

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Přemek Pakosta

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Metody ověřování fyzické průjezdnosti vozidel
na pozemních komunikacích**

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Přemek Pakosta
Osobní číslo: D18047
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: Dopravní stavitelství
Téma práce: Metody ověřování fyzické průjezdnosti vozidel na PK
Zadávající katedra: Katedra dopravního stavitelství

Zásady pro vypracování

Provedte analýzu metod ověřování fyzické průjezdnosti vozidel na pozemní komunikaci a shrňte současné legislativní a technické požadavky. První část bakalářské práce se zaměří na rešerši stávajících předpisů hodnocení fyzické průjezdnosti návrhovými směrodatnými vozidly, následně budou probrány automatizované SW metody a popř. alternativní metody posouzení pro zajištění BESIP. Druhá praktická část práce se zaměří na aplikaci vybraných metod ověření na vybraných úsezech pozemních komunikací.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových pruhů pozemních komunikací: TP 171 : schváleno MD ČR OPK pod č.j. 517/04-120-RS/1 ze dne 23.11.2004 s účinností od 1. prosince 2004. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2004.

ČSN 73 6101 – Projektování silnic a dálnic. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.

ČSN 73 6102 – Projektování křižovatek na pozemních komunikacích. ED. 2. Praha: Český normalizační institut, 2012.

Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel. HBH projekt spol. s r.o. a spol. Brno, 2015. ISBN 978-80-214-5308-1.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Lopour, Ph.D.**
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce: **26. října 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2022**

L.S.

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

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. října 2020

PROHLÁŠENÍ

Práci s názvem *Metody ověřování fyzické průjezdnosti vozidel na pozemních komunikacích* 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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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 této práce 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. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 04. 05. 2022

Přemek Pakosta v.r.

PODĚKOVÁNÍ

V této části bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Lopouroví, Ph.D. za věnovaný čas, odborné vedení práce a cenné rady při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat všem osloveným pracovníkům a odborníkům v oboru za jejich věnovaný čas, vstřícnost a ochotu mi poskytnout podklady nebo informace ke zpracování této bakalářské práce.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá problematikou fyzické průjezdnosti vozidel na pozemních komunikacích a dostupnými metodami pro její ověření. V úvodní teoretické části práce přibližuje a objasňuje účel vlečných křivek, jejich vznik a vývoj. Dále popisuje využití vlečných křivek při projektování pozemních komunikací a zkoumá jednotlivé přístupy některých zemí. Další kapitola se věnuje charakteristice metod, které je možné využít pro posouzení či ověření průjezdnosti vozidel. Experimentální část bakalářské práce se zaměřuje na porovnání dostupných simulačních programů mezi sebou a s referenčním předpisem TP 171. Druhá kapitola experimentální části se věnuje analýze průjezdu jízdnic souprav na vybraných křižovatkových úsecích v Pardubicích. Následně je provedena aplikace vybraného simulačního programu na tato místa a vyhodnocení úseků. Vyhodnocení je provedeno na základě výsledků vlečných křivek simulačního programu a získaných poznatků během pozorování chování vozidel v daných úsecích.

KLÍČOVÁ SLOVA

vlečná křivka, obalová křivka, směrodatné vozidlo, offtracking, průjezdnost vozidel, ověření průjezdnosti

TITLE

Methods of verifying the physical passability of vehicles on roads

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with the issue of physical passability of vehicles on roads and available methods for passability verification. In the introductory theoretical part of the work approaches and clarifies the purpose of swept paths, their origin and development. It also describes the use of swept paths in road design and examines the different approaches of some countries. The next chapter deals with the characteristics of methods that can be used to assess or verify the passability of vehicles. The experimental part of the bachelor's thesis focuses on the comparison of available simulation programs with each other and with the reference regulation TP 171. The second chapter of the experimental part analyses the passage of articulated vehicles on selected crossroads sections in Pardubice. Subsequently, the application of the selected simulation program for these places and the evaluation of sections is performed. The evaluation is performed on the basis of the results of swept paths in the simulation program and the knowledge gained during the observation of vehicle behavior in the given sections.

KEYWORDS

swept path, wrapping curve, design vehicle, offtracking, vehicle passability, passability verification

OBSAH

ÚVOD	14
1 VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ	15
2 HISTORIE A VZNIK VLEČNÝCH KŘIVEK	20
3 REŠERŠE PŘEDPISŮ	21
3.1 Návrhová vozidla a jejich rozměry	21
3.2 Manévrovací schopnosti vozidel.....	23
3.3 Jízda v jízdnicích pruzích.....	23
3.4 Technické předpisy uplatňující vlečné křivky.....	24
4 PŘÍSTUPY K OVĚŘOVÁNÍ PRŮJEZDNOSTI NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH V JEDNOTLIVÝCH ZEMÍCH	25
4.1 Ověřování průjezdnosti – Česká republika	25
4.1.1 Směrodatná vozidla.....	25
4.1.2 Šablony směrodatných vozidel.....	26
4.2 Ověřování průjezdnosti – USA	28
4.2.1 Směrodatná vozidla.....	28
4.2.2 Šablony směrodatných vozidel.....	29
4.3 Ověřování průjezdnosti – Slovenská republika.....	29
4.3.1 Směrodatná vozidla.....	30
4.3.2 Šablony směrodatných vozidel.....	30
5 METODY OVĚŘOVÁNÍ PRŮJEZDNOSTI	31
5.1 Observační metoda.....	31
5.2 Experimentální metoda	31
5.3 Simulační metoda.....	32
5.3.1 Simulační programy	34
6 POROVNÁNÍ VLEČNÝCH KŘIVEK	38
6.1 Porovnání vlečných křivek simulačních programů s šablonou TP 171	38
6.2 Porovnání simulačních programů.....	40
7 APLIKACE SOFTWARE A OVĚŘENÍ PRŮJEZDNOSTI NA PK	41
7.1 Širší vztahy analyzovaných lokalit.....	42
7.2 Lokalita 1 - přípojovací větev na silnici I/37 z ulice Legionářská	43
7.2.1 Stávající stavebně-technické parametry	43
7.2.2 Analýza průjezdu nákladních vozidel	45
7.2.3 Ověření průjezdnosti simulačním programem a vyhodnocení úseku.....	46
7.3 Lokalita 2 – křižovatka ulic Palackého třída a Hlaváčova – odbočovací pruh	47
7.3.1 Stávající stavebně-technické parametry	48

7.3.2	Analýza průjezdu nákladních vozidel	49
7.3.3	Ověření průjezdnosti simulačním programem a vyhodnocení úseku.....	51
7.4	Lokalita 3 – Okružní křižovatka.....	52
7.4.1	Stávající stavebně-technické parametry	53
7.4.2	Analýza průjezdu nákladních vozidel	53
7.4.3	Ověření průjezdnosti simulačním programem a vyhodnocení úseků.....	56
ZÁVĚR		59
POUŽITÁ LITERATURA		61
SEZNAM PŘÍLOH		

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Vlečná křivka vozidla [2]	15
Obrázek 2 – Rozměrové charakteristiky směrodatného vozidla [1]	16
Obrázek 3 – Průjezd vozidla směrovým obloukem [2].....	16
Obrázek 4 – Schématický řez PK s bezpečnostním odstupem (b_{ovk}) mezi vozidly [2]	18
Obrázek 5 – Kruh manévrování a vybočení zádi za ustáleného stavu [15]	23
Obrázek 6 – Průjezd vozidel úrovnovými křižovatkami [5]	24
Obrázek 7 – Rozměry směrodatných vozidel a zákonné maximální hodnoty [1].....	25
Obrázek 8 – Šablona návěsové soupravy – způsob jízdy 1 [1].....	26
Obrázek 9 - Šablona návěsové soupravy – způsob jízdy 2 [1].....	27
Obrázek 10 - Rozměry návrhových vozidel [3]	28
Obrázek 11 – Šablona pro směrodatné vozidlo WB-20 [3]	29
Obrázek 12 – Šablona návěsové soupravy [14]	30
Obrázek 13 – Různé způsoby průjezdu a nastavení programu	33
Obrázek 14 – Rozhraní Autopath v programu Civil 3D	34
Obrázek 15 – Rozhraní AtutoTURN v programu ZWCAD	35
Obrázek 16 – Rozhraní Vehicle Tracking v programu Civil 3D	36
Obrázek 17 – Srovnání vlečných křivek simulačních programů s TP 171	38
Obrázek 18 – Rozdíly obalových křivek na vnitřní straně oblouku.....	40
Obrázek 19 – Vybrané lokality v Pardubicích [7].....	42
Obrázek 20 – Lokalita 1 - připojovací pruh [7]	43
Obrázek 21 – Pohled na připojovací větev	44
Obrázek 22 – Porucha na vnitřní straně oblouku	44
Obrázek 23 – Průjezd vozidel připojovací větví	45
Obrázek 24 – Vlečné křivky AutoTURN – připojovací pruh	46
Obrázek 25 – Lokalita 2 – nároží křižovatky [7]	47
Obrázek 26 – Uspořádání křižovatky ulic Palackého třída a Hlaváčova [8].....	48
Obrázek 27 – Porušení nároží křižovatky	49
Obrázek 28 – Průjezd vozidel odbočovacím pruhem.....	50
Obrázek 29 – Vlečné křivky AutoTURN – nároží křižovatky.....	51
Obrázek 30 – Kruhový objezd v ulici Palackého třída [7]	52
Obrázek 31 – Průjezd návěsové soupravy spojovací větví	54
Obrázek 32 – Průjezd návěsové soupravy okružním pásem křižovatky	55
Obrázek 32 – Vlečné křivky AutoTURN – kruhový objezd.....	57

SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

Tabulka 1 – Hodnoty bezpečnostního odstupu (b_{OVK}) podle kategorie PK [2].....	18
Tabulka 2 – Maximální povolené rozměry návěsové soupravy [12]	18
Tabulka 3 – Návrhová vozidla pro kategorie PK [2]	21
Tabulka 4 – Vozidla s větší délkou než NS [12].....	22
Tabulka 5 – Funkce simulačních programů	34
Graf 1 – Plochy vlečných křivek.....	39
Graf 2 – Rozdíly ploch vlečných křivek simulačních programů od TP 171	39
Graf 3 – Četnost průjezdů vozidel připojovacím pruhem	45
Graf 4 – Četnost průjezdů vozidel odbočovacím pruhem.....	50
Graf 5 - Četnost průjezdů vozidel spojovací větví	54
Graf 6 – Četnost průjezdů vozidel po okružním pásu.....	56

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ADT – average Daily Traffic

ČSN – česká státní norma

IZS – integrovaný záchranný systém

NS – návěšová souprava

PK – pozemní komunikace

RPDI – roční průměr denních intenzit

RÚ – rozborová úloha

TP – technické podmínky

VDZ – vodorovné dopravní značení

VL – vzorové listy

° – úhlová jednotka (grad)

ÚVOD

Téma bakalářské práce se věnuje aktuální problematice silniční dopravy, a to vlečným křivkám, které jsou v dnešní době hojně využívány zejména v projekční přípravě. Z důvodu nárůstu počtu obyvatel, a tudíž i uživatelů dopravní infrastruktury, se klade důraz na její prostorové uspořádání, obzvláště z pohledu kapacity. Tato skutečnost má mnohdy za následek navyšování počtu návrhových prvků navzdory jejich rozměrům, jež se zmenšují na minimální přípustné hodnoty udávané normami vedoucími ke snížení komfortu jízdy. Opačný vliv má výrazný technologický vývoj, jelikož zvyšuje míru komfortu uživatelů dopravních prostředků především zvětšením rozměrů vozidel. Zároveň se více přesouvá pozornost k ekonomickému a ekologickému faktoru přepravy, díky němuž dochází ke zvětšování rozměrů i nákladních automobilů na maximální přípustné hodnoty. Tím se mění požadavky na prostorové uspořádání a rozměry prvků stávající dopravní infrastruktury, které nejsou na tyto vozidla dimenzované.

Minimální návrhové parametry a zvětšující se rozměry vozidel představují možný problém z hlediska bezpečnosti a obslužnosti na pozemních komunikacích (dále jen „PK“). Nedostatečné prostory pro bezpečný průjezd vozidel mají také často za následek poškození stavebních prvků komunikací, silničního příslušenství a vybavení nebo i poškození samotných dopravních vozidel, což vede k následným opravám a nadbytečným finančním výdajům.

Cílem této bakalářské práce je poukázat a zhodnotit možné metody pro navrhování a ověřování průjezdnosti na PK. Především průjezdnost křižovatkovými úseky, pro které je typický stísněný prostor a minimální návrhové parametry. Dílčími cíli je shrnutí legislativních a technických předpisů, které ovlivňují nebo využívají vlečné křivky. Dále vzájemné porovnání vybraných dostupných simulačních programů pro ověřování průjezdnosti a též porovnání s referenčními technickými podmínkami TP 171.

Praktická část bakalářské práce se zabývá analýzou a hodnocením průjezdu vozidel vybranými úseky různých typů křižovatek a následně aplikací vlečných křivek pomocí specializovaného softwaru. Obecně je známo, že vozidla s větším rozvorem mají náročnější prostorové požadavky při průjezdu směrovým prvkem. V bakalářské práci se především věnuji průjezdu návěsových nákladních vozidel, která se ve velké míře vyskytují na českých silnicích. Zároveň mají velké prostorové požadavky na průjezdnost a ve většině případů se využívá jako návrhové vozidlo.

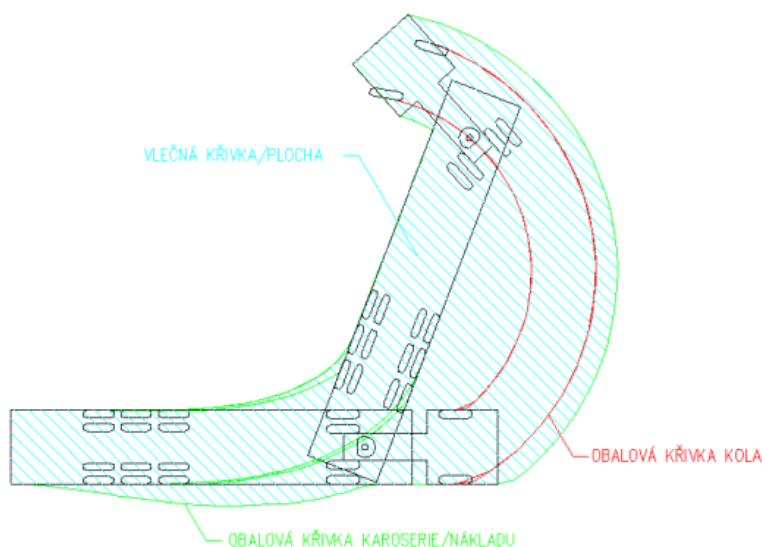
1 VYMEZENÍ ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Pro správné pochopení uvedené problematiky bakalářské práce je nezbytné si v úvodní části definovat základní pojmy, které se v práci objevují. Proto jsou v následujících odstavcích vymezeny pojmy: vlečná křivka, směrodatné vozidlo, offtracking, šablona směrodatného vozidla, bezpečnostní odstup, mezní rychlost, návěsová souprava a pro praktickou část připojovací pruh, nároží a okružní křižovatka.

Vlečná křivka

Bezpečný průjezd směrovým prvkem pozemní komunikace je zajištěn tehdy, kdy je dostatečný prostor pro vykonání manévru s určitou vůlí pohybu a bezpečnostním odstupem od pevných překážek. Pro vymezení minimálního prostoru k provedení manévru směrovým prvkem máme k dispozici vlečné křivky, které jsou určeny obalovými křivkami a vlečnou plochou vozidel. Vlečné křivky se uplatňují především ve směrových obloucích a nárožích křižovatek o malých poloměrech, kdy dochází k výrazným rozdílům dráhy mezi přední a zadní nápravou vozidla a ve stísněných prostorech.

Stanovení vlečné křivky závisí na rozměrech, rozvoru náprav a jízdních vlastnostech motorového vozidla, přičemž též záleží na návrhových parametrech směrového prvku, ale také na způsobu jízdy a schopnostech řidiče. Při návrhu směrového uspořádání je možné využitím vlečných křivek optimalizovat geometrii a hospodárně využít prostor. Znalost vlečných křivek vozidel se uplatňuje především při navrhování dopravních ploch s výraznými změnami směru, kde se očekává nízká mezní rychlost. Takovými plochami mohou být například křižovatky, okružní křižovatky, parkoviště, obratiště atp. [1]

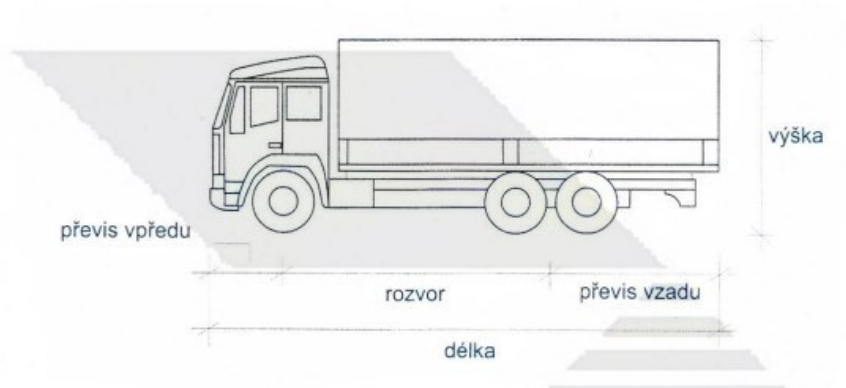


Obrázek 1 – Vlečná křivka vozidla [2]

Směrodatné vozidlo

Takové vozidlo, jehož rozměry odpovídají rozměrům 85 % vozidel dané kategorie ve smyslu četnosti výskytu. Tedy můžeme říct, že přibližně 15 % vozidel dané kategorie může rozměry směrodatného vozidla překračovat. V případě dimenzování prvků na největší přípustné vozidlo by docházelo k nevhodnému návrhu, jelikož četnost těchto vozidel je výrazně nižší, proto řidiči těchto vozidel musí v některých případech počítat s menšími prostorovými rezervami. [1]

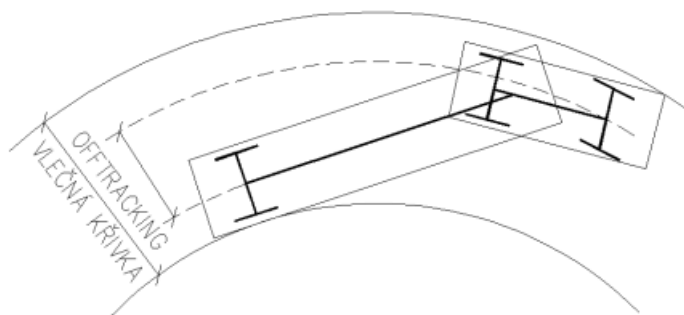
Směrodatné vozidlo je charakterizováno základními rozměry vozidla (výška, šířka a délka) a velikostmi rozvoru, předního a zadního převisu a obrysovým poloměrem zatáčení, viz obrázek 7.



