



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

OPTIMALIZACE NÁVRHOVÝCH PRVKŮ
POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ POMOCÍ VLEČNÝCH
KŘIVEK VOZIDEL

OPTIMIZING OF ROAD DESIGN ELEMENTS BY MEANS OF VEHICLES' SWEEP PATHS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jiří Čepil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Radimský, Ph.D.

BRNO 2018

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá aplikací simulovaných vlečných křivek vozidel při návrhu pozemních komunikací. Užívání programů generujících simulované vlečné křivky klade nové nároky na projektanta, přičemž správný způsob aplikace vlečných křivek v českých předpisech chybí. V teoretické části práce je rozebrána teorie pohybu vozidla při průjezdu směrovým obloukem a způsoby výpočtu potřebného rozšíření vozovky. V praktické části práce jsou mezi sebou porovnávány vlečné křivky generované různými programy a jsou srovnávány rozdíly. Pro ověření tvaru a rozměrů generovaných vlečných křivek, bylo provedeno zaměření vlečné křivky reálného vozidla. Takto získaná křivka byla porovnána s generovanou a vyhodnoceny rozdíly. Z porovnávaných programů byl vybrán referenční, a jeho výstupy byly aplikovány na návrh pozemní komunikace dle platných předpisů. Výsledky získané v rámci disertační práce byly použity pro sestavení certifikovaných metodik s názvem: „Metodika pro rozšíření jízdnic pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel“. V závěru jsou shrnuty výsledky disertační práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vlečná křivka, offtracking, trajektorie vozidla, rozšíření jízdnic pruhů, rozšíření ve směrovém oblouku, obalová křivka.

ABSTRACT

The dissertation deals with application of simulated swept paths of vehicles to road designs. Using software which generates simulated swept paths makes new demands on the designer, but Czech regulations do not stipulate the appropriate method of applying swept paths. The theoretical part of the dissertation analyses the theory of how a vehicle moves when passing through a horizontal road curve and a method of calculating a necessary extent of widening the road. The practical part compares swept paths generated by various software programs and differences between them. In order to verify the shapes and dimensions of the swept paths generated, the swept path of a real vehicle was measured. This swept path was then compared with the one generated, and the differences between them were evaluated. One of the software programs was chosen as a reference program, and its output was applied to a road design pursuant to valid regulations. The results obtained within the dissertation were used to develop certified methodology titled: „Methodology of widening road lanes in horizontal curves and of application of vehicles' swept paths “.

KEYWORDS

Swept path, offtracking, vehicle trajectory, traffic lanes widening, widening on horizontal curves, wrapping curve.

OBSAH

1 ÚVOD.....	4
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	5
3 SHRNTUÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU	5
3.1 ČESKÁ REPUBLIKA	5
3.2 zAHRANIČÍ	6
4 TEORIE POHYBU VOZIDLA.....	7
4.1 Offtracking	8
4.2 Výpočetní metody	9
4.3 Simulační programy	10
5 ROZBOR VZÁJEMNÝCH VZTAHŮ NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ.....	11
5.1 analýza vzájemných vztahů	11
5.1.1 Vztah vozidlo – rychlost – trajektorie	11
5.1.2 Vztah vozidlo – rychlost – offtracking.....	12
5.1.3 Vztah vozidlo – poloměr – hodnota offtrackingu.....	12
5.1.4 Vztah šířka vlečné křivky – poloměr – vrcholový úhel.....	14
6 SIMULACE A MĚŘENÍ	15
6.1 Výběr simulačního programu.....	15
6.2 Srovnání vlečných křivek pro oblouky dle ČSN 73 6101	15
6.3 Srovnání SW a TP 171.....	17
6.4 měření.....	17
6.4.1 Měřicí vozidlo	18
6.4.2 Měřicí systém	19
6.5 Vyhodnocení měření a modelování	19
6.5.1 Excel.....	19
6.5.2 AutoCAD	20
6.5.3 AutoTURN.....	21
7 NÁVRH ÚPRAVY NORMOVÝCH PARAMETRŮ	24
7.1 Aplikace vlečných křivek.....	25
8 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ	26
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	27
ŽIVOTOPIS.....	29

1 ÚVOD

Častým nešvarem českých křižovatek a dopravních staveb obecně jsou poruchy okrajových částí vozovky. Poškozené obrubníky, deformace zpevněné i nezpevněné části krajnice, poškození dopravního značení, případně svodidel atd. jsou zřejmým ukazatelem nesprávného návrhu těchto prvků. Tyto problémy se projevují nejen u starších komunikací, ale bohužel také u novostaveb, viz *Obrázek 1*.

Protože velikost silničních vozidel a normové parametry silničních staveb v posledních desetiletích zůstávají stejné, nabízí se otázka, proč jsou poruchy okrajových částí vozovek stále častým úkazem.



Obrázek 1 - Poškození okrajových částí vozovky pojezdem vozidla

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavním cílem práce je odpovědět na otázku, zda je návrh rozšíření vozovky ve směrovém oblouku dle českých předpisů vhodným řešením detailů dopravních staveb. V zahraničí, a stále častěji také v ČR, se využívá znalosti vlečné křivky vozidla jako klíčového prvku pro návrh a ověření průjezdnosti daného směrového motivu. Tento nový prvek umožňuje přesněji definovat tvar a detaily dopravních staveb, na druhou stranu ale klade nové nároky na projektanty, kteří s tímto způsobem návrhu dosud nemají dostatek zkušeností.

Vlečná křivka je generována simulačním programem; z dokumentace k programům však není jasné, jakým způsobem program pracuje, zda simulovaná křivka odpovídá zadanému vozidlu, nebo obsahuje rezervu.

Dílčím cílem práce je tedy odpověď na tyto otázky:

- jsou mezi jednotlivými simulačními SW rozdíly?
- nakolik přesně odpovídá simulovaná vlečná křivka vlečné křivce reálného vozidla?
- jakým způsobem vlečné křivky správně aplikovat?

