C [voz/h]	M [voz/h]	OA [voz/h]	N [voz/h]	A [voz/h]	K [voz/h]	(skutečná) intenzita dopr. proudu [voz/h]	(zohledněná) intenzita dopr. proudu [pvoz/h]	nadřazené dopravní proudy	(skutečná) intenzita nadřazeného dopr. proudu [voz/h]
A	1			13	5			18	21		0
	2			549	48			597	621		0
	3			124	211			335	441	8 - červená, 7 - žlutá	674
B	4			77	37			114	133	dostatečně dlouhé připojení; kr	0
	5			9	4			13	15	1 - žlutá, 2, 3, 8, 9 - červená	1515
	6			87	41			128	149	2, 3, 8, 9, 11	1511
C	7			94	30			124	139		0
	8			418	132			550	616		0
	9			11	4			15	17	1, 2	615
D	10			14	2			16	17	dostatečně dlouhé připojení	0
	11			13	1			14	15	2, 3, 8, 9 - červená, 7 žlutá	1621
	12			13	2			15	16	2, 3, 5, 8, 9	1510

Dopravní proud	stupeň podřazenosti	(zohledněná) intenzita dopr. proudu [pvoz/h]	(skutečná) intenzita nadřazených dopr. proudu [voz/h]	základní kapacita G_n [pvoz/h]	t_n	t_n
3	II.	441	674	739	4,85	2,8
9	II.	17	615	752	4,87	2,6
4	II.	133	0	1161	5,46	3,1
10	II.	17	0	1161	5,46	3,1
5	III.	15	1515	113	6,92	3,9
11	III.	15	1621	98	6,92	3,9
6	IV.	149	1511	122	6,74	4,1
12	IV.	16	1510	122	6,74	4,1

$$G_n = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_n}{3600} \left(t_n - \frac{t_f}{2} \right)}$$

Obrázek 2 Výpočty

Kapacita řadičoho (úzdňního) pruhu podřazených proudů 2. stuňě				
Dopravní proud	kapacita C_n [pvoz/h]	stupeň vytižení a_n [-]	pravděpodobnost nevzdání proudu	
			$p_{0,n}$ [-]	$p_{1,n}$ [-]
3	739	0,596752368	0,403247832	0,399131062
9	752	0,022808383	0,977393817	
4	1161	0,114556417	0,885443583	
10	1161	0,01464255	0,98535745	

$C_n = G_n$ $a_n = \frac{I_n}{C_n}$ $p_{0,n} = \max \begin{cases} 1-a_n \\ 0 \end{cases}$ $p_{1,n}$ - součet příslušných $p_{1,n}(0,n)$

Kapacita pruhu podřazených proudů 3. stuňě				
Dopravní proud	kapacita C_n [pvoz/h]	stupeň vytižení a_n [-]	pravděpodobnost nevzdání proudu	
			$p_{0,n}$ [-]	$p_{1,n}$ [-]
5	44	0,340909091	0,659090909	0,327389619
11	38	0,394736842	0,605283158	0,318538879

$C_n = p_x \cdot G_n$ $p_{0,n} = \max \begin{cases} 1-a_n \\ 0 \end{cases}$ $p_{1,n} = \frac{1}{1 + \frac{1-p_{1,n}}{p_{1,n}} + \frac{1-p_{0,n}}{p_{0,n}}}$

Kapacita pruhu podřazených proudů 4. stuňě		
Dopravní proud	kapacita C_n [pvoz/h]	stupeň vytižení a_n [-]
6	23	6,47626087
12	28	0,6

$C_n = p_x(z, \text{příslDP}) \cdot p_x(0, \text{příslDP}) \cdot G_n$

dopravní proud	řadičí pruh	kapacita	rezerva kapacity	délka fronty	střední doba zdržení	UKD
z	do					
Mýto	Zámorsk	1	1800	1779	0	0
	Holice	2	1800	1179	0	0
	Chrudim	3	739	298	25,9	12
Chrudim	Mýto	4	45,0	-262	rez<0	F
	Zámorsk	5				
	Holice	6				
Holice	Chrudim	7	1800	1661	0	0
	Mýto	8	1800	1184	0	0
	Zámorsk	9	752	735	0,4	2
Zámorsk	Holice	10	1161	1144	0,3	2
	Chrudim	11	30	-1	10,2	rez<0
	Mýto	12			18,0	rez<0