Obrázek 2 – Rozměrové charakteristiky směrodatného vozidla [1]

Offtracking

Offtracking je rozdíl poloměrů středů přední nápravy a zadní nápravy vozidla při průjezdu směrovým obloukem. Velikost rozdílu poloměrů jednotlivých vozidel výrazně ovlivňuje šířku a tvar vlečné křivky při průjezdu směrovým obloukem. [2]



Obrázek 3 – Průjezd vozidla směrovým obloukem [2]

Šablona směrodatného vozidla

Praktickou pomůckou pro navrhování a kontrolu průjezdnosti směrových prvků slouží šablony vlečných křivek pro směrodatná vozidla. Šablona je především určena pro jízdu vpřed, avšak TP 171 připouští užití i pro jízdu vzad (couvání) pro menší vozidla bez přívěsů. Při aplikování šablony je nutné zohlednit boční bezpečnostní odstup paralelně od obalové křivky vozidla. [1]

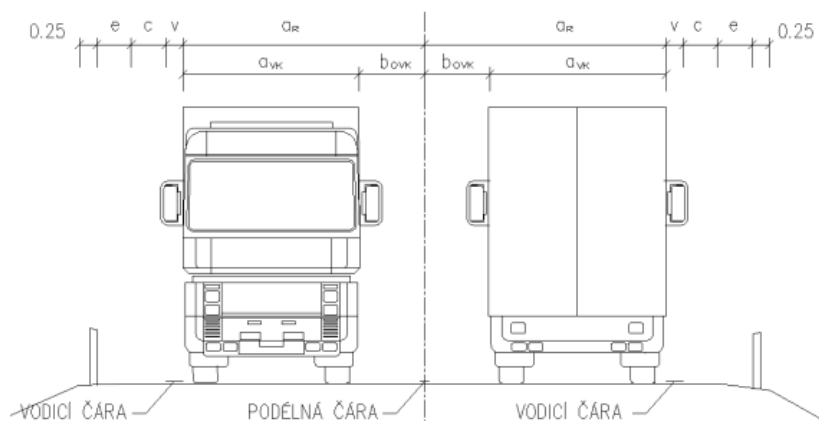
Bezpečnostní odstup

Bezpečnostní odstup v silničních normách se definuje jako „*nezbytný bezpečnostní prostor mezi skladebními prvky různých druhů navzájem, mezi protisměrnými prvky, nebo mezi skladebními prvky a pevnou překážkou, nebo zvýšenou obrubou*“ [6], avšak pro uvedenou problematiku je tato definice nepřesná či nevýstižná.

Přesnější vymezení pojmu pro oblast navrhování a ověřování pomocí vlečných křivek by mohlo být: nezbytný bezpečnostní prostor mezi obalovou křivkou vozidla a pevnou překážkou, zvýšenou obrubou nebo obalovou křivkou souběžně či protisměrně jedoucího vozidla.

Zavedení bezpečnostního odstupů je nezbytné, jelikož vlečné křivky jsou mimo jiné závislé na rychlosti a schopnostech řidiče. V reálné situaci to znamená, že řidič má dostatečný prostor (vůli) pro zvolení vlastní jízdní stopy oproti ideální projektové jízdní stopě. TP 171 uvažuje bezpečnostní odstup v podobě rozšíření vlečné křivky na každou stranu o boční pohybové vůle minimálně 0,50 m, ve stísněných prostorech za malé rychlosti připouští 0,25 m. Do bezpečnostního odstupů spadají i rozměry zpětných zrcátek.

Při rozšiřování jízdních pruhů ve směrových obloucích o malých poloměrech se vynáší bezpečnostní odstup vlevo, neboť se dle Zákona č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích uvažuje jízda při pravém okraji jízdního pruhu. Požadovaný bezpečnostní odstup pro kategorie PK zobrazuje tabulka 1. [2]



Obrázek 4 – Schématický řez PK s bezpečnostním odstupem (b_{ovk}) mezi vozidly [2]

Tabulka 1 – Hodnoty bezpečnostního odstupu (b_{ovk}) podle kategorie PK [2]

Kategorie pozemní komunikace	Bezpečnostní odstup b_{ovk} *	
silnice I. třídy evropského významu (E)	1,00 m	
silnice I. třídy, místní rychlostní komunikace funkční skupiny A	0,75 m	
silnice II. a III. třídy, místní sběrné komunikace funkční skupiny B	0,50 m; 0,75 m**	
místní obslužné komunikace funkční skupiny C, místní komunikace funkční skupiny D1 a veřejné účelové komunikace	jednopruhové	0,25 m
	dvou a vícepruhové	0,25 m***
* v odůvodněných případech lze hodnotu b_{ovk} snížit na 50 % (např. při omezení zástavbou, okolními pozemky, nevhodným terénem).		
** při intenzitě nákladních vozidel větší než 1000 voz/den		
*** vlečné křivky v jednotlivých jízdních pružích se mohou překrývat. Vždy musí být zajištěn alespoň průjezd vozidla N2 jízdním pásem.		

Mezní rychlost

Nejvyšší uvažovaná dosažitelná rychlost, kterou je schopné motorové vozidlo bezpečně, za přijatelné míry komfortu, projet směrovým prvem PK se označuje jako mezní rychlost. [4]

Návěsová souprava

Návěsová souprava se skládá ze dvou dílčích pojmů – návěs a jízdní souprava. Návěs můžeme definovat jako tažené přípojné vozidlo s nápravami za těžištěm vozidla, jehož přední část je nesená a vedená tažným vozidlem. Spojením tažného a přípojného vozidla, v našem případě návěsu, vzniká jízdní souprava (návěsová souprava).

Maximální povolené rozměry vozidel stanoví Vyhláška č. 209/2018 Sb. a jsou uvedeny v následující tabulce 2.

Tabulka 2 – Maximální povolené rozměry návěsově soupravy [12]

Druh vozidla	Délka [m]	Šířka [m]	Výška [m]
Návěsová souprava	16,50	2,55	4,08

Připojovací pruh

Jedná se o přídatný pruh v oblasti křižovatky, který je určen pro zvýšení rychlosti vozidla před zařazením do průběžného jízdního pruhu. Zpravidla se umísťuje vpravo od přilehlého průběžného jízdního pruhu, ale v odůvodněných případech se může vyskytovat i vlevo. [5]

Nároží

Nároží je prvek v oblasti úrovně křižovatky mezi obloukem vnitřní hrany vozovky a vnějšími okraji přilehlých křižujících se jízdních pruhů umožňující plynulé odbočení vpravo. [5]

Okružní křižovatka

Okružní křižovatka je úrovně křižovatka s takovým uspořádáním, že vjíždějící vozidla odbočují vpravo a pohybují se po okružním pásu k výjezdu, do kterého opět odbočují vpravo a opouštějí křižovatku. V případě spojení dvou sousedních paprsků vzniká spojovací větev. [5]

2 HISTORIE A VZNIK VLEČNÝCH KŘIVEK

Zejména na konci 19. století a v první pol. 20. století nastal významný rozmach automobilového průmyslu. Také probíhal výrazný pokrok v konstrukci silnic, kdy od 30. let 20. století v důsledku rostoucího požadavku na rovinnost a bezprašnost silnic byly nahrazovány kamenité kryty za kryty s kamenivem obaleným asfaltem nebo směsí dehtu a asfaltu, dlážděnými kryty nebo betonovými kryty. [10]

Nárůstem počtu vozidel, zrychlováním a vývojem nových, větších vozidel se také zesilovala potřeba prostorového uspořádání provozu na PK, aby se zajistila bezpečnost všech účastníků provozu. To byl prvotní impulz k zavedení kategorií silnic, jež zahrnovali rozměry jednotlivých prvků. Pro určení potřebné šířky jízdního pruhu bylo zapotřebí znát rozměry vozidel a jejich jízdní vlastnosti.

Přibližně od roku 1946 se začal v technických literaturách objevovat pojem offtracking. V 70. letech 20. století došlo k rozvoji v oblasti offtrackingu a vlečných křivek a začali se uplatňovat při návrhu směrových oblouků. Nejprve byly vlečné křivky průjezdu založené na mechanických modelech vozidel, později se využily grafické a matematické analýzy, avšak pouze pro nulovou rychlost. V roce 1970 byly představeny první modely pro vícejednotková vozidla a uvažovalo se i s proměnným poloměrem zatáčení. Rozvojem výpočetní techniky byl ovlivněn i výpočet vlečných křivek, kdy se začaly používat počítačové analýzy a simulace a do výpočtů také začaly vstupovat dynamické vlastnosti vozidel. [11]

3 REŠERŠE PŘEDPISŮ

V rešeršní části se pokusím představit některé hlavní oblasti pozemních komunikací, kterých se dotýká problematika vlečných křivek. Mezi důležité oblasti se řadí rozměry návrhových vozidel, požadavky na manévrovací schopnosti vozidel a pohyb vozidel v jízdnicích pruzích a křižovatkách. Závěr této kapitoly obsahuje výčet některých důležitých technických předpisů v České republice, které využívají nebo uplatňují znalosti vlečných křivek.

3.1 Návrhová vozidla a jejich rozměry

Na PK se v České republice pohybuje velké množství vozidel různých rozměrů. Maximální přípustné rozměry jednotlivých kategorií vozidel jsou ukotveny ve Vyhlášce č. 209/2018 Sb. o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel. [12]

Pro jednotlivé kategorie PK se uvažují návrhová vozidla uvedená v tabulce 3. Návrhové vozidlo odpovídá rozměry a vlastnostmi směrodatnému vozidlu stejné kategorie. Tabulka 3 uvádí, že by se jako referenční vozidlo měla aplikovat návěsová souprava (NS) pro všechny silnice evropského významu, silnice I. – III. třídy a pro místní komunikace rychlostní a sběrné. U místních komunikací s označením C, D1 a D2 a u veřejných účelových komunikací se uvažuje nákladní vozidlo N2, což jsou vozidla pro svoz odpadu nebo vozidla hasičského záchranného sboru. V intravilánu se pro volbu návrhového vozidla přihlíží na místní charakter zástavby a dopravní význam komunikace. [2]

Tabulka 3 – Návrhová vozidla pro kategorie PK [2]

Kategorie pozemní komunikace*	Návrhové vozidlo
silnice I. třídy evropského významu (E)	NS
silnice I. třídy, místní rychlostní komunikace funkční skupiny A	NS
silnice II. a III. třídy, místní sběrné komunikace funkční skupiny B	NS
místní obslužné komunikace funkční skupiny C, místní komunikace funkční skupiny D1 a veřejné účelové komunikace	N2, NS**
*u rekonstrukcí je návrhové vozidlo voleno dle dopravního významu pozemní komunikaci a možnosti stávajícího stavu, alespoň však N2, doporučuje se NS	
**v průmyslových zónách a v jejich blízkosti	

Ačkoliv se ve většině případů jako návrhové vozidlo užívá návěsová souprava, která svými rozměry a vlečnou plochou pokrývá značnou část vozidel, je na PK povolen provoz i rozměrově větších vozidel. Rozměry vozidel s větší délkou než NS jsou uvedeny v následující tabulce 4 a vychází z rozměrů dle vyhlášky o rozměrech vozidel. [12]

Délka vozidla není rozhodujícím faktorem, ale v určitých místech se mohou obalové křivky lišit od obalových křivek návrhového vozidla.

Tabulka 4 – Vozidla s větší délkou než NS [12]

Druh vozidla	Přípustná délka [m]
kloubový dvoučlánkový autobus a trolejbus	18,75
kloubový tří a vícečlánkový autobus a trolejbus	22,00
motorové vozidlo s jedním přívěsem	18,75
motorové vozidlo s jedním přívěsem kategorie O – pro přepravu vozidel	20,75
traktor s jedním přípojným vozidlem	18,00
traktor se dvěma přípojnými vozidly	22,00
samojízdný stroj s podvozkem pro přepravu pracovního zařízení	20,00
jízdní soupravy se dvěma přívěsy / kombinace návěsu a jednoho přívěsu	22,00

Nedílnou součástí dnešní dopravy je i přeprava nadrozměrných nákladů. Pro nadrozměrnou přepravu se využívají speciální vozidla se specifickými jízdními vlastnostmi a prostorovými nároky. Délky takovýchto jízdních souprav mohou přesahovat několik desítek metrů. Na významných komunikacích pro vnitrostátní nebo mezinárodní dopravu se požaduje zajištění průjezdnosti nadrozměrným vozidlům. Podle vlečných křivek těchto vozidel se provádějí úpravy zpevněných ploch tak, aby se zajistil průjezd bez výrazných omezení a problémů. Průjezd nadrozměrných vozidel se považuje za výjimečný, tudíž se neuvažují jako návrhová vozidla.

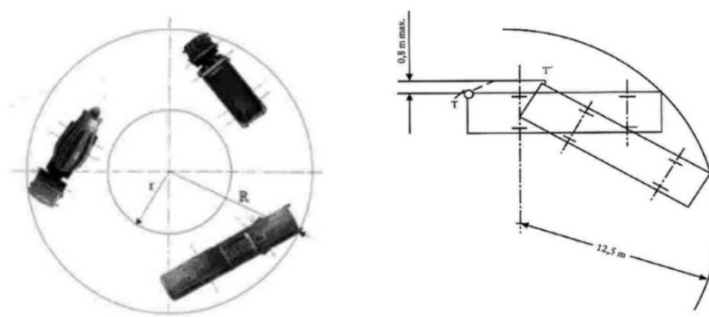
Nesprávné užití návrhového vozidla může vyvolat značné problémy. Tabulka 3 určuje návrhová vozidla podle jednotlivých kategorií, avšak nepřipouští v úvahu očekávanou intenzitu povolených větších vozidel s náročnějšími požadavky. V případě, že by intenzita větších vozidel tvořila významnou část dopravního proudu nebo dokonce vyšší, než by byla intenzita NS, tak by se sice jednalo o správný návrh z hlediska předpisů, ale reálně by se jednalo o nevyhovující stav. Takové situace se hojně nevyskytují, ale v určitých případech mohou nastat.

3.2 Manévrovací schopnosti vozidel

Veškerá motorová i nemotorová vozidla musí splňovat minimální manévrovací požadavky, které stanovuje Nařízení Komise (EU) č. 1230/2012.

Tažná i tažená vozidla, jsou-li spojena v jízdní soupravu, musí umožňovat projetí v obou směrech jízdy po úplné trajektorii (360°) tvořené dvěma soustřednými kružnicemi s poloměry 12,50 m (vnější) a 5,30 m (vnitřní). Krajní body tažného vozidla nesmí vyčnívat z obvodu vnější kružnice a krajní body taženého vozidla nesmí přecházet do obvodu vnitřní kružnice. [15]

Vybočení zádí nesmí přesáhnout hodnotu 0,80 m, pouze v případě řízené zadní nápravy se může rovnat maximálně 1,00 m. [15]

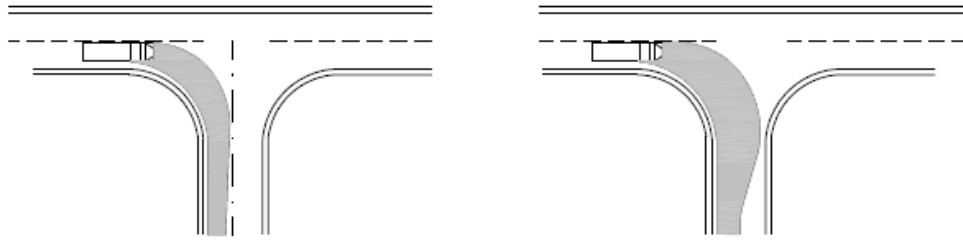


Obrázek 5 – Kruh manévrování a vybočení zádí za ustáleného stavu [15]

3.3 Jízda v jízdních pruzích

V České republice stanovuje pravidla a řízení provozu na PK Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích. Zpravidla se jezdí vpravo a při pravém okraji jízdního pruhu, pokud tomu nebrání nestandardní okolnosti či není stanoveno jinak. Vjetí na krajnici je umožněno pouze za zvýšené opatrnosti při nutném zastavení a stání nebo při odbočování, objíždění a otáčení. V případě, že musí řidič vlivem vozidla nebo nákladu vybočit ze směru své jízdy vlevo, musí se před odbočováním vpravo zařadit co nejbližší k pravému okraji vozovky. [13]

Při průjezdu úrovnými křižovatkami se ve stísněných podmínkách s nízkou intenzitou dopravy na křižujících komunikacích a s dostatečným rozhledem připouští při nájezdu i výjezdu vybočení do přilehlého jízdního pruhu i v případě, že se jedná o protisměrný pruh. Platí však pravidlo, že řidič vybočujícího vozidla nesmí ohrozit ani omezit řidiče v přilehlém jízdním pruhu.



Obrázek 6 – Průjezd vozidel úrovnňovými křiřovatkami [5]

V běžném provozu se jízdní stopa vozidel od uvažované stopy odlišuje. Jízdní stopu mimo jiné ovlivňuje i šířka jízdního pruhu, která se provádí nejčastěji 2,75 – 3,75 m, v místech oblouků s malými poloměry se pruhy rozširují. V případě širších pruhů se stopa vozidel více oddaluje od pravého okraje, což může být patrné z vyjetých kolejí na vozovkách. Především při jízdě obloukem ve vnějším jízdním pruhu se řidiči místo jízdy při pravém okraji přibližují více střední dělicí čáře a využívají širší jízdního pruhu pro komfortnější a „bezpečnější“ průjezd. Právě tato skutečnost se projevuje ve směrových obloucích o malých poloměrech a měla by být zohledněna ve výpočtech pro rozšíření pruhu nebo zahrnuta v bezpečnostním odstupu.

3.4 Technické předpisy uplatňující vlečné křivky

Vlečné křivky se uplatňují zejména v oblasti dopravního stavitelství. Při navrhování prvků dopravní infrastruktury se vychází z tvarů a velikostí vlečných ploch. Hlavní a nejčastěji používané technické normy a předpisy, kde se využívá znalostí vlečných křivek:

- ČSN 73 6101 – Projektování silnic a dálnic;
- ČSN 73 6102 – Projektování křiřovatek na pozemních komunikacích;
- ČSN 73 6110 – Projektování místních komunikací;
- ČSN 73 6056 – Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel;
- TP 135 – Projektování okružních křiřovatek na silnicích a místních komunikacích.

4 PŘÍSTUPY K OVĚŘOVÁNÍ PRŮJEZDNOSTI NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH V JEDNOTLIVÝCH ZEMÍCH

Vlečné křivky se uplatňují při navrhování pozemních komunikací a dimenzování jejich prvků nejenom v České republice, ale i v zahraničí. Pomocí vlečných křivek je možné optimalizovat tvary směrových prvků PK potřebám vozidel a docílit efektivního návrhu. V následujících podkapitolách přibližují přístupy k ověřování průjezdnosti v České republice, USA a Slovenské republice.