3 SHRUTÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

3.1 ČESKÁ REPUBLIKA

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích je jednou z oblastí navrhování pozemních komunikací, kde výklad platných předpisů není zcela jednoznačný. Tato problematika je v České republice řešena v následujících předpisech:

- ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic;
- ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na pozemních komunikacích;
- ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací
- TP 171 Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací.

Každý z výše uvedených předpisů řeší problematiku rozšíření ve směrových obloucích mírně odlišným způsobem, zpravidla v závislosti na kategorii komunikace. Tento přístup přináší omezení, v určitých případech se návrh stává nevhodným díky zbytečně vysokým požadavkům. Jindy jsou naopak dle jiného kritéria navržené silnice příliš úzké pro zajištění bezpečného míjení vozidel. Geometrická správnost návrhu pak není řešena vůbec.

V některých případech není zřejmé, který předpis je pro danou situaci platný, což způsobuje obtíže při následném projednávání návrhu u dotčených orgánů a institucí. Typickým příkladem jsou křižovatky silnic různých kategorií, kde skokově dochází ke změně parametrů komunikace; takovouto změnu ale řidič nemusí rozeznat.

3.2 ZAHRANIČÍ

- **Slovensko**

Slovenské předpisy STN 72 6101 a STN 73 6102 přistupují k problematice rozšíření obdobně jako české předpisy, tzn. na základě tabelizovaných hodnot. Ve srovnání s českými předpisy se požadované hodnoty mírně liší.

- **Německo**

Německý předpis Richtlinien für die Anlage von Autobahnen předepisuje rozšíření ve směrovém oblouku na základě návrhového vozidla.

- **Slovinsko**

Slovinský předpis Pravidnik o projektiranju cest předepisuje rozšíření ve směrovém oblouku na základě návrhového vozidla.

- **Rakousko**

Rakouský předpis Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen předepisuje rozšíření jízdních pruhů na základě návrhového vozidla.

- **Velká Británie**

Britský předpis Design Manual for Roads and Bridges předepisuje rozšíření jízdních pruhů obdobně jako ČSN na základě poloměru a kategorie komunikace.

- **USA**

Předpis Spojených států amerických, Geometric Design of Highways and Streets, definuje rozšíření směrových oblouků na základě skutečného chování vozidla, tzv. offtrackingu.

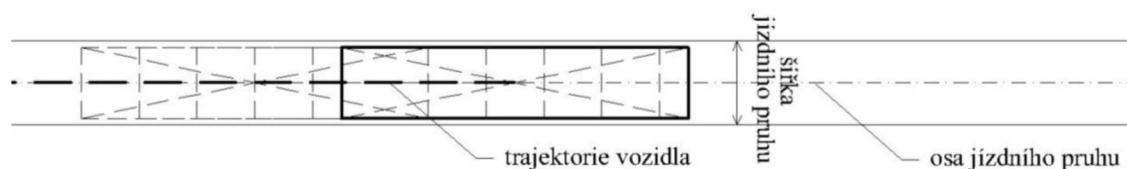
Většina zkoumaných zahraničních předpisů v případě rozšíření ve směrovém oblouku přímo vychází z návrhového vozidla a snaží se tak optimalizovat návrh dopravních staveb. Některé předpisy také zohledňují bezpečnostní odstup přímo ve výpočtu rozšíření. Všechny výše uvedené předpisy (včetně českých) doporučují pro ověření správnosti návrhu stavby pomocí SW simulace průjezdu vozidla ve formě vlečné křivky.

Zajímavý je rakouský předpis RVS, který detailně popisuje geometrický tvar úrovnňových křižovatek.

Hlavní rozdíl mezi českými a zahraničními předpisy spočívá v možnosti individuálního posouzení daného směrového motivu a návrhového vozidla. České předpisy definují rozšíření pro největší vozidlo a kategorii, což může být neekonomické.

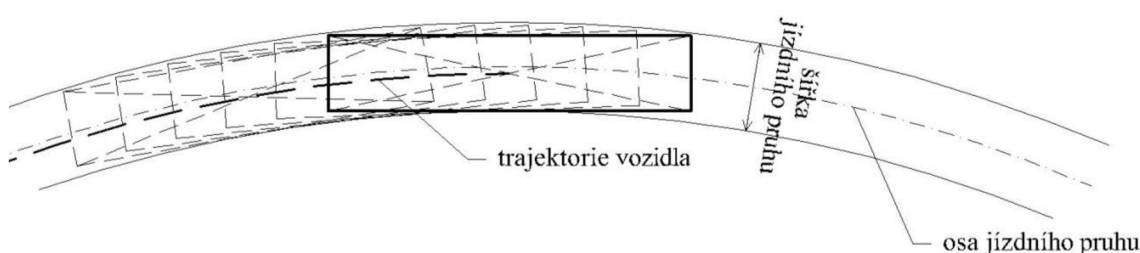
4 TEORIE POHYBU VOZIDLA

Pokud vozidlo projíždí přímý úsek, je potřeba prostoru dána šířkou vozidla zvětšenou o hodnotu bezpečnostního odstupu. Vlečná křivka vozidla, tzn. plocha ohraničená obalovými křivkami, je rovna šířce vozidla samotného. Vozidlo jedoucí středem jízdního pruhu vytváří trajektorii totožnou s osou tohoto jízdního pruhu, viz *Obrázek 2*.



Obrázek 2 - Vlečná křivka vozidla v přímé

Pokud vozidlo projíždí směrovým obloukem, potřeba šířky jízdního pruhu narůstá, protože vozidlo vytváří sečnu projížděného oblouku. Aby se vozidlo udrželo ve vymezeném jízdním pruhu, nemůže projíždět oblouk po geometrické ose tohoto pruhu. Toto má za následek dostředný odsun trajektorie vozidla oproti ose jízdního pruhu, viz *Obrázek 3*. Velikost tohoto rozdílu je závislá na délce a konstrukčním uspořádání vozidla a poloměru projížděného oblouku.