$C_{k, \text{expres}} = \min \left(\frac{I_i + I_j + I_k}{\sqrt{(a_{0i} + a_{0j})^k + a_{0k}^{k+1} + a_{0k}^{k+1}}} \right)$ $lu = 25$
odmocnin. 5,166888887
čitatel 297
jmenovatel: 0,017193068
avk 15578,8442

$C_{\text{spot}} = \frac{\sum_{j=1}^m I_j}{\sum_{j=1}^m a_{0j}}$

$a_{0j} = \frac{I_j}{C_j}$

Příloha B Celková cena světelného signalizačního zařízení

Tabulka 1 Ceník světelného signalizačního zařízení

Projektové a přípravné práce:	Cena v Kč
Studie proveditelnosti SSZ	40 000,00
Projekt dopravního řešení	30 000,00
Projektová dokumentace	120 000,00
Projektová dokumentace skutečného provedení	10 000,00
Dokumentace VO	30 000,00
Autorský dozor	10 000,00
Celkem	240 000,00
Rozpočtové náklady světelného signalizačního zařízení:	
Zemní práce	
stavebně - montážní práce	300 000,00
zemní práce - materiál	30 000,00
Montážní práce	
montážní práce	118 422,00
montážní práce - podružný materiál	1 184,00
demontáže	
Technologie SSZ	954 868,00
Svislé a vodorovné značení	80 000,00
Stavební úpravy	
Celkem	1 484 474,00
Ostatní náklady:	
Vytýčení inženýrských sítí	10 000,00
DIO během stavby	40 000,00
Revize elektro	8 000,00
Komplexní zkoušky SSZ	15 000,00
Geodetická činnost	30 000,00
Doplnění svítidel veřejného osvětlení odhad - cca 10 ks	500 000,00
Uložení na skládku	
Doprava	29 500,00
Horizontální přesun materiálu	9 800,00
Provozní vlivy	2 960,00
Celkem	645 260,00
Inženýrské výkony:	
Kompletační činnost	12 000,00
Inženýrská činnost	49 000,00
Celkem	61 000,00
ROZPOČTOVÉ NÁKLADY CELKEM BEZ DPH	2 430 734,00
DPH 21 %	510 454,14
ROZPOČTOVÉ NÁKLADY CELKEM VČETNĚ 21 % DPH	2 941 188,14

Příloha C Výpočtové tabulky kapacity okružní křižovatky

Obrázek 1 Vstupy výpočtů

paprsek křižovatky	dopravní proud	OA [voz/h]	NA [voz/h]	(zohledněná) intenzita dopr.	(skutečná) intenzita dopr. proudu
A	1	13	5	22	18
	2	549	48	631	597
	3	124	211	483	335
B	4	77	37	140	114
	5	9	4	16	13
	6	87	41	157	128
C	7	94	30	145	124
	8	418	132	643	550
	9	11	4	18	15
D	10	14	2	18	16
	11	13	1	15	14
	12	13	2	17	15

úsek	z Vysokého Mýta			z Chrudimi			z Holic			ze Zámrsku			ΣU _i
	A → B	A → C	A → D	B → A	B → C	B → D	C → A	C → B	C → D	D → A	D → B	D → C	
U1	335	597	18		128	13			15				1106
U2	335	597			128								1060
U3	335	597			128					15	14	16	1105
U4	335									15	14		364
U5	335						550	124	15	15	14		1053
U6							550		15	15			580
U7				114	128	13	550		15	15			835
U8					128	13			15				156