4.1 Ověřování průjezdnosti – Česká republika

Problematikou vlečných křivek v České republice se zabývají technické podmínky *TP 171 Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací* (dále jen „TP 171“) účinné od roku 2005. Pro ověřování průjezdnosti směrových prvků na pozemních komunikacích se využívají vlečné křivky dané obalovými křivkami směrodatných vozidel.

4.1.1 Směrodatná vozidla

Směrodatná vozidla uvedená v TP 171 zastupují jednotlivé kategorie motorových vozidel dle očekávaného složení vozového parku. Druhy vozidel jsou rozděleny do 6 skupin – osobní automobil, nákladní automobil, přívěsová souprava, návěsová souprava, autobusy a vozidla pro odvoz odpadu, jak uvádí obrázek 7.

Druh vozidla	Vnější rozměry						
	Délka	Rozvor	Převisy		Šířka	Výška	Obrysový poměr zatáčení vnější
			vpředu	vzadu			
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Osobní automobil:	4,74 (4,34)	2,70	0,94	1,10	1,76 (1,68)	1,51	5,85 (5,65)
Nákladní automobil:							
Dodávka / obytný automobil	6,89	3,95	0,96	1,98	2,17	2,70	7,35
Malý nákladní (2 nápravy)	9,46	5,20	1,40	2,86	2,29	3,80	9,77
Velký nákladní (3 nápravy) ¹⁾	10,10	5,30 ¹⁾	1,48	3,32	2,50 ¹⁾	3,80	10,05
Přívěsová souprava:							
Tažné vozidlo (3 nápravy) ¹⁾	18,71						
Přívěs (2 nápravy)	9,70	5,287 ¹⁾	1,50	2,92	2,50 ¹⁾	4,00	10,30
Přívěs (2 nápravy)	7,45	4,84	1,35 ¹⁾	1,26	2,50	4,00	10,30
Návěsová souprava:							
Tažné vozidlo (2 nápravy)	16,50						
Návěs (3 nápravy)	6,08	3,80	1,43	0,85	2,50 ¹⁾	4,00	7,90
Návěs (3 nápravy)	13,61	7,75	1,61	4,25	2,50	4,00	7,90
Autobusy:							
Dálkový a linkový autobus 12,00 m ²⁾	12,00	5,80	2,85	3,35	2,50 ¹⁾	3,70 ¹⁾	10,50
Dálkový a linkový autobus 13,70 m ²⁾	13,70	6,35 ²⁾	2,87	4,48	2,50 ¹⁾	3,70 ¹⁾	11,25
Dálkový a linkový autobus 15,00 m ²⁾	14,95	6,95 ²⁾	3,10	4,90	2,50 ¹⁾	3,70 ¹⁾	11,95
Kloubový autobus ³⁾	17,99	5,98; 5,99	2,65	3,37	2,50 ¹⁾	2,95	11,80
Vozidla pro odvoz odpadu:							
2 nápravy	9,03	4,60	1,35	3,08	2,50 ¹⁾	3,55	9,40
3 nápravy	9,90	4,77 ¹⁾	1,53	3,60	2,50 ¹⁾	3,55	10,25
3 nápravy ²⁾	9,95	3,90	1,35	4,70	2,50 ¹⁾	3,55	8,60
Limity rozměrů podle vyhl. 341/2002 Sb.:							
Motorové vozidlo s výjimkou autobusu	12,00						
Přívěs	12,00						
Přívěsová souprava	18,75				2,55 ^{1) 5)}	4,00 ⁶⁾	12,50
Návěsová souprava	16,50						
Autobus	15,00						
Kloubový autobus dvoučlánkový	18,00						

¹⁾ U třínápravových vozidel je zadní hnací dvounáprava sloučena do jedné střední nápravy

²⁾ U třínápravových vozidel s nepoháněnou třetí nápravou rozvor odpovídá hodnotě vzdálenosti mezi přední řídicí nápravou a hnací nápravou

³⁾ Bez délky oje

⁴⁾ Bez vnějších zrcátek

⁵⁾ Nastavby chladirenských vozidel až 2,60 m

⁶⁾ V patrovém provedení 4,00 m

⁷⁾ Nizkopodlažní autobusy Karosa-Renault Citybus mají hodnoty rozvorů a převisů mírně odlišné, jízdní charakteristiky jsou však velmi podobné a šablony vlečných křivek v příloze pro tato vozidla rovněž použitelné

*) Návrhové vozidlo osobní automobil s redukovanými rozměry

Obrázek 7 – Rozměry směrodatných vozidel a zákonné maximální hodnoty [1]

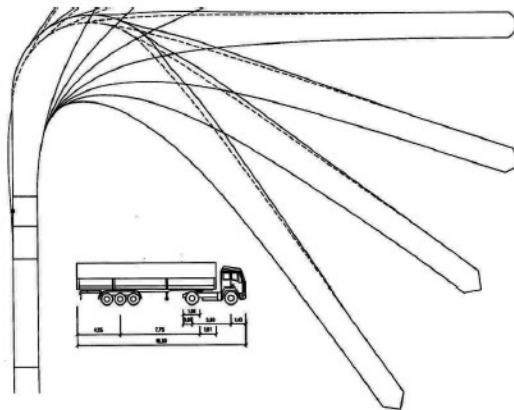
Vozový park během 21. století prošel významnými technologickými vývoji. Nejenom, že se optimalizují rozměry vozidel, ale především se využívá natáčení kol zadní nápravy. Tato skutečnost výrazně mění chování vozidel při průjezdu směrovými oblouky. Natáčení zadních kol způsobuje menší odchylku mezi poloměry středů přední a zadní nápravy vozidla, tzv. offtracking. Nejenom z tohoto důvodu by bylo vhodné aktualizování vozového parku pro Českou republiku.

4.1.2 Šablony směrodatných vozidel

V TP 171 jsou pro jednotlivá směrodatná vozidla v měřítkách 1:250 a 1:500 vypracované vlečné křivky v různých úhlech směru jízdy, od 40^º do 160^º. Pomocí těchto šablon je možné v situačních výkresech ověřovat potřebnou plochu vozidel pro průjezd směrovými prvky. Pro konstrukci šablon vlečných křivek se uvažují dva způsoby jízdy vozidla. [1]

Způsob jízdy 1

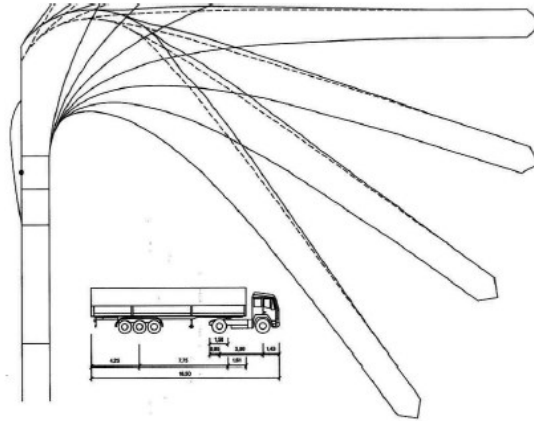
První způsob jízdy uvažuje jízdu s malou rychlostí. Tangenciálním spojením přímých a kruhových úseků vodící linie nevzniká žádný lom linie v místech přechodu. Z důvodu nízké rychlosti a rychlé změny úhlu řízení je toto zjednodušení přípustné. Vnější poloměry obalové křivky odpovídají poloměrům zatačení. [1]



Obrázek 8 – Šablona návěsové soupravy – způsob jízdy 1 [1]

Způsob jízdy 2

Hlavním rozdílem oproti způsobu jízdy 1 je natočení volantu při téměř stojícím vozidle, což umožní dosáhnout maximálního úhlu zatočení. Změna úhlu natočení tímto způsobem může dosahovat přibližně 40° s výjimkou autobusů, u kterých je hodnota 55°. [1]



Obrázek 9 - Šablona návěsové soupravy – způsob jízdy 2 [1]

Při navrhování a dimenzování nových nebo rekonstruovaných směrových prvků PK se v zásadě uvažuje způsob jízdy 1. Způsob jízdy 2 se považuje za výjimečný případ. [1]

V souboru šablon nejsou obsaženy vlečné křivky pro nadrozměrná či zvláštní vozidla. V novějších předpisech či v Evropské směrnici se na významných komunikacích doporučuje provádět stavební úpravy umožňující průjezd nadrozměrných vozidel. Ověření průjezdnosti pro nadrozměrnou přepravu je nutné provést specializovanými programy, jež mají tyto vozidla v databázi nebo v obvyklých programech si vozidlo vytvořit.

4.2 Ověřování průjezdnosti – USA

Přístup k ověřování fyzické průjezdnosti na PK v USA je velmi podobný přístupu v České republice. Pro kontrolu průjezdnosti vozidel při navrhování směrových prvků se postupuje dle politiky *Geometric Design of Highways and Streets* vydané asociací *AASHTO* [3].

4.2.1 Směrodatná vozidla

Narozdíl od TP 171 se pro návrh a posouzení průjezdu užívají směrodatná vozidla s většími konstrukčními rozměry a minimálními poloměry zatáčení, než má většina vozidel dané třídy. Vozidla jsou rozdělena do 4 skupin – osobní automobily, autobusy, nákladní automobily a rekreační vozidla. Předpis obsahuje 20 směrodatných vozidel uvedených na obrázku 10.

Design Vehicle Type	Symbol	Dimensions (m)											
		Overall			Overhang		WB ₁	WB ₂	S	T	WB ₃	WB ₄	Typical Kingpin to Center of Rear Tandem Axle
		Height	Width	Length	Front	Rear							
Passenger Car	P	1.30	2.13	5.79	0.91	1.52	3.35	—	—	—	—	—	—
Single-Unit Truck	SU-9	3.35-4.11	2.44	9.14	1.22	1.83	6.10	—	—	—	—	—	—
Single-Unit Truck (three-axle)	SU-12	3.35-4.11	2.44	12.04	1.22	3.20	7.62	—	—	—	—	—	—
Buses													
Intercity Bus (Motor Coaches)	BUS-12	3.66	2.59	12.36	1.93	2.73*	7.70	—	—	—	—	—	—
	BUS-14	3.66	2.59	13.86	1.89	2.73*	8.69	—	—	—	—	—	—
City Transit Bus	CITY-BUS	3.20	2.59	12.19	2.13	2.44	7.62	—	—	—	—	—	—
Conventional School Bus (65 pass.)	S-BUS 11	3.20	2.44	10.91	0.79	3.66	6.49	—	—	—	—	—	—
Large School Bus (84 pass.)	S-BUS 12	3.20	2.44	12.19	2.13	3.96	6.10	—	—	—	—	—	—
Articulated Bus	A-BUS	3.35	2.59	18.29	2.62	3.05	6.71	5.91	1.89*	4.02*	—	—	—
Combination Trucks													
Intermediate Semitrailer	WB-12	4.11	2.44	13.87	0.91	1.37*	3.81	7.77	—	—	—	—	7.77
Interstate Semitrailer	WB-19*	4.11	2.59	21.03	1.22	1.37*	5.94	12.50	—	—	—	—	12.50
Interstate Semitrailer	WB-20**	4.11	2.59	22.40	1.22	1.37*	5.94	13.87	—	—	—	—	13.87
"Double-Bottom" Semitrailer/Trailer	WB-20D	4.11	2.59	22.04	0.71	0.91	3.35	7.01	0.91	2.13*	6.86	—	7.01
Rocky Mountain Double-Semitrailer/Trailer	WB-28D	4.11	2.59	29.67	0.71	0.91	5.33	12.19	1.37	2.13	6.86	—	12.34
Triple-Semitrailer/Trailers	WB-30T	4.11	2.59	31.94	0.71	0.91	3.35	6.86	0.91d	2.13*	6.86	6.86	7.01
Turnpike Double-Semitrailer/Trailer	WB-33D*	4.11	2.59	34.75	0.71	1.37*	3.72	12.19	1.37*	3.05*	12.19	—	12.34
Recreational Vehicles													
Motor Home	MH	3.66	2.44	9.14	1.22	1.83	6.10	—	—	—	—	—	—
Car and Camper Trailer	P/T	3.05	2.44	14.84	0.91	3.66	3.35	—	1.52	5.39	—	—	—
Car and Boat Trailer	P/B	—	2.44	12.80	0.91	2.44	3.35	—	1.52	4.57	—	—	—
Motor Home and Boat Trailer	MH/B	3.66	2.44	16.15	1.22	2.44	6.10	—	1.83	4.57	—	—	—

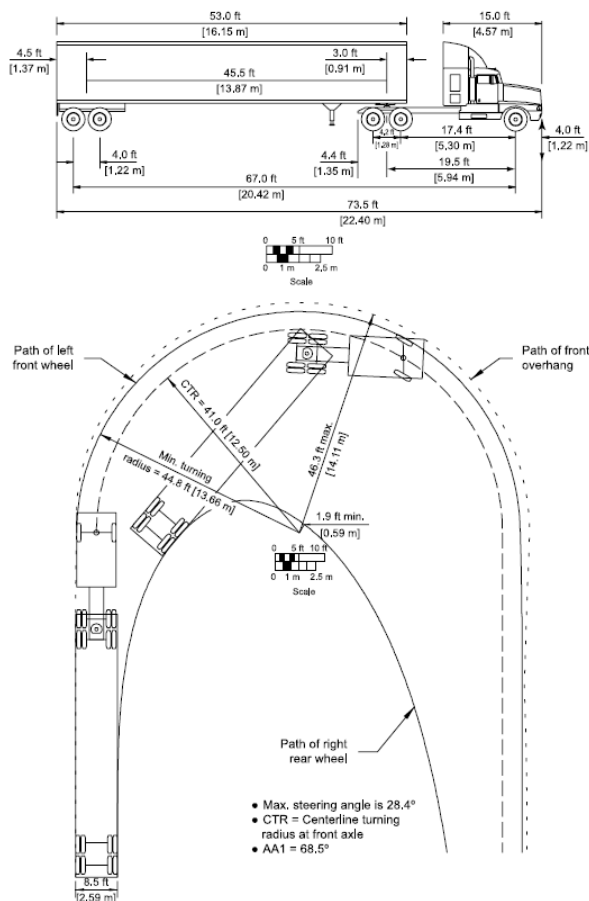
Obrázek 10 - Rozměry návrhových vozidel [3]

Hlavními faktory, které charakterizují směrodatná vozidla jsou minimální poloměr otáčení ve středové ose, šířka rozchodu kol, rozvor a dráha vnitřního zadního kola. Vlečné křivky jsou řešeny pro rychlost menší než 15 km/h, jelikož se předpokládá, že při maximálním zatáčení za této rychlosti je prokluz kol zanedbatelný. Hranice vlečných křivek jsou dány vnější hranou předního převisu a dráhou vnitřního zadního kola. [3]

Pro řešení křižovatkových poměrů na dálnicích nebo v průmyslových ulicích se dle předpisu doporučuje jako minimální konstrukční vozidlo nákladní souprava s označením WB-20. Při návrhu místních komunikací a křižovatek, křižovatek s nízkou intenzitou dopravy do 400 ADT nebo při očekávaném použití se připouští návrh školními autobusy uvedenými na obrázku výše. [3]

4.2.2 Šablony směrodatných vozidel

Pro každé směrodatné vozidlo jsou též zpracovány šablony vlečných křivek podle jejich minimálních manévrovacích schopností. Rozdílem oproti předpisu TP 171 pro ČR je uvažování pouze jednoho způsobu jízdy. Neuvažuje se způsob natáčení kol při téměř stojícím vozidle. Šablony znázorňují vlečnou plochu pro maximální úhel zatočení 180°.



Obrázek 11 – Šablona pro směrodatné vozidlo WB-20 [3]

4.3 Ověřování průjezdnosti – Slovenská republika

Pro návrh směrového vedení trasy a ověřování průjezdnosti vozidel na PK byl na Slovensku zpracován podklad Rozborové úlohy RVT 2012. Tento podklad se zaměřuje na vlečné křivky a zpracování šablon pro různé typy motorových vozidel. Některé slovenské TP či VL týkající se projektování pozemních komunikací stále obsahují vlastní šablony vlečných křivek, ovšem vzhledem k roku vydání by se mělo postupovat podle novějších podkladů, čímž je právě rozborová úloha RVT 2012. RÚ byla zpracována pro účely navrhování směrového a prostorového vedení PK pro případy velkých změn směrů za nízkých rychlostí a malých poloměrů.

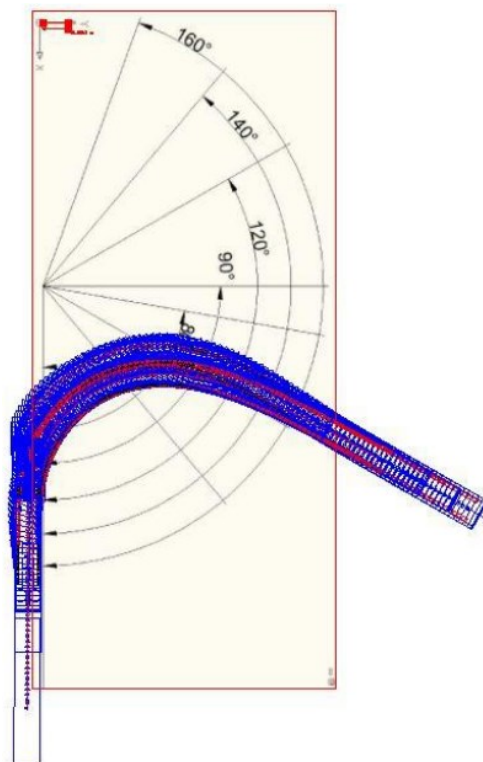
Zpracované byly i vzorové listy *VL10 – Navrhovanie úprav križovatiek pre prejazd nadrozmerných vozidiel* z roku 2018, kde se aplikují vlečné křivky nadrozměrných vozidel na prostory křižovatek.

4.3.1 Směrodatná vozidla

Za účelem zpracování šablon bylo zapotřebí určit směrodatná vozidla pro jednotlivé kategorie. RÚ definuje směrodatná vozidla dle jednotlivých skupin (M, N, O) a čísel (1, 2, 3) na základě údajů o rozměrech z evidence motorových vozidel na Slovensku. Rozměry směrodatného vozidla odpovídají rozměrům 85 % vozidel dané skupiny. Při tvorbě jízdních souprav se přihlíželo i na maximální přípustné rozměry stanovené nařízením vlády. [14]

4.3.2 Šablony směrodatných vozidel

Pro směrodatná vozidla jsou v RÚ uvedeny šablony vlečných křivek pro úhly v rozmezí 40° až 160°. Šablony vlečných křivek byly vytvořeny pomocí simulací průjezdu v programu Virtual CRASH. [14]



Obrázek 12 – Šablona návěsové soupravy [14]

5 METODY OVĚŘOVÁNÍ PRŮJEZDNOSTI

Mezi nejběžnější způsoby, jak ověřit průjezdnost vozidel kritickými místy na PK považují metody observační, experimentální a simulační. Každá metoda má bezpochyby, ať už více či méně, kladné i záporné vlastnosti. V této kapitole se pokusím jednotlivé metody vysvětlit a určit jejich možné výhody či nevýhody a jejich oblast využití.