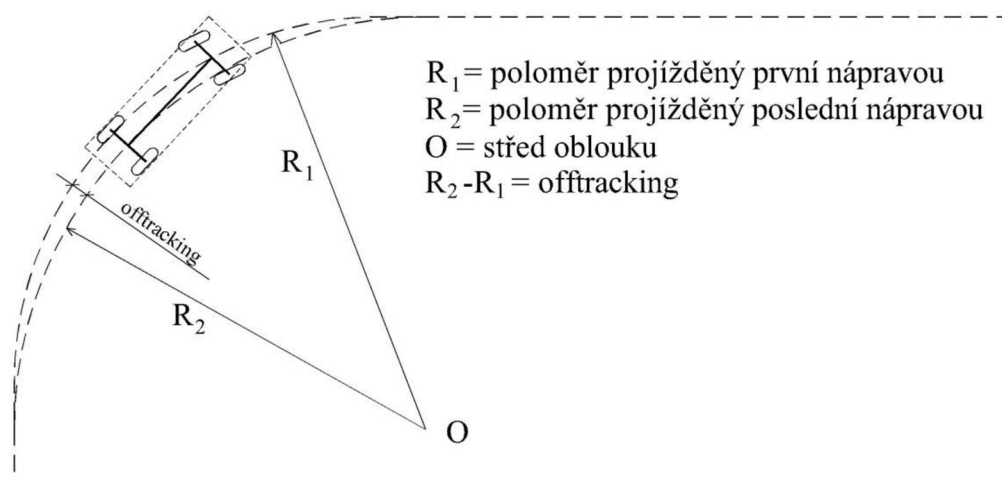
Obrázek 3 - Vlečná křivka vozidla ve směrovém oblouku

Výše uvedené obrázky v nejjednodušší formě vykreslují problematiku průjezdu vozidla směrovým obloukem. Pro vozidla jednoduché konstrukce (vozidlo bez diferenciálu) vykazuje tento model dostatečnou přesnost.

4.1 OFFTRACKING

Jak je patrné z předchozí kapitoly, při průjezdu vozidla směrovým obloukem dochází k odsunu trajektorie vozidla vůči ose jízdního pruhu, tzn. ke změně poloměru, kterým vozidlo směrový oblouk projíždí. Podívejme se tedy podrobněji, jak se chová vozidlo při průjezdu směrovým obloukem.

Řídící náprava tedy projíždí směrový oblouk jiným poloměrem, než zadní náprava. Trajektorie těžiště vozidla tedy nevystihuje skutečné chování vozidla věrně. Pro pochopení chování vozidla jsou pro nás však zajímavější poloměry jednotlivých náprav, zejména první a poslední, ze kterých můžeme lépe odvodit potřebné rozšíření oblouku, viz *Obrázek 4*.

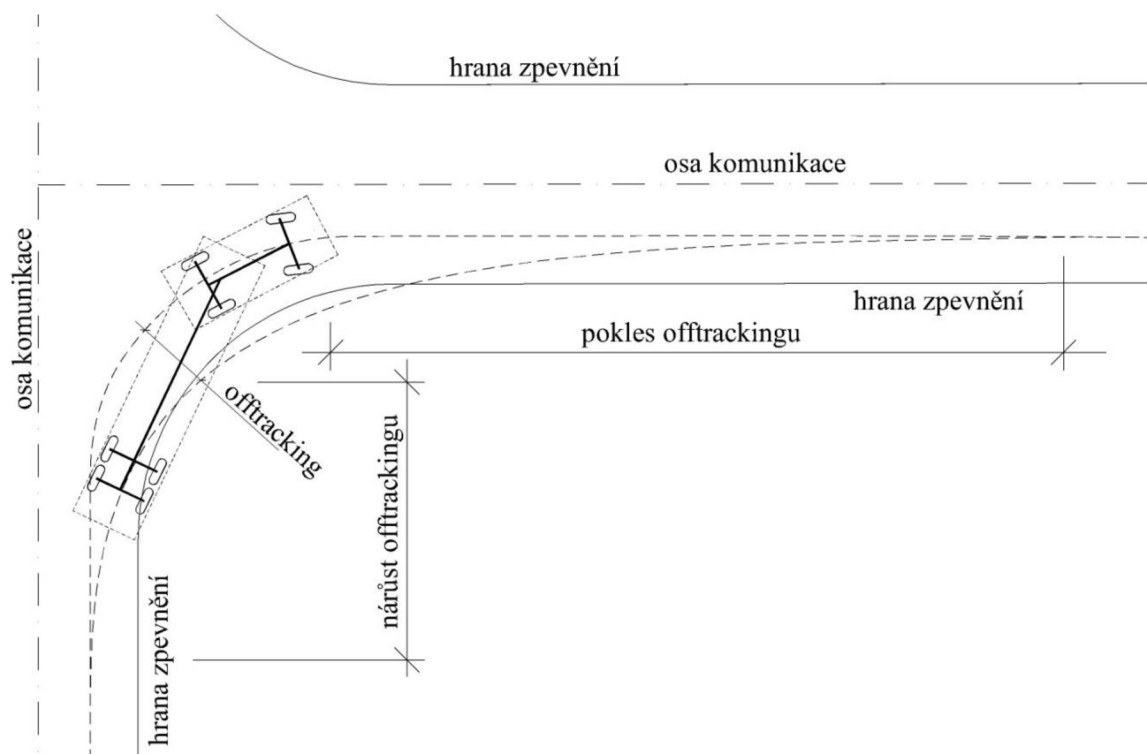


Obrázek 4 - Offtracking

V české literatuře nemá termín offtracking žádný ekvivalent, termín lze volně přeložit jako „vybočení“. Tento jev je vlastní všem dvou a vícenápravovým vozidlům s pevným podvozkem. Hodnota offtrackingu, tj. rozdíl poloměrů první a poslední nápravy, je výchozím parametrem pro stanovení tvaru a šířky vlečné křivky. Jak je patrné z *Obrázku 4*, velikost offtrackingu není konstantní.