Obrázek 2 Výpočty

Název křižovatky:	Okružní křižovtka pozemních komunikací I/35 a I/17															
Posuzovaný stav:																
Typ okružní křižovatky:	jednopruhová okružní křižovtka															
Vnější průměr křižovatky [m]:	42															
Vstupní parametry																
paprsek	název komunikace	požadovaný stupeň UKD	$t_{w,lim}$	poznámky												
A	Vysoké Mýto															
B	Chrudim															
C	Zámorsk															
D	Holice															
Geometrické parametry																
mezí hodnoty pro výpočty $R_i < 8\text{ m}$ $R_i > 16\text{ m}$ $b < 11\text{ m}$ $b > 20\text{ m}$ $R_e < 15\text{ m}$ $R_e > 30\text{ m}$																
paprsek	název komunikace	n_k [-]	n_i [-]	n_e [-]	typ vjezdu	R_i [m]	R_e [m]	b [m]	d_p [m]	Δ [s]	t_f [s]	t_f [s]	t_g [s]	t_g [s]	t_r [s]	t_r [s]
A	Vysoké Mýto	1	1	1	2	> 16 m	> 30 m	> 20 m	nejdou	2,1	3,1	2,6	4,5	3,6	3	2,4
B	Chrudim	1	1	1	2	> 16 m	> 30 m	> 20 m	nejdou	2,1	3,1	2,6	4,5	3,6	3	2,4
C	Zámorsk	1	1	1	2	> 16 m	> 30 m	> 20 m	nejdou	2,1	3,1	2,6	4,5	3,6	3	2,4
D	Holice	1	1	1	2	> 16 m	> 30 m	> 20 m	nejdou	2,1	3,1	2,6	4,5	3,6	3	2,4
Intenzita dopravy [pvoz/h]											následné odstupy při VJEZDU do OK		kritické mezery mezi vozidly, kterým se dává přednost při vjezdu		následné odstupy na VÝJEZDU z OK	
do z	název komunikace	Vysoké Mýto		Chrudim		Holice		Zámorsk		součet						
A	Vysoké Mýto	-		483		631		22		1136						
B	Chrudim	140		-		157		16		313						
C	Zámorsk	17		15		18		-		50						
D	Holice	643		145		-		18		806						
součet		800		643		806		56								
Kapacita vjezdů																
paprsek	název komunikace	l_k [pvoz/h]	l_i [pvoz/h]	C_i [pvoz/h]	Rez [pvoz/h]	t_w [s]	a_v [-]	$N_{95\%}$ [m]	UKD [-]	$C_i = 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_K}{n_K \cdot 3600}\right)^{n_K} \cdot \frac{n_i \cdot koef}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_K}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)}$						
A	Vysoké Mýto	156	1136	1247,755	111,755	26	0,91044	52,7053	C							
B	Chrudim	580	313	887,1039	574,104	5	0,35283	3,265	A							
C	Zámorsk	1060	50	498,2396	448,24	8	0,10035	0,66895	A							
D	Holice	364	806	1068,782	262,782	12	0,75413	17,9924	B							
Stanovená úroveň kvality dopravy na vjezdech okružní křižovatky																

Kapacita výjezdů							
paprsek	název komunikace	l_e [pvoz/h]	l_{ch} [pvoz/h]	C_e [pvoz/h]	a_v [-]	Kapacita vyhovuje? A/N	Poznámka
A	Vysoké Mýto	800	nejdou	1500	0,533	A	
B	Chrudim	643	nejdou	1500	0,429	A	
C	Zámorsk	806	nejdou	1500	0,537	A	
D	Holice	56	nejdou	1500	0,037	A	
Stanovená úroveň kvality dopravy na výjezdech okružní křižovatky							
$C_e = \frac{3600 \cdot n_e \cdot koef}{t_f}$							

Kapacita vjezdů minimální rozměry											
paprsek	název komunikace	l_k [pvoz/h]	l_i [pvoz/h]	C_i [pvoz/h]	Rez [pvoz/h]	t_w [s]	a_v [-]	$N_{95\%}$ [m]	UKD [-]	$C_i = 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_K}{n_K \cdot 3600}\right)^{n_K} \cdot \frac{n_i \cdot koef}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_K}{3600} \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)}$	
A	Vysoké Mýto	156	1136	1017	-119	26	1,11701	407,214	C		
B	Chrudim	580	313	670	357	5	0,46716	5,23492	A		
C	Zámorsk	1060	50	345	295	8	0,14493	1,01578	A		
D	Holice	364	806	839	33	12	0,96067	80,7238	B		
Stanovená úroveň kvality dopravy na vjezdech okružní křižovatky											

Kapacita výjezdů minimální rozměry											
paprsek	název komunikace	l_e [pvoz/h]	l_{ch} [pvoz/h]	C_e [pvoz/h]	a_v [-]	Kapacita vyhovuje? A/N	Poznámka	$C_e = \frac{3600 \cdot n_e \cdot koef}{t_f}$			
A	Vysoké Mýto	800	nejdou	1200	0,667	A					
B	Chrudim	643	nejdou	1200	0,536	A					
C	Zámorsk	806	nejdou	1200	0,672	A					
D	Holice	56	nejdou	1200	0,047	A					
Stanovená úroveň kvality dopravy na výjezdech okružní křižovatky											