5.1 Observační metoda

Observační metoda je založená na pozorování úkonů vozidel při průjezdu kritickým úsekem a zaznamenávání významných dat pro následnou analýzu. Tento způsob ověření bychom mohli nazvat jako nepřímý, jelikož nejsme schopni nijak ovlivnit průjezd vozidla v reálném provozu. Obzvláště pozorováním reálného provozu a chování řidičů při průjezdu daným směrovým prvkem můžeme získat velice hodnotné výsledky.

Provádění této metody není nikterak náročné, což je hlavní výhodou, jak jednoduše ověřit průjezdnost. Vzhledem k charakteru metody je důležité správné zvolení pozorovacího místa. K záznamu a vyhodnocení dat postačí pouze základní pomůcky pro zápis a dokumentaci. U sofistikovanějších případů můžeme využít díky technologickému vývoji a dostupnosti drony s kamerovým systémem, které umožní pohled shora neboli z tzv. ptačí perspektivy. Záznam průjezdu vozidel tak máme možnost zachytit v celém rozsahu řešeného směrového prvku, což nám výrazně usnadňuje analýzu a vyhodnocení.

Nevýhodou může být časová náročnost, kdy je potřeba zaznamenat dostatečný počet průjezdů, aby se eliminovali náhodné stavy, které nastávají s nízkou četností a výsledek byl co nejvíce objektivní. Jak už vyplývá z charakteristiky a názvu, tak tuto metodu lze využít pouze pro ověření stávajícího stavu, nikoliv pro navrhování. Oblast, kde se může metoda značně uplatnit je hodnocení stávajících úseků na PK nebo pro získání podkladů.

5.2 Experimentální metoda

Druhý uvedený způsob ověření průjezdnosti kombinuje prvky přímé a nepřímé metody. Je založený na pozorování, avšak referenčního vozidla. Jako referenční vozidlo je možné využít celou řadu vozidel, přičemž by vozidlo mělo být velikostně a jízdními vlastnostmi podobné největšímu vozidlu, které se může v daném úseku v požadované míře vyskytovat nebo návrhovému vozidlu. Často se pro ověření využívají nákladní návěsové či přívěsové soupravy nebo vozidla hasičského záchranného sboru v městských zástavbách.

Výhodou této metody je poměrně rychlé a snadné ověření průjezdnosti. Dále řidič referenčního vozidla může zvolit rychlost průjezdu, na kterou je úsek navržený, přičemž není ovlivněný okolním provozem. Výhodou jsou také poznatky řidiče, které mohou zlepšit některé návrhové prvky tak, aby byla skloubena bezpečnost s komfortem jízdy směrovým prvkem.

Tato metoda z hlediska financí a logistiky se řadí mezi náročnější. Přestože výsledky ověření referenčním vozidlem vyhověly, v reálném provozu se mohou vyskytovat problémy. V kombinaci reálného provozu a schopností řidičů mohou nastat okolnosti, za nichž nemusí průjezdnost odpovídat průjezdnosti referenčního vozidla. Na některých místech není realizace proveditelná, jelikož se vyžaduje pozastavení provozu, což na vytížených komunikacích by znamenal problém a kolaps dopravy. Ověření je možné i za běžného provozu, avšak výsledky by nemusely být relevantní vzhledem k náhodnosti okolních jevů. Je tedy vhodné ověřování před uvedením staveb do provozu.

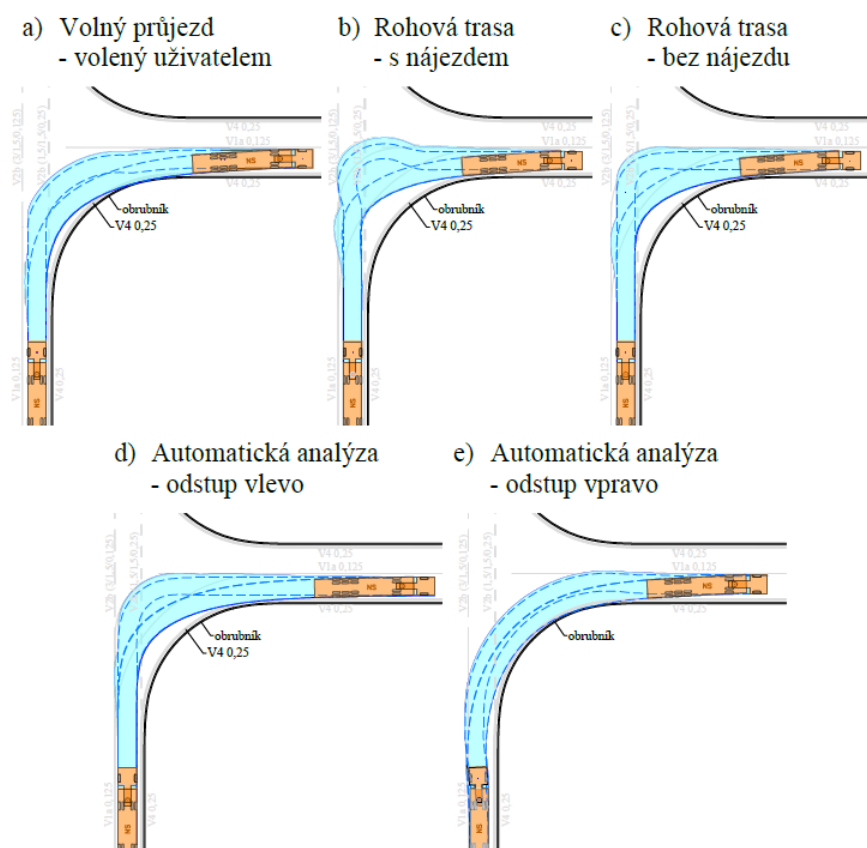
Tuto metodu často využívají hasičské záchranné složky s policisty pro kontrolu průjezdnosti a dostupnosti v hustě zastavěných oblastech, zejména na parkovištích, kde parkující vozidla na nevyznačených místech často znemožňují či minimálně komplikují průjezd vozidel IZS. Rychlost zásahu je pro jednotky IZS rozhodující a nedostatečná průjezdnost může mít nežádoucí následky.

5.3 Simulační metoda

Dnešní výpočetní technologie s sebou přináší výraznou výhodu v podobě využití simulačních programů i pro ověřování průjezdnosti. Simulační programy jsou založeny na matematických a grafických analýzách vycházejících z dřívějších publikací a principů řízení vozidel, např. od Vaughan and Sims *Determination of Swept Paths of Vehicles* z roku 1970 nebo *Vehicle Offtracking Models* od The University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) vydané v roce 1985. Dnes jsou simulační programy zdokonaleny o výpočetní algoritmy, které vychází z mnoha provedených studií a měření novými technologiemi, avšak tyto algoritmy jsou obchodním tajemstvím společností a nelze tedy ověřit, na jakém základě fungují.

Simulační programy přináší mnoho výhod, především při projektování dopravních staveb. Využívají se nejenom pro ověření a návrh nového stavu, ale i pro ověření stávajícího stavu. Oproti ostatním metodám výrazně usnadňují práci a šetří čas i peníze. Programy obsahují širokou škálu vlastností a pokročilé funkce pro analýzu vlečných křivek. Součástí jsou i databáze vozidel dle norem a předpisů jednotlivých států umožňující uživatelům rozmanité možnosti a způsoby využití.

I přes spoustu výhod má simulační metoda poměrně zásadní nevýhody. Vlečné křivky, které simulují průjezd jsou závislé na nastavení programu, užití funkcí a způsobu ovládání projektanta, což se mnohdy může lišit od reality. Při projektování se volí ideální trajektorie průjezdu, avšak ve skutečnosti kombinace stavebních prvků a schopností řidičů nemusí zajistit očekávaný výsledek. S tím se pojí, že dosud nebyla zpracována metodika, jak by měl projektant v případě navrhování pomocí simulačních programů správně postupovat. Proto prozatím není vhodné používat simulační metody jako jednoznačně průkazný nástroj. Obrázek 13 zobrazuje rozdíly odlišného pojetí k ověřování průjezdnosti. Rozdíly vznikají různým přístupem uživatele, vybraným nástrojem nebo nastavením simulačního programu.



Obrázek 13 – Různé způsoby průjezdu a nastavení programu

5.3.1 Simulační programy

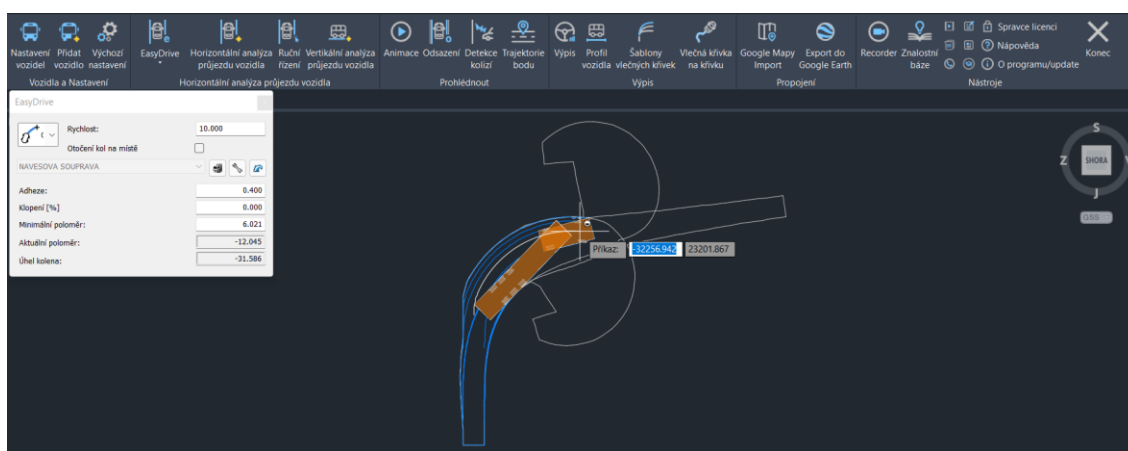
Na trhu je k dispozici velké množství softwarů zabývajících se vlečnými křivkami. Mezi nejběžnější a nejpoužívanější softwary v oblasti dopravního stavitelství se řadí Autopath, AutoTURN a Vehicle Tracking, kterými se zabývám v následujících kapitolách. Většina programů, včetně výše uvedených, pracují v běžně známých grafických prostředích, tedy CAD, eventuálně MicroStation. Svým rozhraním a uspořádáním jsou uživatelsky přívětivé a snadno ovladatelné. Základní funkce jednotlivých programů jsou vyznačeny v následující tabulce 5.

Tabulka 5 – Funkce simulačních programů

Program	Funkce												
	3D	Nastavení a přidání vozidel	Úprava zobrazení (vykreslení)	Vlastní průjezd	Analýza průjezdu	Nadjíždění a rohová trasa	Ruční řízení	Automaticky generovaná trasa	Vertikální analýza	Rozhled řidiče	Výpisy, vykreslení šablon, animace	Import mapových podkladů	Projekční doplňky
Autopath		x	x	x	x		x		x		x	x	
Autoturn	x	x	x	x	x	x		x	x	x			
Vehicle tracking	x	x		x	x	x	x		x		x		x

5.3.1.1 Autopath

Prvním zmiňovaným programem je Autopath od společnosti CGS Labs s.r.o. Pracuje na CAD platformách AutoCAD, Civil 3D nebo BricsCAD pouze ve 2D prostoru. Obsahuje interaktivní modely pro analýzu vlečných křivek standardizovaných i speciálních vozidel v závislosti na rychlosti, převýšení, bočním tření a poloměru zatáčení. Program zahrnuje pokročilé funkce, jako je schopnost zastavení nebo předvídání manévrů jízdy vpřed i vzad. Adaptivní horizontální a vertikální analýza umožňuje tvorbu vlečných křivek v závislosti na vložených, křivkách nebo trasách. Vytvořené analýzy lze dynamicky upravovat. Program ve vazbě na obalovou křivku a zvolenou hranici umí detekovat kolize. Součástí funkcí je i tvorba 2D animace. [16]



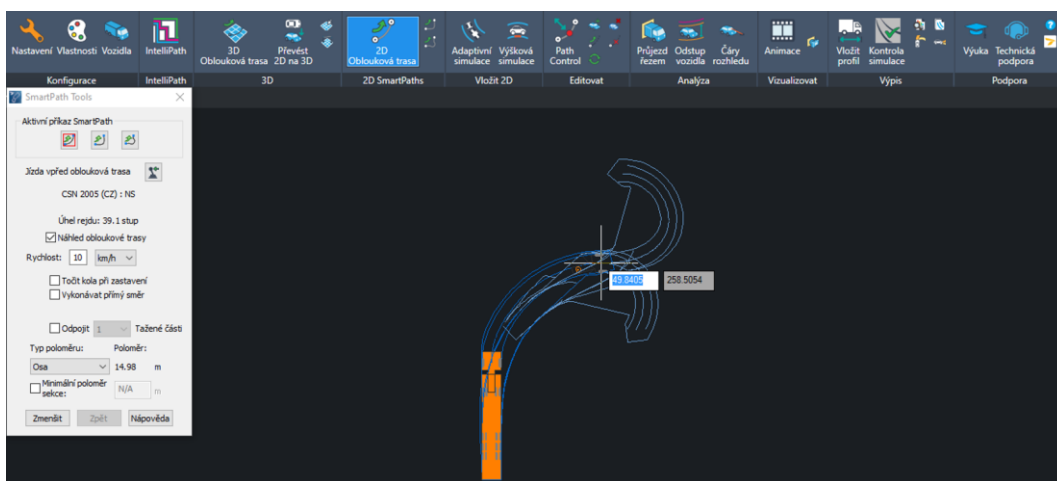
Obrázek 14 – Rozhraní Autopath v programu Civil 3D

Autopath je dodáván s knihovnami vozidel dle národních norem a standardů, včetně české TP 171. Knihovna obsahuje i speciální vozidla hasičského záchranného sboru, letadla, zemědělské stroje, jeřáby a další. Program umožňuje úpravu již nastavených vozidel nebo definování či přidání nového vlastního vozidla.

Výhodou je propojení programu s online mapami od společnosti Google. Takové rozhraní umožňuje importování mapových podkladů nebo ortofoto mapy do výkresů v měřítku, čímž můžeme rychle a snadno ověřit průjezdnost v daném místě a výrazně tím urychlit práci. Nevýhodou může být pro zkušené uživatele absence rozšířeného nastavení průjezdu, řízení, dynamického chování vozidel atp. V případě tvorby výpisů či šablon může chybět možnost uživatelských úprav zobrazení a vykreslení nebo volba úhlů zatačení.

5.3.1.2 AutoTURN

Program AutoTURN byl stvořen za účelem simulace manévrů vozidel při nízkých rychlostech. Řadu let je vyvíjen společností Transoft Solutions. Software je kompatibilní s platformami AutoCAD, Civil 3D, MicroStation, BricsCAD, ZWCAD a další. Program obsahuje funkce pro tvorbu vlečných křivek nejenom ve 2D, ale i 3D. Své uplatnění najde zejména v dopravním stavitelství při návrhu pozemních komunikací. Stejně jako Autopath nebo Vehicle Tracking si zakládá na jednoduchém uživatelském rozhraní a unikátních funkcích pro simulaci co nejreálnějšího průjezdu vozidel. Mezi hlavní funkce patří adaptivní simulace, detekce kolizí, animace řízení a technologie nástrojů SmartPaths včetně rohové trasy s nájezdem. Nechybí zde ani analýza vertikálního průjezdu a vykreslení zorného pole řidiče pro detekci překážek. Minimální přesnost vykreslení, kterou je program schopen zaručit, je 0,04 m. [17]



Obrázek 15 – Rozhraní AtutoTURN v programu ZWCAD

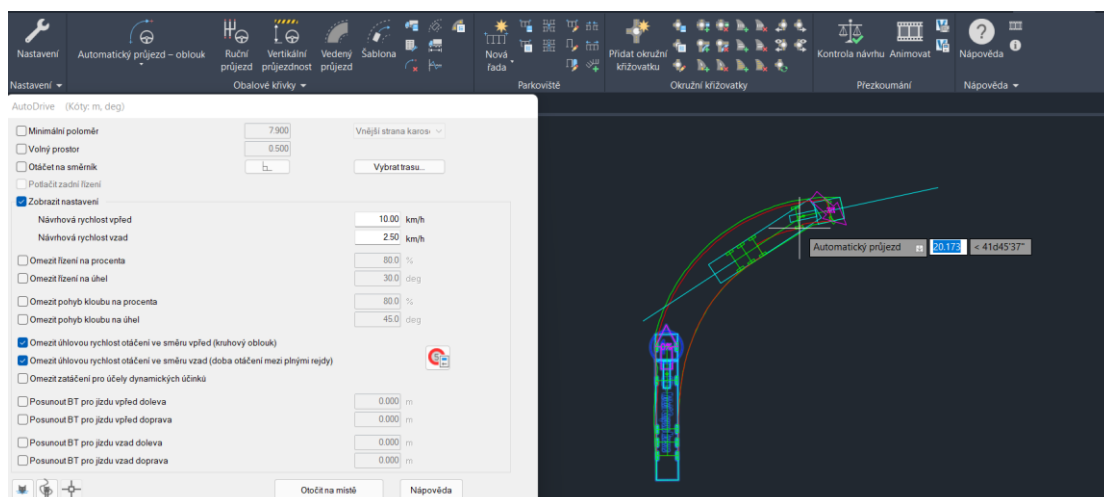
Obdobně jako Autopath využívá AutoTURN databázi vozidel podle státních standardů a nechybí zde ani TP 171. Knihovna vozidel obsahuje taktéž i speciální vozidla. Uživatel má možnost vozidla upravovat, přidávat nebo definovat nová vozidla.

Mezi výhody tohoto programu řadím možnosti uživatelského nastavení. Tedy úpravy nebo různé varianty omezení řízení a pohybů nebo možnosti nastavení vykreslení jednotlivých prvků, včetně šrafování vlečné plochy.

Pro uživatele, kteří nedisponují CAD softwary byla zavedena verze Autoturn online, jež pracuje v prostředí webového prohlížeče. Funkce navazují na desktopovou verzi a umožňují rychle a snadno ověřit průjezdnost jednoduchou ovladatelností. Online knihovna vozidel obsahuje přes 500 vozidel, což je více než dostačující pro běžného uživatele. [18]

5.3.1.3 Autodesk Vehicle Tracking

Vehicle Tracking poskytuje sadu nástrojů pro projektování dopravních staveb s využitím vlečných křivek vozidel ve 2D a 3D. Jedná se o nadstavbovou aplikaci pro CAD platformy Autodesk (AutoCAD, Civil 3D), ale je k dispozici i verze pro MicroStation. Vehicle Tracking vychází z původní aplikace AutoTrack. Sada nástrojů pro analýzu průjezdu je doplněna o funkce pro rychlý a efektivní návrh parkovacích ploch nebo okružních křižovatek. Uživatelé mají k dispozici různé jízdní režimy pro konkrétní užití. Na výběr je k dispozici automatický průjezd pomocí oblouku nebo směrníku v různých úhlech odbočení, sledování vykreslené čáry nebo ruční průjezd. Nechybí zde ani analýza vertikální průjezdnosti. [19]



Obrázek 16 – Rozhraní Vehicle Tracking v programu Civil 3D

Program poskytuje rozsáhlou databázi vozidel, včetně kamionů, nákladních vozidel, autobusů, letadel nebo kolejových vozidel. Umožňuje tvorbu vlastních typů vozidel tažných či přípojných. V databázi vozidel nechybí ani česká vozidla uvedená v TP 171 a standardy.