U návěsových a přívěsových souprav je situace složitější – důvod leží částečně ve větší délce soupravy, ale také v odlišném konstrukčním uspořádání. Výrazněji se zde také projevuje vliv poloměru projížděného oblouku. U směrových oblouků poloměrů menších než 50 m se již výrazně projevuje odlišné chování zadních náprav soupravy. Kloub, či závěsný bod, kterým je návěs či přívěs připojen násobí posun středu otáčení oproti geometrickému středu projížděného oblouku, což spolu s jeho pohybem vyvolává deformaci trajektorie a vytváří charakteristické asymetrické srpkovité rozšíření, viz *Obrázek 5*.

V praxi tedy při průjezdu obloukem dochází ke kolizi vnitřních kol návěsu s hranou zpevnění projížděného oblouku, pokud řidič nezohlední toto chování nadjetím si. Toto chování má za následek potřebu asymetrického návrhu nároží úrovnových křižovatek, což české předpisy nezohledňují.



Obrázek 5 – Návěsová souprava při průjezdu směrovým obloukem malého poloměru

4.2 VÝPOČETNÍ METODY

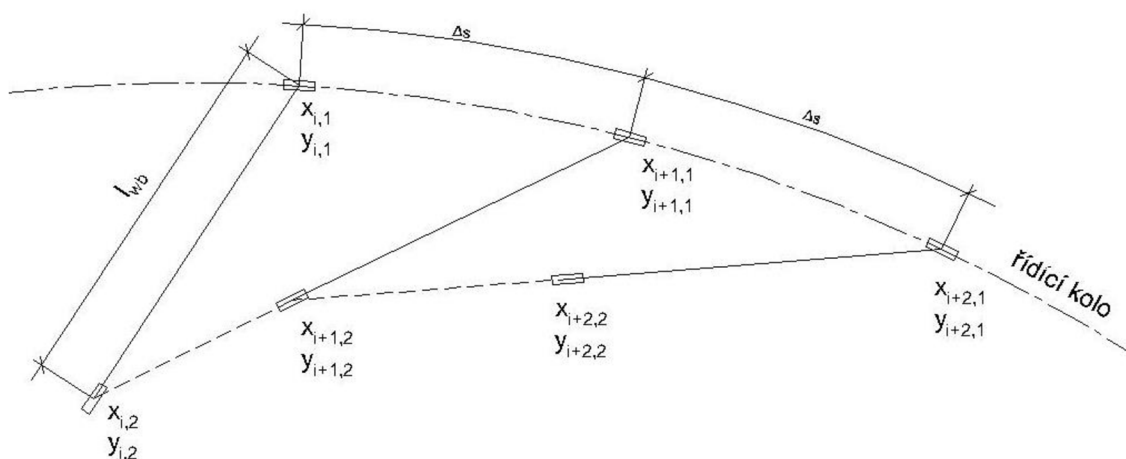
Ačkoliv je efekt offtrackingu znám již od starověku, v silničním stavitelství se jeho zohlednění objevuje až po druhé světové válce. K rozvoji návrhu směrových oblouků na bázi offtrackingu a vlečných křivek dochází od 70 let 20 století. Trajektorie průjezdu byla zpočátku simulována na základě modelů vozidel, později na základě grafického a matematického modelování řešeného různými autory nebo institucemi. Níže uvedené metody ilustrují vývoj problematiky výpočtu offtrackingu; způsobů výpočtů je celá řada a jejich podrobný rozbor přesahuje rozsah práce.

Geometrická metoda – jedna z prvních metod, která je založena na velikosti vozidla, poloměrech otáčení a vzdálenostech mezi řídicí a taženou nápravou. Tato metoda nezohledňuje dynamické efekty a je proto řazena mezi metody s nulovou rychlostí.

Jindrova metoda – byla vyvinuta pro kružnicové oblouky, do kterých vozidlo vjíždí i vyjíždí po tečně (ne po přechodnici). Rozšiřuje geometrickou metodu a zavádí bezrozměrný parametr $\lambda=L/R$ což je poměr mezinápravové délky a poloměru zatáčení.

Lineární analýza závislá na rychlosti – tato metoda zohledňuje proměnný úhel mezi tahačem a přívěsem při průjezdu obloukem. Poměr mezi úhlem natočení řídicí nápravy a úhlem mezi tahačem a přívěsem může dosahovat 4 ustálených stavů v závislosti na nedotáčivosti/přetáčivosti tahače a přívěsu.

Výpočetní model jízdního kola – se nazývá metoda používaná pro simulační programy. Model byl vybrán pro svoji dostatečnou přesnost při přípustně zjednodušeném popisu pohybu vozidla, což snižuje potřebný výpočetní čas. Pro stanovení samotné vlečné křivky je třeba zkombinovat v jednom profilu krajní pozici přední a zadní nápravy, viz *Obrázek 6*.

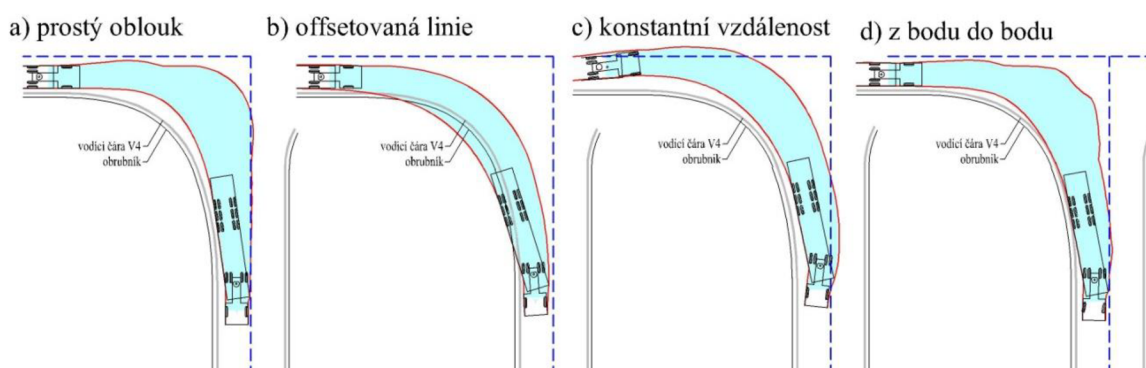


Obrázek 6 - Schéma výpočetního modelu jízdního kola

4.3 SIMULAČNÍ PROGRAMY

Simulační programy pro vlečné křivky mají nespornou výhodu v tom, že jsou interaktivní a pracují přímo v grafickém prostředí AutoCAD, případně MicroStation. Návrhový proces při použití simulačního programu znamená výběr požadovaného vozidla, definování trajektorie a spuštění simulace. Pro dosažení optimálního výsledku je stále potřeba několika iterací, jejich počet je však nižší než při použití TP 171 a výsledný návrh je přesnější.