Podobně jako v programu AutoTURN umožňuje rozšířené nastavení jednotlivých parametrů vozidel nebo analýzy průjezdu. Výhodou je podpora 3D průjezdu, což se uplatní nejen pro ověřování vertikální průjezdnosti, ale i zkvalitnění a provádění realistických animací. Menší mínus přikládám k nemožnosti nastavení vizuálních prvků vykreslení, tedy šrafování vlečné plochy, změna barev obalových křivek atp.

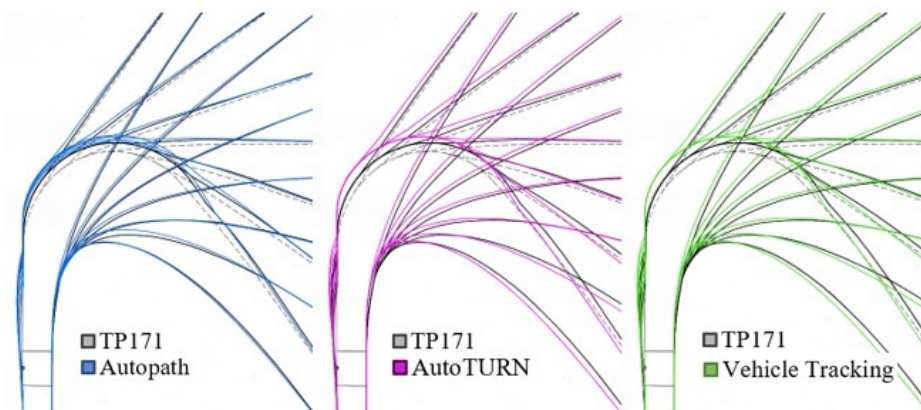
6 POROVNÁNÍ VLEČNÝCH KŘIVEK

Jednotlivé simulační programy se řídí vlastními výpočtovými algoritmy, které vychází ze známých fyzikálních zákonů a teorií. K dosažení velmi přesných simulací se algoritmy zpřesňují novými technologiemi a poznatky z provedených experimentálních měření. Proto se v první části této kapitoly zaměřím na rozdíly vlečných ploch simulačních programů a předpisu TP 171. Druhá část se věnuje samotnému porovnání simulačních programů mezi sebou na základě vykreslených vlečných křivek.

6.1 Porovnání vlečných křivek simulačních programů s šablonou TP 171

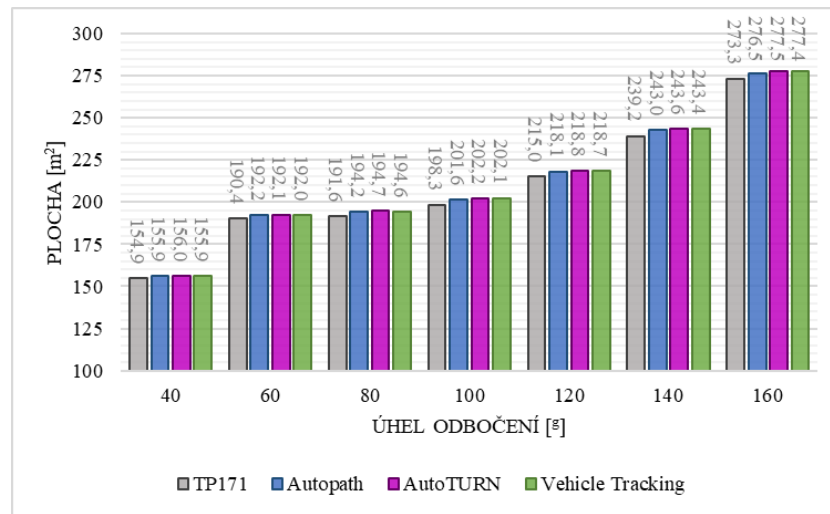
Porovnání byla provedena pro vlečné křivky návěsové soupravy mezi referenční šablonou předpisu TP 171 a šablonami vygenerovanými programy Autopath, AutoTURN a Vehicle Tracking. Pro jednoduché srovnání byla šablona z TP 171 podložena v odpovídajícím měřítku do programu AutoCAD. Porovnání bylo provedeno pro úhly odbočení 40^g až 160^g s intervalem po 20^g. Jako způsob jízdy byl zvolen případ 1, neboť se běžně objevuje v provozu a užívá se při dimenzování nových částí PK. Vnější poloměr oblouku obalové křivky karoserie byl nastaven na minimální hodnotu pro návěsové soupravy 7,90 m, aby odpovídal vstupním parametrům TP 171.

Jednotlivé vlečné křivky jsou tvarově i velikostně velmi podobné, avšak některé detaily se mírně odlišují. Rozdíly jsou patrné zejména u velikosti a polohy obalové křivky v oblouku na vnější i vnitřní straně, které jsou u simulačních křivek umístěny výše, respektive vně oblouků. Dalším místem se zřejmou odchylkou je prostor vybočení zadní části návěsu, jež je typický při průjezdu směrovými oblouky s velmi malými poloměry. Tato kapsa vybočení mění svoji polohu v závislosti na úhlu odbočení, zpravidla se u AutoTURN a Vehicle Tracking pohybuje výše než u Autopath nebo v předpisu TP 171, viz obrázek 17. Velikost této kapsy vybočení je u všech programů přibližně stejná jako u TP 171.



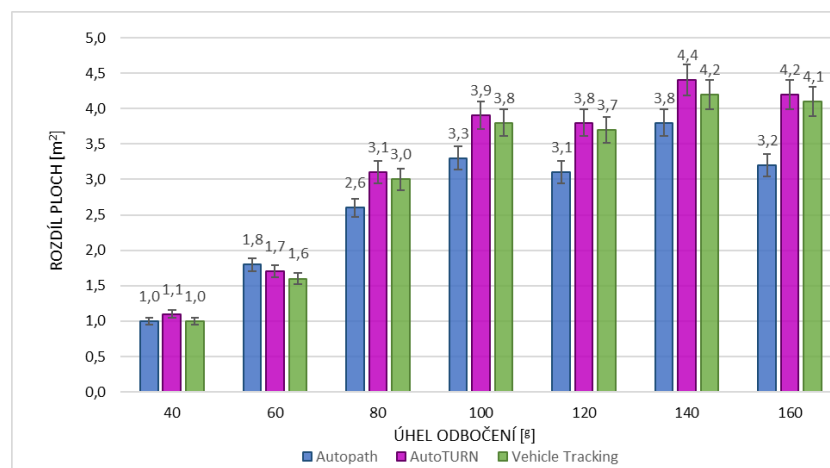
Obrázek 17 – Srovnání vlečných křivek simulačních programů s TP 171

Graf 1 zobrazuje plochy průjezdu v závislosti na úhlu odbočení pro stejnou délku jízdy. V žádném případě nenastala situace, kdy by simulované vlečné křivky vykazovaly menší plochy než šablona TP 171.



Graf 1 – Plochy vlečných křivek

Obecně jsou odchylky v oblouku a v kapse vybočení zadní části návěsu větší u softwarů AutoTURN a Vehicle Tracking. Rozdíly v celkovém součtu ploch vlečných křivek simulačních programů k referenční šabloně se pohybují v rozmezí od +1,27 % (Autopath) do +1,50 % (AutoTURN). Tato hodnota však neplatí pro oblast v oblouku. Zde dochází k výrazně větším odchylkám, které mohou dosahovat více procent. Z porovnání plyne, že s rostoucím úhlem odbočení se zvyšuje odchylka ploch, avšak Autopath se s vyššími úhly odbočení vykazuje s nižšími odchylkami, viz graf 2. Do grafu 2 byla zanesena 5 % chybová úsečka.



Graf 2 – Rozdíly ploch vlečných křivek simulačních programů od TP 171

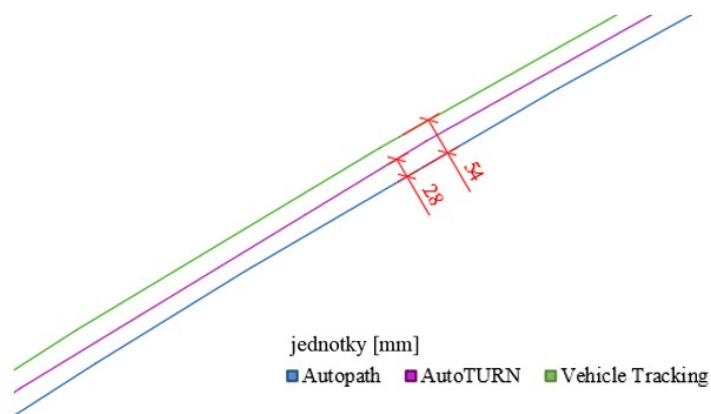
Na základě výše uvedeného porovnání však lze prohlásit, že nejvíce se k referenční šabloně TP 171 přibližuje simulace programu Autopath, jelikož poloha kapsy vybočení a obalových křivek v oblouku jsou si nejvíce podobné.

Z vlečných ploch programů vyplývá, že simulační programy zahrnují určité bezpečnostní koeficienty a skryté pohybové vůle, aby se s jistotou zajistila průjezdnost, což nemusí být vždy výhodné z hlediska předimenzování. Předimenzování umožňuje projet úsek vyšší rychlostí a též není vhodný z ekonomických důvodů. [20]

Jelikož nejsou známy vstupní parametry, postup a další informace, na jejichž základě byly zpracovány šablony TP 171, není možné podrobnější zpracování a vyhodnocení dalších výsledků.

6.2 Porovnání simulačních programů

Samotné porovnání simulačních programů na základě vykreslených vlečných křivek se liší v řádech několika centimetrů, přičemž Autopath vykazuje větší rozdíl oproti ostatním programům na vnitřní obalové křivce. V případě, že se vnější obalové křivky rovnají, je rozdíl vnitřní obalové křivky Autopath na straně bezpečné. Průběhy vlečných křivek programů AutoTURN a Vehicle Tracking jsou téměř totožné, avšak obalové křivky Vehicle Tracking jsou mírně posunuty vně oblouku. Z obalových křivek simulačních programů pro shodné trasy lze usoudit, že křivky AutoTURN přibližně odpovídají střední hodnotě z křivek Autopath a Vehicle Tracking. Rozdíly programů na vnitřní straně oblouku při úhlu odbočení 90°, poloměru oblouku 15,0 m a rychlosti 10 km/h jsou názorné z obrázku 18. Rozdíl krajních obalových křivek činil 54 mm, prostřední křivka byla vzdálena od vnitřní 28 mm. Potřebné je zde také zmínit, že každý program vykresluje křivky s určitou přesností (AutoTURN min. 0,04 m), tudíž skutečné hodnoty se mohou od hodnot uvedených na obrázku 18 mírně odlišovat.



Obrázek 18 – Rozdíly obalových křivek na vnitřní straně oblouku

Zajímavostí je, že u trasy vedené shodnými body vykazují programy výrazně odlišné simulace, což přisuzují k mírně lišícímu se nastavení nástrojů a výpočetním algoritmům jednotlivých programů.

7 APLIKACE SOFTWARE A OVĚŘENÍ PRŮJEZDNOSTI NA PK

Pro aplikaci vlečných křivek za využití softwaru a zhodnocení stávajícího stavu pozemních komunikací byla vybrána místa, u nichž se předpokládají vyšší průjezdové nároky. Typickými místy se zvýšenými prostorovými nároky jsou oblasti křižovatek nebo oblouků v zastavěném území a ve stísněných prostorech. Místa byla zvolena tak, aby zahrnovala problematiku různých typů křižovatek a křižovatkových úseků, tedy připojovací pruh, odbočovací pruh průsečné křižovatky a části okružní křižovatky.

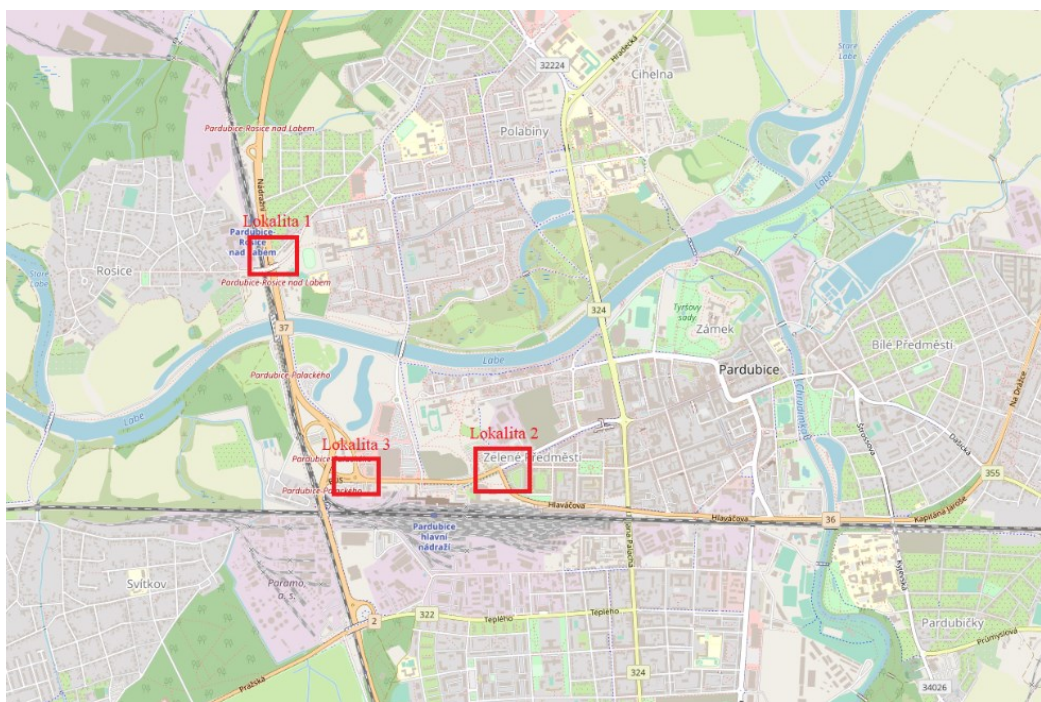
Vyhodnocení vybraných míst bylo provedeno na základě výsledků z pozorování a vlečných křivek ze simulačního programu. Během pozorování byly zaznamenávány průjezdy nákladních návěsových a přívěsových souprav za účelem zjištění vyhovujícího či nevyhovujícího stavu. Dalším sledovaným parametrem byly skutečné vlečné křivky pro porovnání s výsledky simulačního programu. Takové porovnání je však založeno pouze na přibližném odhadu.

Ověření průjezdnosti bylo provedeno simulačním programem AutoTURN, který dle předchozích výsledků zohledňuje míru bezpečnosti a vůle při pohybech vozidel. Také, jak je uvedeno v porovnání vlečných křivek, simulace AutoTURN přibližně odpovídá střední hodnotě z ostatních programů, což zajistí, že simulace průjezdu bude mít na obě strany přibližně stejné odchylky od ostatních simulačních programů. Dalším faktorem výběru programu byla možnost uživatelských úprav a předešlá zkušenost.

Směrodatným vozidlem pro ověření byla zvolena návěsová souprava, která se uvažuje jako směrodatné (návrhové) vozidlo pro významné silnice a místní komunikace, viz tabulka 3. Každý vybraný úsek byl ověřen různými způsoby řízení, které jsou možné v daném úseku provést, nebo které se objevovaly během pozorování. Výsledné vlečné křivky byly simulovány ručně obloukovou trasou (2D Arc path) za konstantní rychlosti 5 km/h. Simulované vlečné plochy, ve kterých dochází ke kolizi s dopravní infrastrukturou nebo omezují provoz v přilehlém jízdním pruhu jsou vyznačeny na obrázcích červeně.

7.1 Širší vztahy analyzovaných lokalit

Místa, které se analyzují v této bakalářské práci se nachází v intravilánu města Pardubice. Pardubicemi prochází dvě páteřní silnice I. třídy. Silnice I/36 prochází středem Pardubic, tedy hustě zastavěnou oblastí. Tato silnice se mimoúrovňově napojuje na průtah silnice I/37, kam přivádí dopravu ze směru od Holic. Silnice I/37 vede dopravu od Chrudimi do Hradce Králové nebo na dálnici D35. I/37 protíná Pardubice v západní části města.



Obrázek 19 – Vybrané lokality v Pardubicích [7]

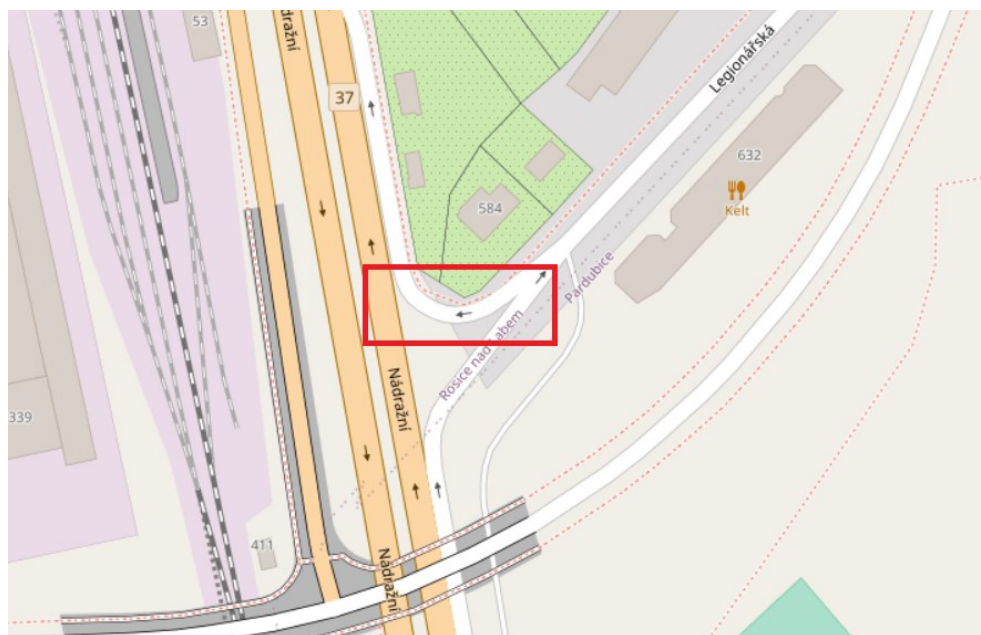
RPDI všech vozidel na silnici I/36 za rok 2020 ve sčítacím úseku 5-0195 činil 20152 voz/den, z čehož 3935 bylo těžkých vozidel. Návěsových souprav nákladních vozidel pak bylo zaznamenáno 701. Hodnota špičkové hodinové intenzity dopravy byla 1754 voz/hod. [9]

Ve sčítacím úseku 5-0182 na silnici I/37 byl RPDI pro všechna vozidla 34468 voz/den, přičemž špičková hodinová intenzita činila 2952 vozidel. Těžkých vozidel bylo průměrně zaznamenáno 9621 voz/den, z nichž nákladních návěsových souprav bylo 1995 vozidel. [9]

Dle sčítání dopravy lze usoudit, že se jedná o úseky s vysokou intenzitou dopravy. V těchto úsecích je průjezd umožněn všem vozidlům bez omezení, a proto také značný počet vozidel představuje tranzitní doprava. Tranzitní doprava znamená problém především pro zmiňovanou silnici I/36, která vede provoz napříč městem, což v ranních i odpoledních dopravních špičkách výrazně komplikuje dopravu v okolí hlavního nádraží v Pardubicích. Na plynulost dopravy má také vliv i poměrně mnoho úrovňového křížení v této oblasti, ať už se jedná o kruhový objezd nebo světelně řízené křižovatky.

7.2 Lokalita 1 - přípojovací větev na silnici I/37 z ulice Legionářská

Jedná se o přípojovací pruh z místní komunikace (ul. Legionářská) na silnici I/37 v provozním staničení 46,875 km. Přípojovací pruh umožňuje napojení ve směru na Hradec Králové. Provoz je tvořen převážně osobními nebo lehkými nákladními automobily, nicméně kvůli průmyslové oblasti u nádraží v Rosicích nebo zásobování obchodního centra v Rosicích je přípojovací pruh značně zatížen i těžkými nákladními soupravami.



Obrázek 20 – Lokalita 1 - přípojovací pruh [7]

7.2.1 Stávající stavebně-technické parametry

Povolená rychlost na místní komunikaci je 50 km/h. Maximální povolená rychlost na silnici I/37, v úseku přípojovacího pruhu, činí 80 km/h. Přímý úsek přípojovacího pruhu má délku přibližně 100 m s šířkou pruhu 3,25 m. Šířka jízdního pruhu před hranicí křižovatky od střední dělicí čáry k žulové dvojlince, která lemuje betonovou obrubu, se rovná 4,75 m a v oblouku se rozšiřuje na 5,00 m. Osy obou komunikací se v místě napojení protínají pod úhlem přibližně 56° s vnitřním poloměrem oblouku cca 15,00 m, dle odměření v programu Civil 3D.

Zaoblení je provedeno prostým kružnicovým obloukem. Vnitřní poloměr koresponduje s doporučeným poloměrem nároží křižovatek, který by měl umožňovat průjezd i přívěsové soupravy. [5]

Tato kombinace úhlu s prostým kružnicovým obloukem o malém poloměru utváří poměrně nevhodné uspořádání pro průjezd nákladních vozidel.



Obrázek 21 – Pohled na připojovací větev

Po pravé straně jízdního pruhu se v celém úseku nachází chodník s proměnnou šířkou 3,00 - 3,50 m, který je oddělen od jízdního pruhu zeleným pásem šířky cca 0,60 m. Značný problém pro projíždějící vozidla představuje převýšení chodníku nad vozovkou, kde v nejvyšším místě bylo naměřeno přibližně 0,70 m, což může být patrné i z fotografií na obrázku 22.

Značné poruchy jsou dle předpokladů na vnitřní straně oblouku, viz obrázek 22. V části nároží téměř vymizela zatravněná plocha, viditelné je i poničení kamenné obruby. V nejkritičtějších místech obruba na několika metrech zcela chybí. Zřejmé jsou i rozvětvené trhliny při okraji asfaltové vozovky. Na přilehlé části chodníku jsou viditelné rýhy, které pravděpodobně vznikly vláčením zadního nárazníku návěsu nebo přívěsu při průjezdu jízdních souprav.



Obrázek 22 – Porucha na vnitřní straně oblouku

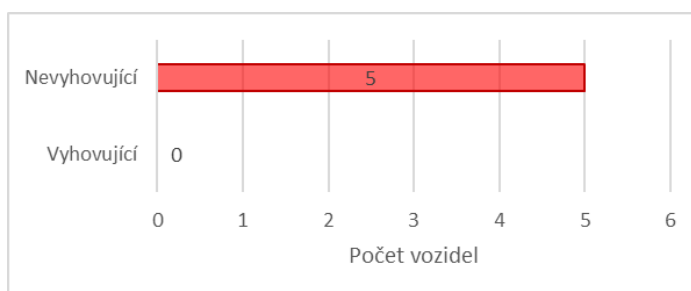
7.2.2 Analýza průjezdu nákladních vozidel

Během pozorování průjezdu vozidel bylo zřetelné, že větší vozidla nemají dostatečný prostor pro plynulé a bezpečné napojení na silnici I/37. Řidiči si museli často nadjíždět i výrazně mimo vymezený jízdní pruh, což mimo jiné potvrzuje ztráta viditelnosti vodorovného značení V13a ve zpevněné krajnici u středního dělicího ostrůvku. Rychlost projíždějících nákladních vozidel byla velmi nízká a někdy došlo k úplnému zastavení, jelikož by vozidla zasahovali do přilehlého jízdního pruhu a ovlivnily by tak provoz na hlavní komunikaci, viz pravé foto na obrázku 23. Průjezd některých nákladních vozidel je zachycený na obrázku 23 nebo v příloze 2, z nichž jsou patrné nedostatečné prostory.



Obrázek 23 – Průjezd vozidel připojovací větví

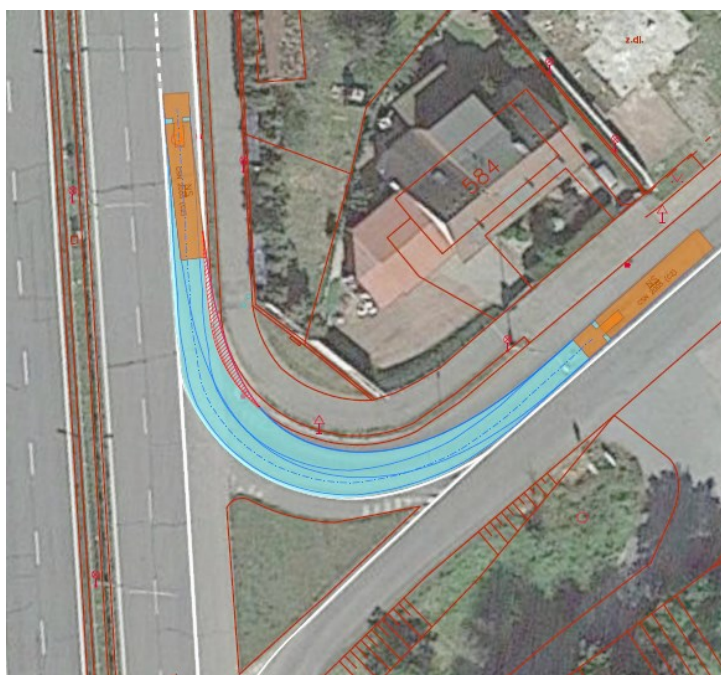
V grafu 3 jsou zaznamenány vyhovující a nevhovující průjezdy nákladních vozidel. Nevhovující průjezd znamená, že vozidlo v některé části vyjelo mimo vymezený prostor nebo provedlo nestandardní manévry. Průjezd bez problémů s dostatečným manévrovacím prostorem byl hodnocen jako vyhovující. Během pozorování nebyla intenzita návěsových či přívěsových vozidel nikterak vysoká a pro přesnější výsledky by byl zapotřebí delší časový úsek. Nicméně výsledky zaznamenaných vozidel ukazují uchopitelný výstup. Zaznamenáno bylo celkem 5 nákladních vozidel, přičemž žádné vozidlo nemělo dostatečné manévrovací prostory.



Graf 3 – Četnost průjezdů vozidel připojovacím pruhem

7.2.3 Ověření průjezdnosti simulačním programem a vyhodnocení úseku

Simulované vlečné křivky návěsové soupravy v připojovacím pruhu jsou zobrazeny na obrázku 24 nebo v příloze 1. Kolizní plocha uvedená na obrázku 24 je cca 15 m². Ze simulovaných vlečných křivek vyplývá, že pro vozidla s podobnými nebo vyššími nároky, než vyžaduje směrodatná návěsová souprava, je průjezd připojovacím pruhem obtížný a prostory nedostatečné. I v případě, že se provede nadjetí do levé zpevněné krajnice, tažené vozidlo zasahuje do zeleného pruhu. Výrazné zlepšení nenastalo ani při vyjetí do přílehlého jízdniho pruhu, toto řešení však není přípustné a bylo zpracováno pouze na základě stopy jízdy některých pozorovaných vozidel.



Obrázek 24 – Vlečné křivky AutoTURN – připojovací pruh

Výsledky pozorování a simulací vlečných křivek vykazují velmi podobné výsledky. Mírný rozdíl má poloha vnitřní obalové křivky, kde simulační programy zahrnují bezpečnostní rezervy zmiňované výše. Z pozorování a simulací vlečných křivek lze usoudit, že stávající stav nevyhovuje požadavkům jízdniích souprav. Nevyhovuje především výjezdová část oblouku, kde není potřebný průjezdný prostor.

Nedostatečnými prostory pro průjezd vozidel s vyššími prostorovými nároky se v tomto místě výrazně snižuje bezpečnost účastníků provozu. Ať už se jedná o ohrožení chodců nebo cyklistů na komunikaci se smíšeným provozem, kde zadní tažená část vozidla zasahuje do přidruženého prostoru komunikace nebo v opačném případě bezpečnost vozidel, kdy na výjezdu z oblouku není dodržen bezpečnostní odstup od průběžného jízdniho pruhu. V případě vyjetí vozidla

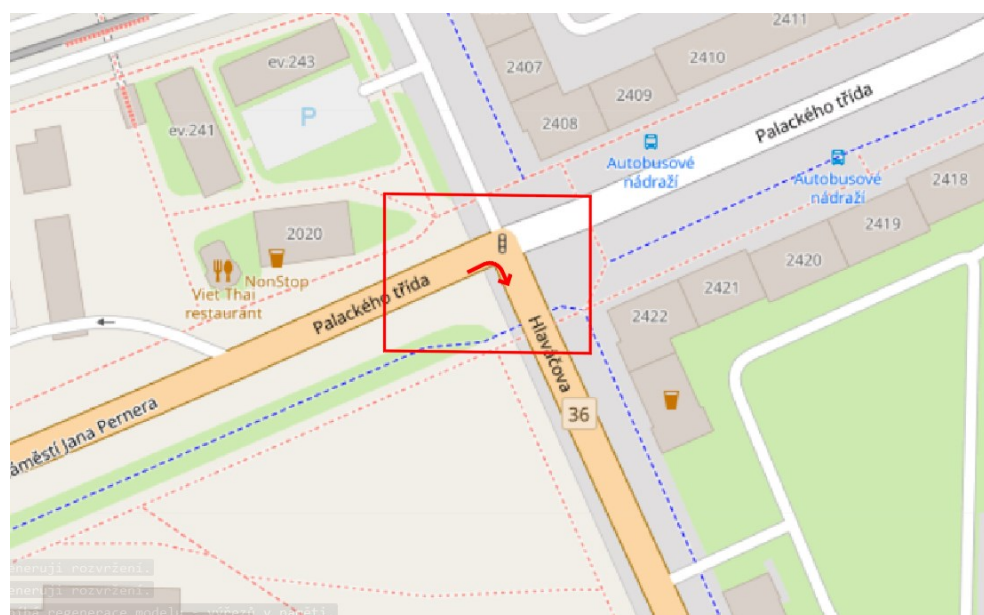
mimo jízdní pruh hrozí střet s projíždějícím vozidlem. Situaci nenapomáhá ani délka připojovacího pruhu (pouze cca 100 m), kdy řidiči těžkých vozidel potřebují dosáhnout požadované rychlosti pro napojení, což může způsobovat vyšší rychlost na výjezdu z oblouku. Vyšší rychlost znamená horší manévrovací schopnosti a kratší dobu na reakci, čímž se opět snižuje bezpečnost v úseku.

Za účelem zlepšení průjezdnosti a zároveň i zvýšení bezpečnosti účastníků provozu v daném místě by byla vhodná stavební úprava, která by se týkala především výjezdové části oblouku, respektive oblast začátku připojovacího pruhu. Rozšíření jízdního pruhu a úprava geometrie nároží na složený oblouk nebo kombinace prostého oblouku a lineárního náběhu by značně usnadnila průjezd. Možné úpravy vychází z Metodiky pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel. [2]

Vlivem rozšíření jízdního pruhu a odsunem hrany nároží by došlo ke zúžení chodníku, což stávající šířka umožňuje. Účelná by byla i úprava výškového vedení chodníku v místě oblouku, aby se snížilo převýšení nad hranou vozovky. Pro vyšší bezpečnost chodců by bylo vhodné osazení zábradlí v oblouku.

7.3 Lokalita 2 – křižovatka ulic Palackého třída a Hlaváčova – odbočovací pruh

Druhé vybrané místo se nachází na silnici I/36 u autobusového nádraží. Jedná se o průsečnou křižovatku ulic Palackého třída a Hlaváčova. Řešeným průjezdným prvkem je pravý odbočovací pruh po hlavní komunikaci, směr ulice Hlaváčova a dále na Holice.

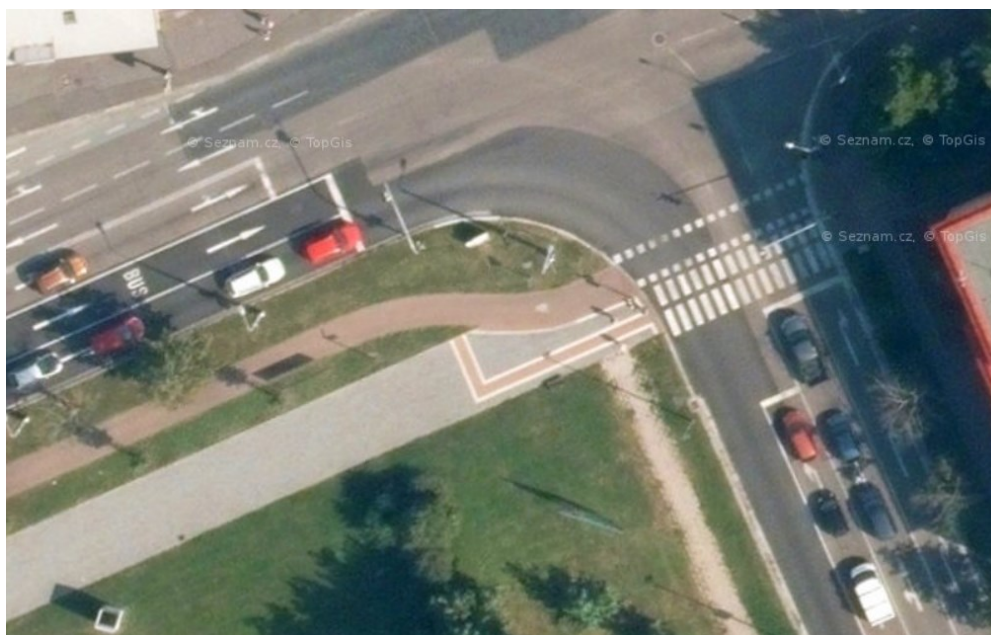


Obrázek 25 – Lokalita 2 – nároží křižovatky [7]

7.3.1 Stávající stavebně-technické parametry

Uspořádání křižovatky v místě nároží je patrné na obrázku 26. Celá oblast před křižovatkou se nachází v intravilánu, čímž je rychlost stanovena na 50 km/h. Šířka pravého odbočovacího pruhu před bodem odbočení byla naměřena 3,25 m. Jízdní pruh za křižovatkou má šířku 4,00 m. Jízdní pruh je vymezen vodorovným dopravním značením a odvodňovacím zařízením, a to zprava odvodňovacím proužkem 0,50 m nebo žulovou trojlinkou a zleva plnou čarou V1a s tloušťkou 0,125 m. V místě odbočení je vlevo V1a přerušovaná. Hlavní dopravní prostor uzavírá žulový obrubník šířky 0,25 m. Po pravé straně na konci nároží se nachází přechod pro chodce souběžně s přejezdem pro cyklisty. Hranice zastavení levého odbočovacího pruhu z ulice Hlaváčova je odsunuta o 7,50 m.

Vnitřní poloměr prostého kružnicového oblouku odbočovacího pruhu je 15,00 m. Podle české normy pro navrhování křižovatek se jedná o minimální doporučený poloměr oblouků pro provoz přívěsové soupravy nebo kloubového autobusu. [5]



Obrázek 26 – Uspořádání křižovatky ulic Palackého třída a Hlaváčova [8]

Křižovatka je řízena světelným signalizačním zařízením. Během pozorování bylo zjištěno, že při průjezdu vozidel odbočujících z Hlaváčovy ulice vlevo se s mírným zpožděním povoluje jízda s odbočením vpravo z ulice Palackého třída. Ač tato kombinace průjezdu je možná, jelikož nedochází ke křížení jízdy, tak z pohledu bezpečnosti poměrně nevyhovující, kdy míjející vozidla nemají potřebný bezpečnostní odstup. Na horší průjezdové poměry v místě nároží poukazuje i odsazení hranice zastavení před křižovatkou v levém odbočovacím pruhu v ulici Hlaváčova.

Asfaltový povrch vozovky v oblasti odbočovacího pruhu prošel v minulých letech několika opravami. Na stávajícím povrchu jsou již mírně vyjeté koleje. Znatelné poruchy jsou na vnitřní straně nároží, kde vlivem poježdění byly poškozeny žulové obrubníky a odvodňovací zařízení, viz obrázek 27.



Obrázek 27 – Porušení nároží křižovatky

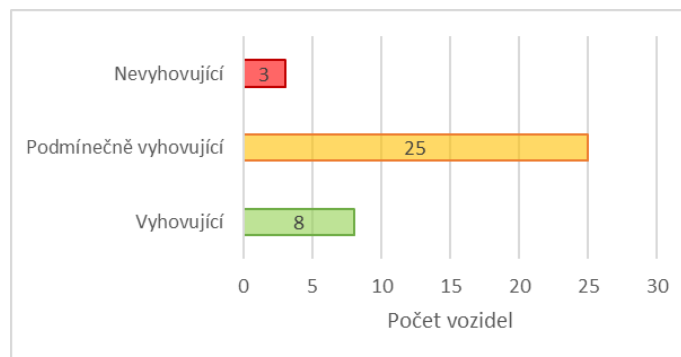
7.3.2 Analýza průjezdu nákladních vozidel

Řidiči často volili stopu jízdy na vjezdu při levém okraji jízdního pruhu, aby docílili maximálního nadjetí do oblouku. Mnohdy docházelo k vyjetí mimo vymezený pruh na výjezdu z oblouku. Průjezdy vozidel jsou zachyceny na obrázku 28 nebo v příloze 3. Vyjetí se v tomto místě umožňuje, avšak omezuje přilehlý jízdní pruh v opačném směru jízdy, který má taktéž umožněný průjezd ve stejný čas, viz obrázek 28. Jelikož v tomto úseku je v ranních i odpoledních špičkách vysoká intenzita dopravy, mohou nastávat nebezpečné situace. V případě, že by řidič vlivem protijedoucího vozidla zvolil stopu blíže k nároží, mohl by vybočením zadní části vozidla ohrozit chodce či cyklisty čekající u okraje chodníku nebo minimálně najet na obrubu.