Simulační programy však kromě nepopíratelných výhod kladou další nároky na projektanta. Protože program umožňuje různá nastavení, je třeba chápat a rozumět, co přesně která metoda umožňuje. Pro jeden směrový motiv lze získat různé vlečné křivky, viz *Obrázek 7*. Simulační program tedy slouží pouze jako pomůcka pro nalezení vhodného řešení, nikoliv jako průkaz správnosti řešení.



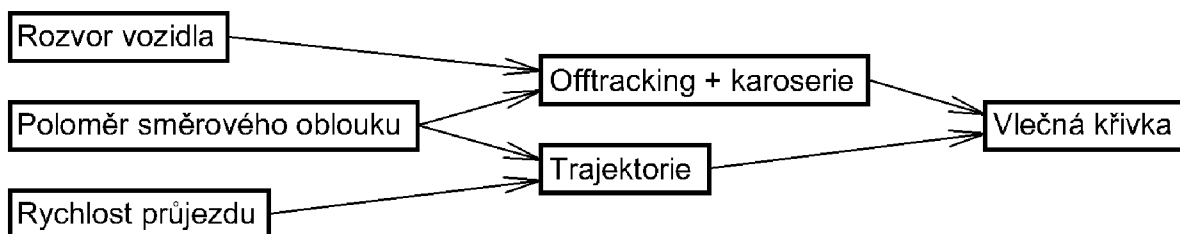
Obrázek 7 - Různá nastavení simulačního programu

5 ROZBOR VZÁJEMNÝCH VZTAHŮ NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ

5.1 ANALÝZA VZÁJEMNÝCH VZTAHŮ

Je zřejmé, že znalost chování vozidla a vlečné křivky návrhového vozidla jsou z hlediska návrhu pozemní komunikace důležité nástroje. Vlečná křivka sama o sobě však nemá dostatečnou vypovídací schopnost a je třeba ji uvažovat v kontextu ostatních návrhových parametrů. Pro správný návrh je třeba chápat vzájemné vztahy a procesy, ke kterým dochází při průjezdu vozidla směrovým obloukem, mít na paměti možnosti a omezení vyplývající ze schopností řidičů, a těmito zákonitostem přizpůsobovat konstrukční řešení dopravních staveb již od samého počátku.

O vzájemných vztazích mezi jednotlivými činiteli dává přehled *Obrázek 8*.



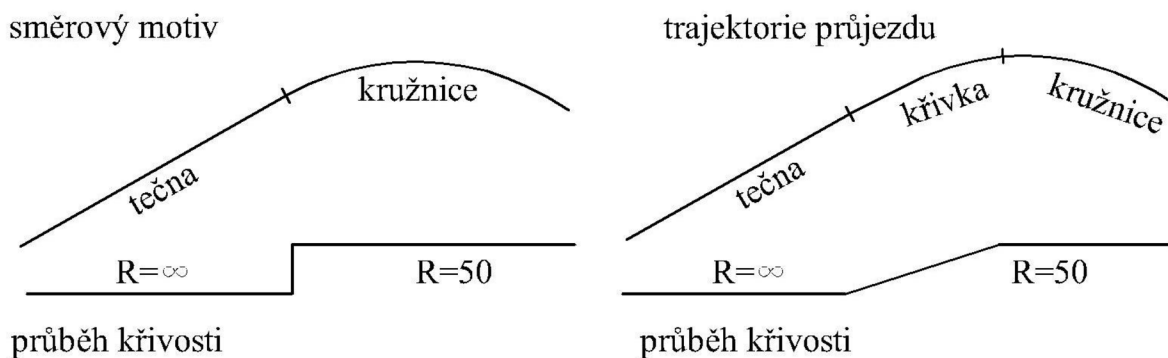
Obrázek 8 – Schéma vzájemných vztahů

5.1.1 Vztah vozidlo – rychlost – trajektorie

Rychlost, kterou vozidlo projíždí směrový oblouk, je jedním ze základních vstupních údajů pro návrh pozemních komunikací dle ČSN 73 6101. Také většina zahraničních norem definuje minimální poloměry směrových oblouků právě na bázi rychlosti, přesněji přípustného bočního zrychlení. Takový přístup je racionální; je sice možné navrhnout a projet směrový oblouk malého poloměru vysokou rychlostí, ale přináší to řadu rizik a jen málo výhod.

Poloha trajektorie vozidla v přímé a ve směrovém oblouku je důležitá pro pochopení vzájemných vztahů vstupních parametrů. Rychlost průjezdu vozidla směrovým obloukem ovlivňuje tvar trajektorie a tím i na tvar vlečné křivky, viz *Obrázek 9*. Obzvláště zřetelně je tato problematika vidět u prostých kružnicových oblouků.

Pro natočení kol řídicí nápravy do potřebné pozice je potřebný čas Δt . Dráha ujetá v čase Δt je však závislá na rychlosti. Protože potřebný čas Δt i hodnotu offtrackingu můžeme považovat za konstantní, dochází ke zploštění trajektorie v oblasti vjezdu a výjezdu z oblouku. Přejížděcí část trajektorie také může být asymetrická.