Obrázek 28 – Průjezd vozidel odbočovacím pruhem

Následující graf 4 zobrazuje četnosti průjezdů odbočovacím pruhem a člení je do 3 skupin. Za nevyhovující stav se považovala jízda po žulové trojlince a přes uliční vpust' nebo obrubník. V případě nadjetí do protisměrného jízdního pruhu bez omezení projíždějících vozidel byl průjezd uvažován jako podmíněčně vyhovující. Jízda ve vymezeném jízdním pruhu bez omezení a za přijatelných odstupů se řadila do skupiny vyhovující.

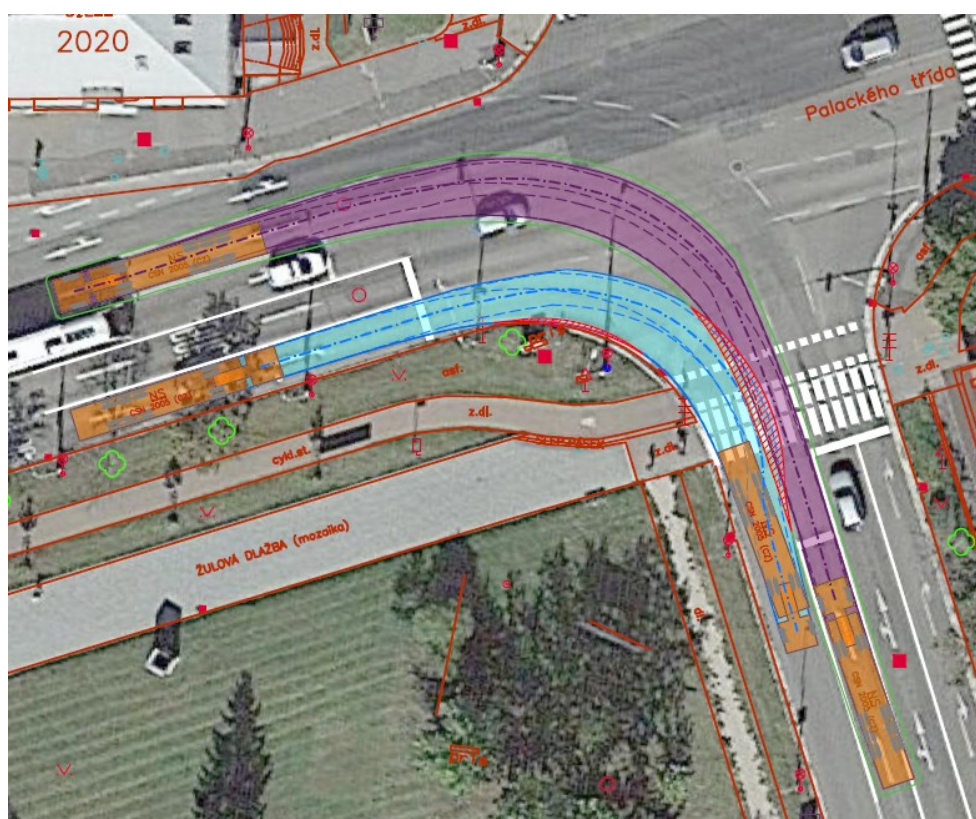


Graf 4 – Četnost průjezdů vozidel odbočovacím pruhem

Celkem projelo odbočovacím pruhem za pozorovaný čas 36 nákladních souprav. Z grafu 4 plyne, že téměř 70 % nákladních souprav volilo jízdní stopu podobnou vlečné křivce na obrázku 29, tedy s nadjetím na výjezdu, ovšem pouze v případě volného protisměrného pruhu. Když projížděla vozidla současně, docházelo téměř k zastavení a pokračování po vyklizení protisměrného pruhu. V jiných případech nastal stav nevyhovující kvůli dřívějšímu natočení volantu. Takový případ nastal během pozorování 3krát. V extrémních případech může dojít k najetí na obrubník, ovšem taková situace během pozorování nenastala. Přes 20 % vozidel projelo úsekem bez známek prostorových nedostatků a s přijatelným bezpečnostním odstupem.

7.3.3 Ověření průjezdnosti simulačním programem a vyhodnocení úseku

Výsledné simulované vlečné křivky různých průjezdů jsou znázorněny na obrázku 29 nebo v příloze 1. Simulované vlečné křivky ukazují, že průjezd návěsových souprav nárožím křižovatky vyžaduje velkou manipulační plochu. Přestože poloměr oblouku nároží splňuje minimální normová kritéria, ze simulací vlečných křivek je zřejmé, že pro některé způsoby řízení nevyhovuje. Jelikož světelně řízená křižovatka umožňuje průjezd v obou protisměrných jízdních pruzích téměř souběžně, je nezbytné pro plynulost provozu, aby části projíždějícího vozidla nezasahovala do průjezdného prostoru protijedoucích vozidel a zároveň se dodržel dostatečný bezpečnostní odstup. Při průjezdu bez nadjetí do protisměrného jízdního pruhu zasahuje vnitřní obalová křivka ve výjezdové části nad přilehlý chodník a obrubu, což zachycuje obrázek v příloze 1. Ostatní vlečné křivky využívají různé způsoby nadjetí, aby se zamezilo vjetí na vnitřní obrubu, přičemž výrazně zasahují do protisměrného pruhu.



Obrázek 29 – Vlečné křivky AutoTURN – nároží křižovatky

Pozorováním bylo zjištěno, že při správné jízdní stopě a rychlosti lze místem projet bez omezení a s určitou mírou bezpečnosti, což nebylo v žádném případě simulovaných vlečných křivek dosaženo. Nepochybně je pro tak vysokou intenzitu nákladní dopavy řešený úsek nevyhovující, jelikož bezmála 80 % vozidel se potýkalo s nedostatečnými prostory pro plynulý a bezpečný průjezd.

Nedostatečným prostorem a nevhodnou geometrií nároží se zvyšuje pravděpodobnost poruch dopravní infrastruktury. Během dopravních špiček se vlivem vysokého vytížení snižuje bezpečnost všech účastníků provozu, což mimo jiné dokazuje statistika nehodovosti v křižovatce. [21]

Snazší a bezpečnější průjezdnosti je možné docílit stavebními úpravami nároží. Možnými způsoby jsou větší poloměr oblouku, čímž by došlo k rozšíření odbočovacího pruhu v oblouku nebo úprava geometrie nároží na složený oblouk či kombinaci prostého oblouku a lineárního náběhu ve výjezdové části. Zároveň by se navýšila kapacita odbočovacího pruhu, jelikož by byl průjezd plynulejší. [2]

7.4 Lokalita 3 – Okružní křižovatka

V předchozích kapitolách jsem se zabýval spíše staršími úseky, které nebyly rekonstruovány pro dnešní typy vozidel a vysokou intenzitu. Tato podkapitola se bude týkat nově vybudované okružní křižovatky v ulici Palackého třída, jež je součástí mimoúrovňového křížení se silnicí I/37. Do okružní křižovatky se napojuje pět paprsků. Pro navýšení kapacity a plynulosti provozu je ve směru od hlavního nádraží na Hradec Králové provedena spojovací větev (tzv. bypass). Obrázek 30 znázorňuje okružní křižovatku s červeně vyznačenými směry jízdy, které jsou analyzovány níže.



Obrázek 30 – Kruhový objezd v ulici Palackého třída [7]

7.4.1 Stávající stavebně-technické parametry

Jedná se o okružní křižovatku jednopruhovou s pěti napojujícími paprsky. Šířka jízdního pruhu na okruhu je 5,30 m a šířka zpevněného prstence pak 1,20 m. Vnější průměr okružní křižovatky činí přibližně 39,00 m. Středový ostrov byl vyprojektován s průměrem 25,00 m, vnější průměr zpevněného prstence 27,40 m. Šířky jízdních pruhů na vjezdech jsou proměnné okolo 3,00 – 4,00 m, na výjezdech obdobně, avšak výjezd směrem na Hradec Králové má šířku jízdního pruhu 2,75 m. Jízdní pruhy v oblasti okružní křižovatky jsou vedeny směrovacími ostrůvky, které jsou lemovány betonovými obrubníky s převýšením 0,15 m a jsou vyplněny kačirkem. V místech, kde se předpokládá průjezd nadrozměrných vozidel jsou ostrůvky zpevněny a sníženy na předepsanou výšku. Vodorovné dopravní značení bylo užito v šířkách 0,125 m nebo 0,25 m, šířky čar se odvíjí podle významu a odpovídají předpisům.

Šířka jízdního pruhu spojovací větve je 3,75 m, mezi vnitřními okraji obrubníků pak 4,45 m. Ve vjezdové části je bypass zaoblen poloměrem 40,00 m a ve výjezdové části 100,00 m, mezi oblouky je vložený přímý úsek o délce necelých 22,00 m. Příčný sklon v místě bypassu byl proveden jako dostředný 2,50 % (dle poskytnuté projektové dokumentace). Po pravé straně spojovací větve vede chodník v šířce 2,00 m, který lemuje spojovací větev a je výškově umístěn nad hranou vozovky. Na začátku spojovací větve se nachází místo pro přecházení.

Vzhledem k nedávné dostavbě nebyly v celé oblasti okružní křižovatky zaznamenány poruchy nebo prvky, které by upozorňovaly na značně nedostatečné průjezdné prostory. Místy v kritických bodech byla zaznamenána ztráta viditelnosti vodorovného dopravního značení nebo barevné stopy na obrubách od pneumatik.

7.4.2 Analýza průjezdu nákladních vozidel

Spojovací větev

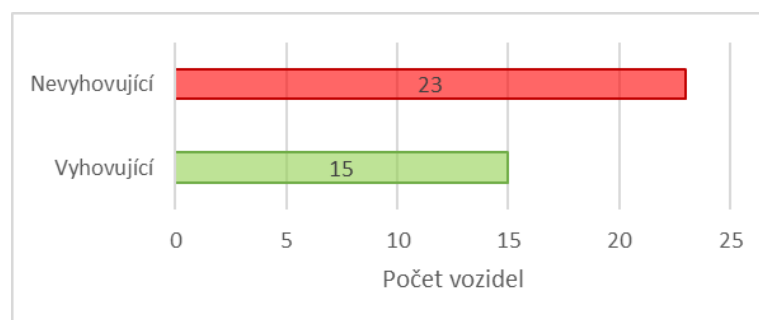
Během pozorování nákladních souprav projíždějících spojovací větví okružní křižovatky často řidiči volili jízdní stopu mírně vlevo od středu jízdního pruhu. V takových případech se zadní tažená část vychýlila na vnitřní vodorovné dopravní značení, viz obrázek 31, které v těchto místech ztrácí viditelnost. V menší míře pak byla užita jízda při levém okraji, přičemž trajektorie zadní části se nacházela v jízdním pruhu. Některá vozidla projížděla vyšší rychlostí než ostatní. To může být zapříčiněno tím, že řidiči těchto vozidel najížděli do spojovací větve přes dopravní stín (šikmé rovnoběžné čáry) před dělicím ostrůvkem, čímž se zmírní úhel odbočení. Jízda přes dopravní stín je sice zakázána, avšak v běžném provozu se místy objevuje.

Průjezd vyšší rychlostí ovlivňuje bezpečnost provozu na výjezdu ze spojovací větve, jelikož napojení upravuje přednost v jízdě. Fotografie zachycující průjezdy dalších vozidel spojovací větví jsou zobrazeny v příloze 4.



Obrázek 31 – Průjezd návěsové soupravy spojovací větví

Četnost a stav průjezdů nákladních souprav zachycuje následující graf 5. Průjezdy byly hodnoceny do dvou skupin. Do nevyhovující skupiny spadají vozidla, která během jízdy zasahovala svou částí mimo vymezený jízdní pruh. Jízdu ve vyhrazeném jízdním prostoru zahrnuje skupina vyhovující.



Graf 5 - Četnost průjezdů vozidel spojovací větví

Celkem bylo zaznamenáno během pozorování 38 průjezdů nákladních vozidel. Vyhovující a nevyhovující průjezdy jsou přibližně v poměru 40/60. Důležitý faktor, který zřejmě ovlivňuje vysoké číslo nevyhovujících průjezdů je psychologický efekt zvýšeného dělicího ostrůvku. Řidiči tak často raději zvolili stopu dále od levého okraje jízdního pruhu, a proto

se zadní část vozidla pohybovala mimo jízdní pruh na vnitřní straně. Vyhovující stav nastal v 15 případech, kdy jízdní stopa přiléhala k levému okraji jízdního pruhu. Konečné výsledky pozorování jsou tedy ovlivněny lidským faktorem, nikoliv závažnými prostorovými nedostatky.

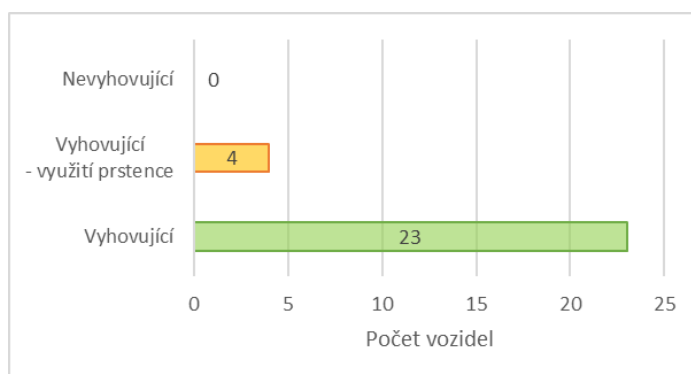
Okružní pás a vjezdové/výjezdové části

Průjezd nákladních vozidel okružní křižovatkou byl plynulý a nevyznačoval známky nedostatečných manévrovacích prostorů. Dělicí ostrůvek na vjezdu je rovný, čímž neovlivňuje nájezd řidičů do okružní křižovatky a zachovává potřebný výhled na okružní pás. Řidiči na vjezdu volili stopu jízdy při levém okraji jízdních pruhů. Výjezd z kruhového objezdu umožňuje vozidlům plynulé opuštění křižovatky, jelikož osa je vedena jako tečna k oblouku jízdního pruhu a nevyžaduje složité protisměrné natáčení volantu. Mírné nedostatky byly pozorovány na levé straně výjezdu, kde zadní levé kolo návěsu zasahovalo do šikmých čar VDZ. Na výjezdu z kruhového objezdu dominovala jízdní stopa při pravém okraji jízdního pruhu. Jízdní stopa nákladních souprav v okružním pásu se pohybovala převážně u pravého okraje, což logicky vyplývá z jízdních vlastností těchto vozidel při průjezdu oblouky s malými poloměry. Průjezdy nákladních vozidel jsou zachyceny na obrázku 32 nebo na fotografiích v příloze 4.



Obrázek 32 – Průjezd návěsové soupravy okružním pásem křižovatky

Průjezdy vozidel okružním pásem byly hodnoceny do 3 skupin. Za nevyhovující stav byl považován průjezd, při kterém došlo k najetí na středový ostrov nebo na dělicí ostrůvek. Vzhledem k možnosti pojíždění zpevněného prstence byl vyhovující stav rozlišován na vyhovující a vyhovující s využitím prstence.



Graf 6 – Četnost průjezdů vozidel po okružním pásu

V průběhu pozorování nenastal v žádném z případů nevyhovující stav. Celkem bylo napočítáno 27 průjezdů, přičemž značná většina (23 vozidel) si vystačila s vymezeným jízdním pruhem. Pouze 4 vozidla zvolila jízdní stopu, při které zadní náprava najela na zpevněný ostrůvek. Pojíždění zpevněného prstence se pojilo s vyšší rychlostí průjezdu nebo pro vozidla se speciálními návěsy pro přepravu automobilů či stavebních strojů.

7.4.3 Ověření průjezdnosti simulačním programem a vyhodnocení úseků

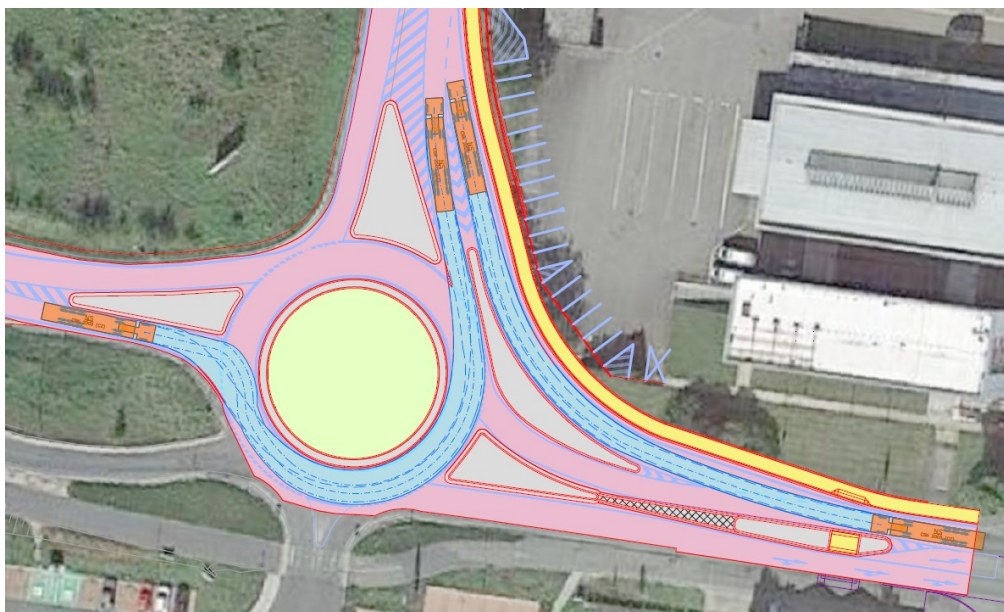
Spojovací větev

Vlečná křivka spojovací větve byla simulována jízdou při levém okraji jízdního pruhu. Nutno podotknout, že i při takto voleném průjezdu zasahuje stopa pravého zadního kola do VDZ. Jízda po vodorovném značení nebo zpevněné krajnici se již uvažuje za stav nevyhovující, jelikož vede ke ztrátě viditelnosti VDZ nebo vzniku dalších poruch.