Obrázek 9 - Porovnání směrového motivu a trajektorie průjezdu

5.1.2 Vztah vozidlo – rychlost – offtracking

. Hodnota offtrackingu je dána rozdílem poloměrů první a poslední nápravy, rychlost tedy není veličinou, která ovlivňuje hodnotu offtrackingu. Za předpokladu hladkého průjezdu směrovým obloukem v nízkých rychlostech, kdy zadní kola nejsou smýkána, rychlost neovlivňuje hodnotu offtrackingu. Vyšší rychlost je v praxi možná pouze u směrových oblouků větších poloměrů, u kterých je ale hodnota offtrackingu menší a tím i potřeba rozšíření klesá.

Lze tedy říci, že u samostatných vozidel rychlost průjezdu výslednou hodnotu offtrackingu nijak neovlivňuje.

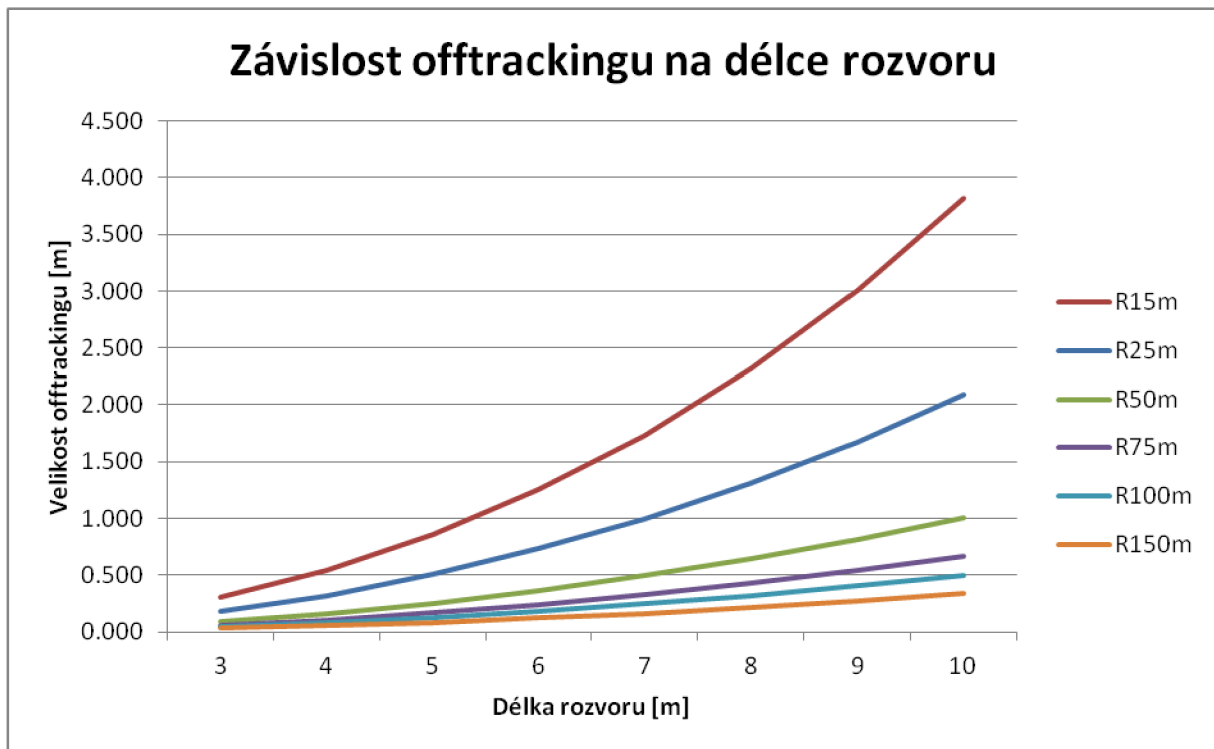
Pro soupravy vozidel typu tahač-návěs je při nízkých rychlostech situace podobná. U vyšších rychlostí, vlivem větší délky a odlišné konstrukce vozidla se zde více projevují dynamické účinky jízdy a rychlost je zde faktorem, který tvoří dělítko mezi dostředným a odstředným smyslem offtrackingu.

Pokud návěsová/přívěsová souprava projíždí směrový oblouk konstantního poloměru různými rychlostmi, hodnota offtrackingu se vzrůstající rychlostí nejprve klesá a následně opět roste. V praxi pak řešíme u směrových oblouků pojížděných rychlostí do 60 km/h obdobné chování jako u samostatných vozidel.

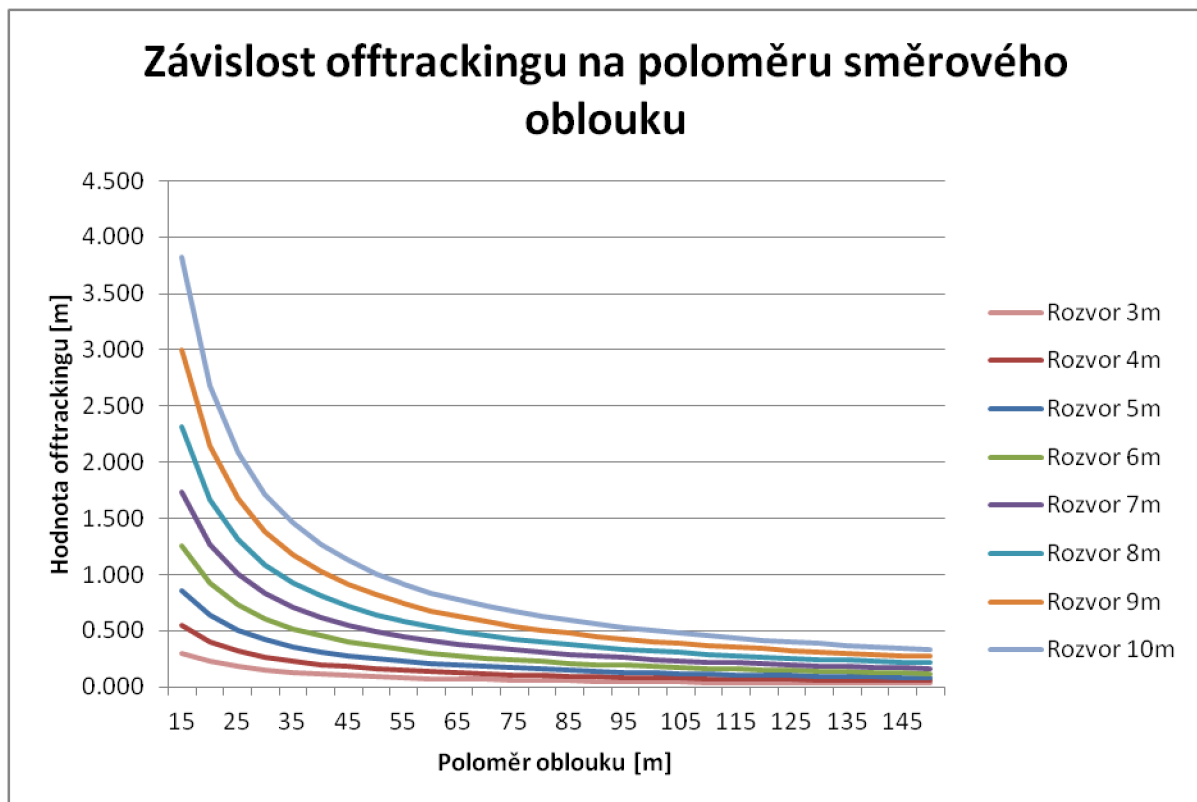
U směrových oblouků pojížděných rychlostmi většími než 90 km/h se již projevují dynamické vlivy, jejichž výsledkem je offtracking opačného smyslu.