Okružní pás a vjezdové/výjezdové části

Jízdní stopa vlečné křivky na vjezdu do okružní křižovatky byla vedena podél dělicího ostrůvku s kolmým nájezdem do jízdního pruhu. Stísněné prostory na vjezdu umožňují bezpečný průjezd, avšak s minimální vůlí pohybu. Na jízdním pruhu v oblouku byla jízdní stopa vedena při pravém okraji tak, aby zadní část taženého vozidla měla maximální prostor pro průjezd. Z vlečných křivek vyplývá, že jízdní pruh na okružní křižovatce vyhovuje potřebám návěsové soupravy s dostatečnou rezervou v podobě umožněného pojíždění zpevněného prstence. Podle vlečných křivek ve výjezdu z kruhového objezdu je zřejmé, že uspořádání dělicího ostrůvku a VDZ nespĺňují prostorové požadavky, kdy návěs zasahuje do cípu VDZ a přibližuje

se k hraně dělicího ostrůvku. Simulované vlečné křivky na spojovací větvi a okružním pásu jsou vykresleny na následujícím obrázku 32.



Obrázek 33 – Vlečné křivky AutoTURN – kruhový objezd

Přestože v některých místech vlečné křivky zasahují vnitřní stranou mírně mimo vyhrazený pruh, nemusí se jednat o zásadní problém, a to právě kvůli zmiňovaným bezpečnostním koeficientům obsažených v simulacích. To dokazují vyhovující výsledky získané z pozorování, kdy průjezd spojovací větvi při podobné jízdě, jakou má simulovaná vlečná křivka na obrázku 32, se nacházel uvnitř jízdního pruhu.

Zvýšení vyhovující průjezdnosti spojovací větvi lze dosáhnout mírným odsunem vnitřní části a rozšířením jízdního pruhu. Tato úprava by však umožnila průjezd vyšší rychlostí pro menší vozidla, což by mohlo negativně ovlivnit bezpečnost zejména v místě napojení. V případě, že řidiči zvolí správnou jízdě stopu a rychlost, je šířka jízdního pruhu dostačující.

Poloměr a šířka okružního pásu dle výsledků získaných pozorování vyhovují potřebám nákladních vozidel. V nízkém počtu případů došlo k využití zpevněného prstence, avšak při jízdě při pravém okraji byl značný odstup zadní části od vnitřní hrany jízdního pruhu, viz příloha 4. V porovnání se simulovanými vlečnými křivkami je značný rozdíl polohy vnitřní obalové křivky. Mírné prostorové nedostatky byly zřetelné na vjezdu a výjezdu z okružního pásu dle vyznačeného směru na obrázku 30. Některá vozidla se pohybovali na vjezdu s minimálním odstupem od vnitřního okraje jízdního pruhu a hrany obrubníku. Na výjezdu se pak zadní část vozidel přibližovala hraně levého ostrůvku a přejížděla přes cíp VDZ, což přibližně odpovídá simulované vlečné křivce. Obecně se reálný průjezd na vjezdu a výjezdu podobal simulovanému průjezdu s ohledem na vnitřní obalové křivky.

Vhodnou úpravou na řešeném vjezdu by mohla být zpevněná srpovitá krajnice a odsun obrubníku, čímž by se zlepšila průjezdnost a zároveň snížila pravděpodobnost poruchy obrubníku. Ve výjezdové části potom úprava levého ostrůvku odsunem rohu a napřímení cípu VDZ k vnitřnímu oblouku okružního pásu. Napřímení levé části by kopírovalo geometrii vykreslené vlečné křivky na obrázku 32 s určitým odsazením, aby byl dodržen bezpečnostní odstup od dělicího ostrůvku.

ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo poukázat na možné metody pro navrhování a ověřování průjezdnosti na PK a zhodnotit jejich vlastnosti. Dílčími cíli bylo shrnutí předpisů a porovnání jednotlivých softwarů mezi sebou a s referenčním předpisem TP171.

Teoretická část v úvodu představuje a definuje základní pojmy týkající se vlečných křivek a průjezdnosti vozidel a dále shrnuje základní legislativní požadavky provozu na PK. Zároveň představuje přístupy k ověřování a využití vlečných křivek v ČR a v jiných zemích. V každé uvedené zemi se pro ověřování využívají směrodatná vozidla, která zastupují určité procento vozidel dané kategorie, avšak mírně se může lišit použití a následné dimenzování prvků PK. Poslední kapitola teoretické části se zabývá dostupnými metodami pro ověřování průjezdnosti vozidel a hodnotí jejich vlastnosti a objasňuje některé výhody a nevýhody jednotlivých metod, které autor textu považuje za důležité. Blíže jsou specifikovány simulační programy, které jsou doplněny o představení a charakteristiku vybraných programů.

Technické podmínky TP171 se využívají jako referenční podklad pro ověřování průjezdnosti v ČR. Z pohledu stáří technických podmínek se do popředí dostávají v dnešní době moderní simulační programy, které rozšiřují možnosti ověřování, přičemž vychází ze stávajících předpisů. Pro moderní navrhování by byla vhodná aktualizace stávajícího předpisu, která by zahrnovala nová vozidla a jejich jízdní vlastnosti, a také často využívaná nadrozměrná vozidla. S využitím moderních technologií narůstá tlak především na projektanty. Různorodým nastavením programů a využití nástrojů umožňují odlišný přístup. Za účelem zlepšení a zefektivnění práce, a především správnosti projektů by byla vhodná aktualizace TP 171, která by obsahovala doporučení pro nastavení simulací a postupy práce v určitých situacích.

Na teoretickou část navazuje praktická část, která se v první kapitole zabývá porovnáním simulovaných vlečných křivek jednotlivých programů s šablonou TP171 pro vozidlo návěsové soupravy. Z výsledků porovnání vyplývá, že simulované vlečné křivky vykazují větší plochy, než jakou představuje referenční šablona, tudíž je zřejmé, že simulace zahrnují určitou bezpečnostní vůli. Při dimenzování se doporučuje rozšířit vlečné křivky o 0,50 m, popřípadě 0,25 m, na každou stranu. Rozšíření umožňuje pohybové vůle, tím pádem mohou řidiči zvolit vlastní jízdní stopu. Přesto by mělo být dimenzování bráno s rozvahou, jelikož předimenzování směrového prvku umožňuje průjezd vyšší rychlostí, což může mít negativní vliv na bezpečnost.

Z mého pohledu by měl být vhodný návrh kompromisem mezi průjezdným prostorem a maximální rychlostí, jakou lze daný prvek projet.

Součástí první kapitoly praktické části je i porovnání samotných simulačních programů mezi sebou. Simulované vlečné křivky vykazují velmi podobné výsledky. Mírné rozdíly se týkají obalových křivek v oblouku a ve vybočení zadní tažené části. Při zarovnání vnějších obalových křivek dosahovaly hodnoty odchylek na vnitřní straně několika centimetrů. Nutno podotknout, že vykreslování simulací se také provádí s určitou odchylkou. Dimenzováním se tyto odchylky programů eliminují, tudíž nemají výrazný vliv na správný návrh.

Druhá kapitola praktické části zkoumá průjezdnost nákladních vozidel vybranými křižovatkovými úseky. Výsledky byly získány pomocí observační metody a simulovaných vlečných křivek programem AutoTURN. Na základě výsledků bylo provedeno vyhodnocení úseků z pohledu průjezdnosti a porovnání, z čehož opět vyplývá, že simulační programy jsou na straně bezpečné. V případě nedostatečného průjezdu jsou v textu uvedené doporučené stavební úpravy pro dosažení požadovaného vyhovujícího stavu.

Přestože se v dnešní době dostávají do popředí simulační programy, tak právě kvůli zahrnutým bezpečnostním koeficientům a různým přístupům jízdy nelze uvažovat výsledky za průkazné. Ověřování pomocí simulačních programů je vhodné především v projekční části. Z pohledu přesnosti a průkaznosti ověření stávajícího stavu jsou vhodnější spíše metody přímého ověření, tedy observační a experimentální, ačkoli jsou časově nebo finančně náročnější. Observační metoda má navíc výhodu, že zjistí způsob řízení většiny řidičů při průjezdu daným směrovým prvkem.

Z provedeného pozorování plyne, že na jízdní stopu vozidel mají vliv zvýšené prvky dopravní infrastruktury, především obrubník převyšovaný 0,20 m nad hranou vozovky. Tuto informaci by bylo vhodné brát v potaz při projektování stísněných prostorů, aby se předešlo vzniku nebezpečných situací a poškozování stavebních prvků. Naopak v místech, kde se vyžaduje bezpečnost chodců, je tento prvek vhodný. Dále se také ukázalo, že kombinace prostého kružnicového oblouku s malým poloměrem zaoblení nároží je nevyhovující a neodpovídá skutečnému průběhu vlečné křivky vozidla. Na tomto základě doporučuji provádět vhodnější zaoblení nároží, které jsou uvedené například v Metodice pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TP 171 *VLEČNÉ KŘIVKY pro ověření průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací*. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2004. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_171.pdf
- [2] HBH projekt spol. s r.o., ČEPIL, J. a kol. *Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel*. Brno, 2015. ISBN 978-80-214-5308-1.
- [3] AASHTO, *Design Vehicles. In Policy on geometric design of highways and streets (7th edition)*, American Association of State Highway and Transportation Officials. 2018, ISBN 978-1-56051-676-7
- [4] ČSN 73 6101: *Projektování silnic a dálnic*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. ICS 93.080.10.
- [5] ČSN 73 6102: *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích*. ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. ICS 93.080.10.
- [6] ČSN 736110: *Projektování místních komunikací*. Praha: Český normalizační institut, 2006, s. 12. ICS 93.080.10.
- [7] OPENSTREETMAP [online]. © Přispěvatelé OpenStreetMap. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/>.
- [8] MAPOVÝ PORTÁL Mapy.cz [online]. © Seznam.cz, a.s., 2022. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://mapy.cz>.
- [9] CELOSTÁTNÍ SČÍTÁNÍ DOPRAVY 2020. Ředitelství silnic a dálnic ČR [online]. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz>.
- [10] CHURANĚ, Radek. *Analýza vývoje silniční a dálniční sítě v jednotlivých dekádách 20. století pomocí gis*. 2010. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce RNDr. Tomáš Hudeček, Ph.D. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/39598/BPTX_2009_2_11310_0_200023_0_85249.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [11] CHRISTENSEN, Thomas C., BLYTHE, William. *Offtracking: History, Analysis, and Simulation*. Warrendale: SAE TRANSACTIONS, 2000. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/44686904>

- [12] VYHLÁŠKA č. 209/2018 Sb. ze dne 20. září 2018 *o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel*. In: Sbírka zákonů České republiky. 2018, částka 105. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-209/zneni-20181001#p7>
- [13] ZÁKON č. 361/2000 Sb. ze dne 14. září 2000 *o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu)*. In: Sbírka zákonů České republiky. 2000. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [14] ROAD SAFETY MANAGEMENT, s.r.o. *Rozborová úloha RVT 2012: Prejazdové krivky motorových vozidiel pre účely návrhu smerových prvkov komunikácií*. 2012. Dostupné z: https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/rozborove_ulohy/ru_3_2012.pdf
- [15] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1230/2012 ze dne 12. prosince 2012, *kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 661/2009, pokud jde o požadavky pro schvalování typu motorových vozidel a jejich přípojných vozidel týkající se jejich hmotností a rozměrů, a mění směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES*. In: Úřední věstník. L 353, 21.12.2012. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html>
- [16] AUTOPATH – CGS Labs Support. CGS Labs [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://cgs-labs.zendesk.com/hc/en-us/categories/360005766013-Autopath>
- [17] AUTOTURN PRO 11.0 HELP. Transoft Solutions [online]. 2021. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://onlinehelp.transoftsolutions.com/AutoTURN/en/11-0/#Welcome.html>
- [18] AUTOTURN ONLINE: Assess Vehicle Turning. Transoft Solutions [online]. [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://autoturnonline.com/>
- [19] VEHICLE TRACKING: Autodesk Knowledge Network. Autodesk [online]. [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/vehicle-tracking?sort=score>
- [20] NOVOTNÝ, Petr. *Úskali automatizovaného projektování v praxi* [online]. 2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: http://www.ateliermok.eu/included/prezentace/Uskali_automatizovaneho_projektovani_v_praxi.pdf

- [21] NEHODY V ČR: Statistiky. Centrum dopravního výzkumu [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/statistics.php>
- [22] NITKOVÁ, Jana. *I/37 Pardubice – MÚK Palackého, dostavba: Situace*. SUDOP EU. Praha, 2020.
- [23] TECHNICKÉ MAPY STATUTÁRNÍHO MĚSTA PARDUBICE: Polohopis. GEOVAP, spol. s r.o. Statutární město Pardubice, odbor hlavního architekta. Ing. Lubomír Pecka.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 – Vlečné křivky s různou stopou jízdy

PŘÍLOHA 2 – Fotodokumentace průjezdů nákladních vozidel – Připojovací pruh

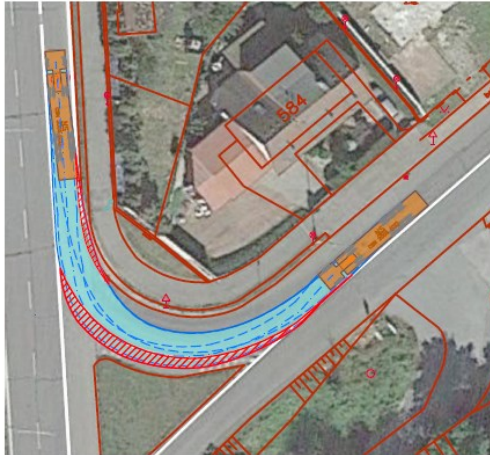
PŘÍLOHA 3 – Fotodokumentace průjezdů nákladních vozidel – Nároží křižovatky

PŘÍLOHA 4 – Fotodokumentace průjezdů nákladních vozidel – Okružní křižovatka

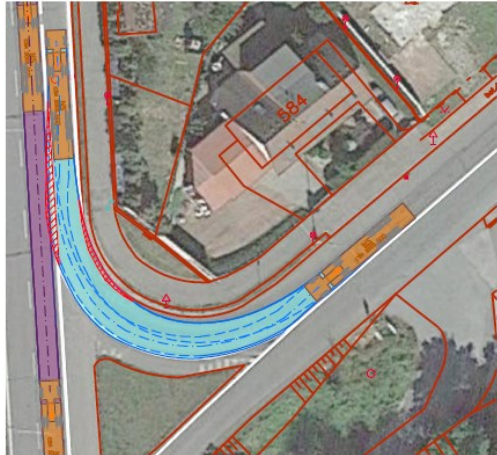
PŘÍLOHA 1 - Vlečné křivky s různou stopou jízdy

Připojovací pruh

Jízdní stopa ve zpevněné krajnici

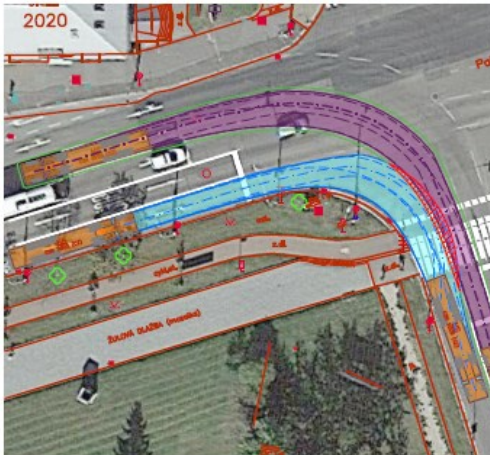


Jízdní stopa s nadjetím do jízdního pruhu

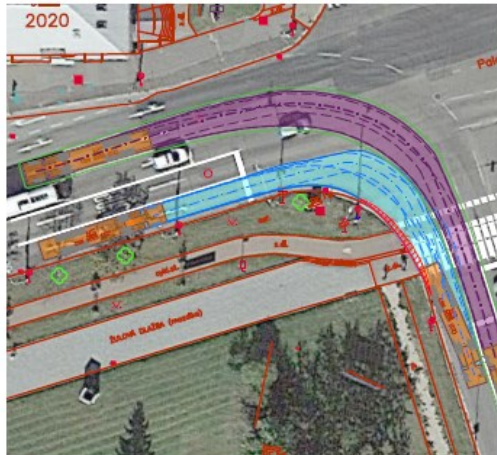


Nároží křižovatky

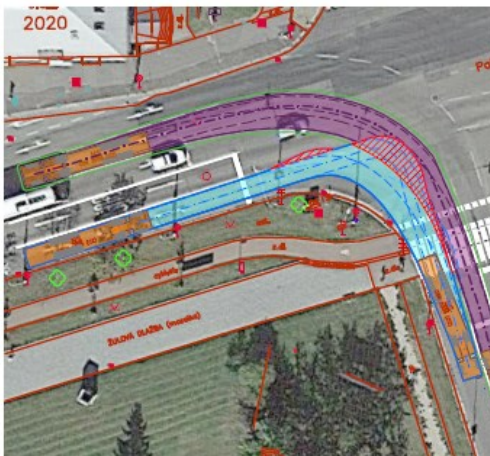
Jízdní stopa s nadjetím do protisměru



Jízdní stopa bez nadjetí do protisměru



Jízdní stopa rohového průjezdu



PŘÍLOHA 2 - Fotodokumentace průjezdů nákladních vozidel

– Připojovací pruh



- vozidlo: přívěsová souprava
- místo: oblouková část připojovacího pruhu
- průjezd: vozidlo během průjezdu zasahuje svou levou přední částí do průběžného jízdního pruhu

PŘÍLOHA 3 - Fotodokumentace průjezdů nákladních vozidel

– Nároží křižovatky



- vozidlo: návěsová souprava
- místo: oblouková část nároží
- průjezd: nadjetí vozidla do protisměrného jízdního pruhu



- vozidlo: návěsová souprava
- místo: oblouková část protisměrného jízdního pruhu
- průjezd: zadní část vozidla zasahuje do průjezdného prostoru odbočovacího pruhu



- vozidlo: návěsová souprava
- místo: nájezd do obloukové části
- průjezd: jízda při levé hranici jízdního pruhu



- vozidlo: návěsová souprava
- místo: nájezd do obloukové části
- průjezd: nadjetí vozidla do přilehlého jízdního pruhu

PŘÍLOHA 4 - Fotodokumentace průjezdů nákladních vozidel

– Okružní křižovatka

Spojovací větev



- vozidlo: přívěsová souprava
- místo: oblouková část spojovací větve
- průjezd: vhodná stopa jízdy, zadní část vozidla lemuje vodorovné dopravní značení



- vozidlo: návěsová souprava
- místo: vjezdová část spojovací větve
- průjezd: nadjetí vozidla do spojovací větve přes šikmé čáry vodorovného dopravního značení

Okružní pás a vjezdové/výjezdové části



- vozidlo: návěšová souprava
- místo: okružní pás
- průjezd: jízda při pravém okraji, zadní část vozidla lemuje zpevněný prstenec



- vozidlo: návěšová souprava
- místo: okružní pás
- průjezd: jízda při pravém okraji, zadní část vozidla lemuje zpevněný prstenec s odstupem přibližně 0,5 m



- vozidlo: návěšová souprava
- místo: výjezd z okružního pásu směr HK
- průjezd: vhodná stopa jízdy při pravém okraji



- vozidlo: návěsová souprava
- místo: vjezd do okružního pásu ze západní větve
- průjezd: zadní část návěsu těsně míjí hranu přilehlého obrubníku na vnitřní straně