5.1.3 Vztah vozidlo – poloměr – hodnota offtrackingu

Předpokládejme, že návrhové vozidlo projíždí směrové oblouky různého poloměru a rychlost vozidla nepřekročí hodnotu 50 km/h. Velikost offtrackingu narůstá s délkou rozvoru vozidla a se snižujícím se poloměrem projížděného oblouku. Hodnoty a způsob nárůstu hodnoty offtrackingu, jsou patrné z *Grafu 1* a *Grafu 2*.



Graf 1 - Průběh hodnoty offtrackingu v závislosti na délce rozvoru

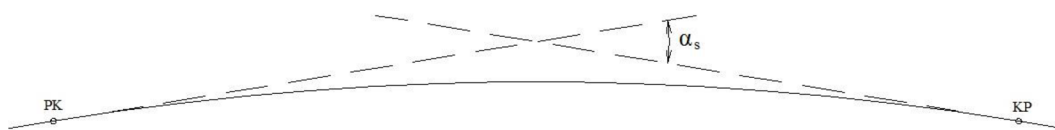


Graf 2 – Průběh hodnoty offtrackingu v závislosti na poloměru směrového oblouku

5.1.4 Vztah šířka vlečné křivky – poloměr – vrcholový úhel

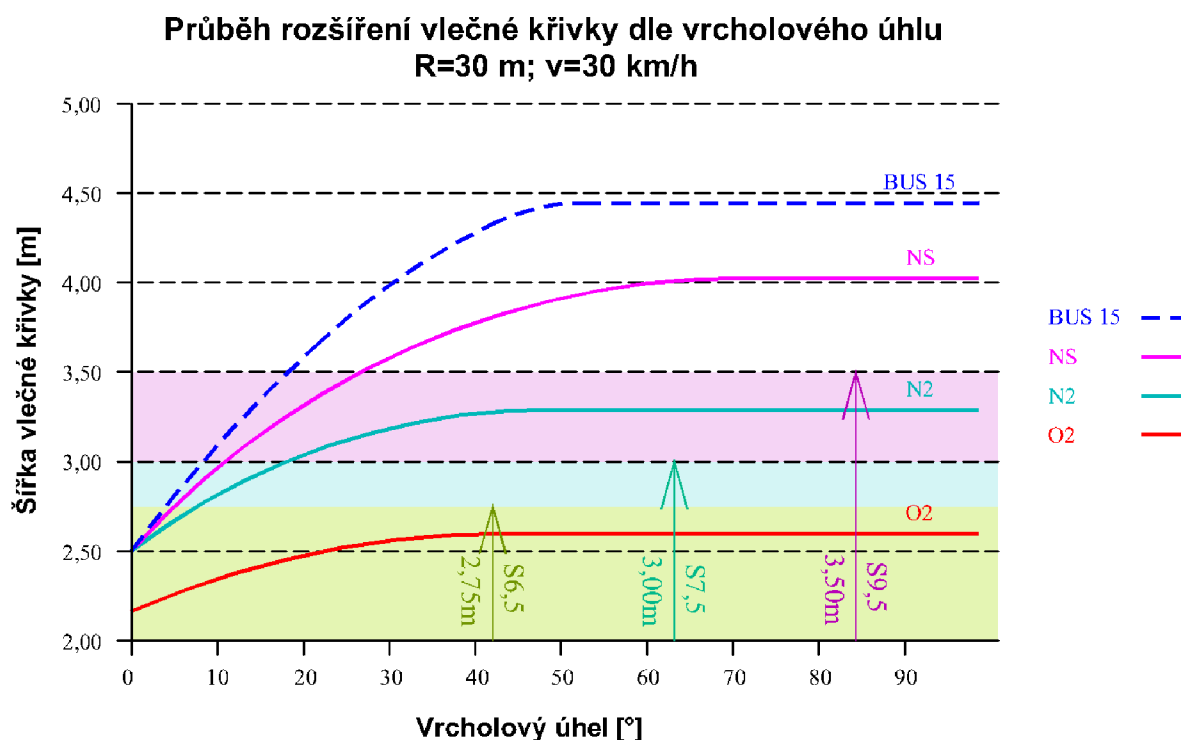
Hodnota offtrackingu je rovna rozdílu poloměrů první a poslední nápravy; hodnota offtrackingu klesá s rostoucím poloměrem oblouku. Umíme tedy spočítat hodnotu plného offtrackingu, z praktického hlediska nás ale zajímá, jak vypadá průběh nárůstu offtrackingu při průjezdu směrovým obloukem. Kromě poloměru oblouku hraje roli také jeho délka.

Jedním z faktorů ovlivňujících šířku a tvar vlečné křivky je tedy vrcholový úhel, potažmo délka oblouku. Na základě empirických zkušeností vzniká předpoklad, že pokud je vrcholový úhel malý (1° - 10°) a celková délka oblouku je krátká, při průjezdu vozidla nedojde k plnému rozvinutí offtrackingu.



Obrázek 10 - Vrcholový úhel

Hodnoty šířek vlečných křivek byly získány simulací v programu AutoTURN, viz Graf 3.



Graf 3 - Závislost vrcholového úhlu a šíře vlečné křivky; R=110 m

6 SIMULACE A MĚŘENÍ

6.1 VÝBĚR SIMULAČNÍHO PROGRAMU

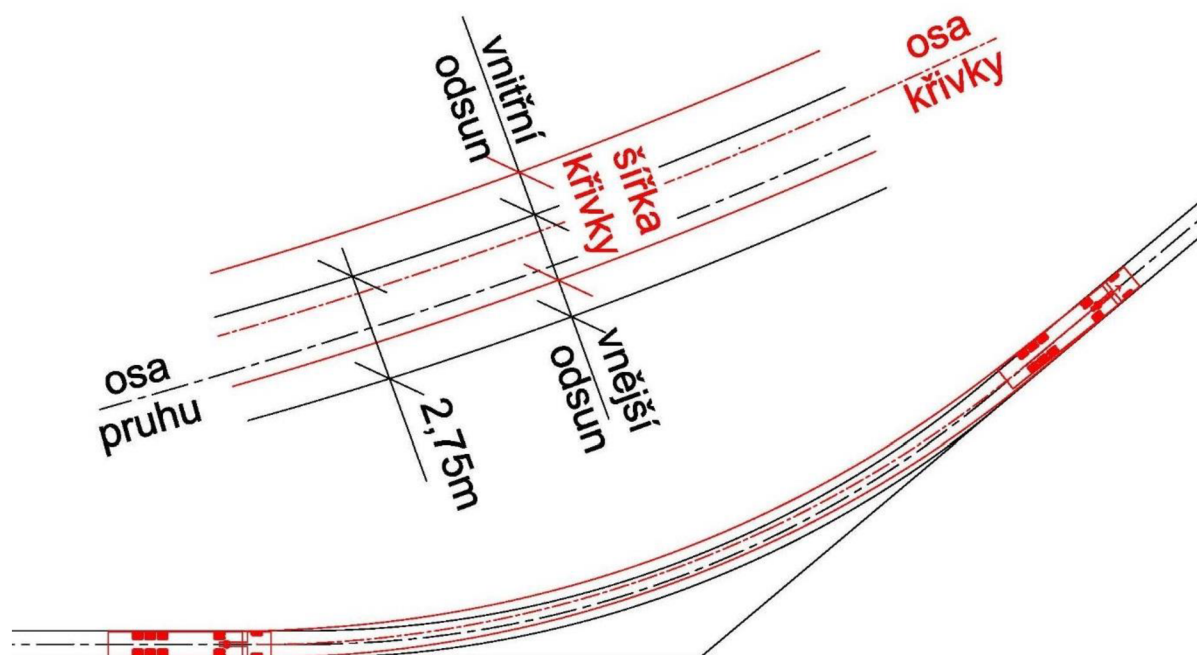
V současnosti je na trhu několik simulačních programů různých výrobců, v době zpracování byly pro účel ověření vybrány dva nejčastěji používané a jeden program jako referenční:

AutoTURN

Vehicle Tracking

Path Planner

Porovnání bylo provedeno na prostých kružnicových obloucích různých poloměrů (4-250 m), pro různé rychlosti průjezdu (10-60 km/h) a pro různé hodnoty vrcholového úhlu (5° - 90°). Do každého SW byly zadány parametrická data pro daný oblouk – rychlost průjezdu, poloměr oblouku, vrcholový úhel. Výsledná poloha vlečné křivky byla porovnána s jízdním pruhem šíře 2,75 m, měřena byla šíře křivky a její odsun proti hranám jízdního pásu, viz *Obrázek 11*. Získaná data byla tabelována, viz níže.



Obrázek 11 - Porovnání požadované a simulované vlečné křivky

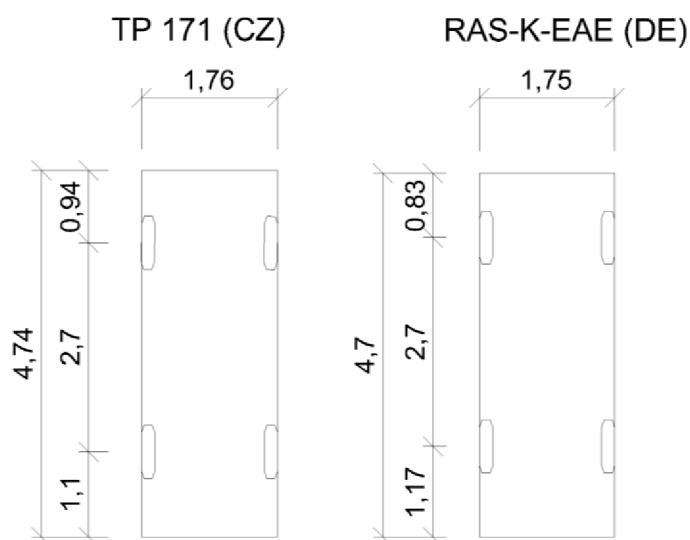
6.2 SROVNÁNÍ VLEČNÝCH KŘIVEK PRO OBLOUKY DLE ČSN 73 6101

Výsledné hodnoty simulovaných vlečných křivek se liší jak mezi jednotlivými programy, tak v rámci každého programu samostatně. Simulovaná vlečná křivka byla tvarově shodná s ostatními programy, její poloha však nekorespondovala

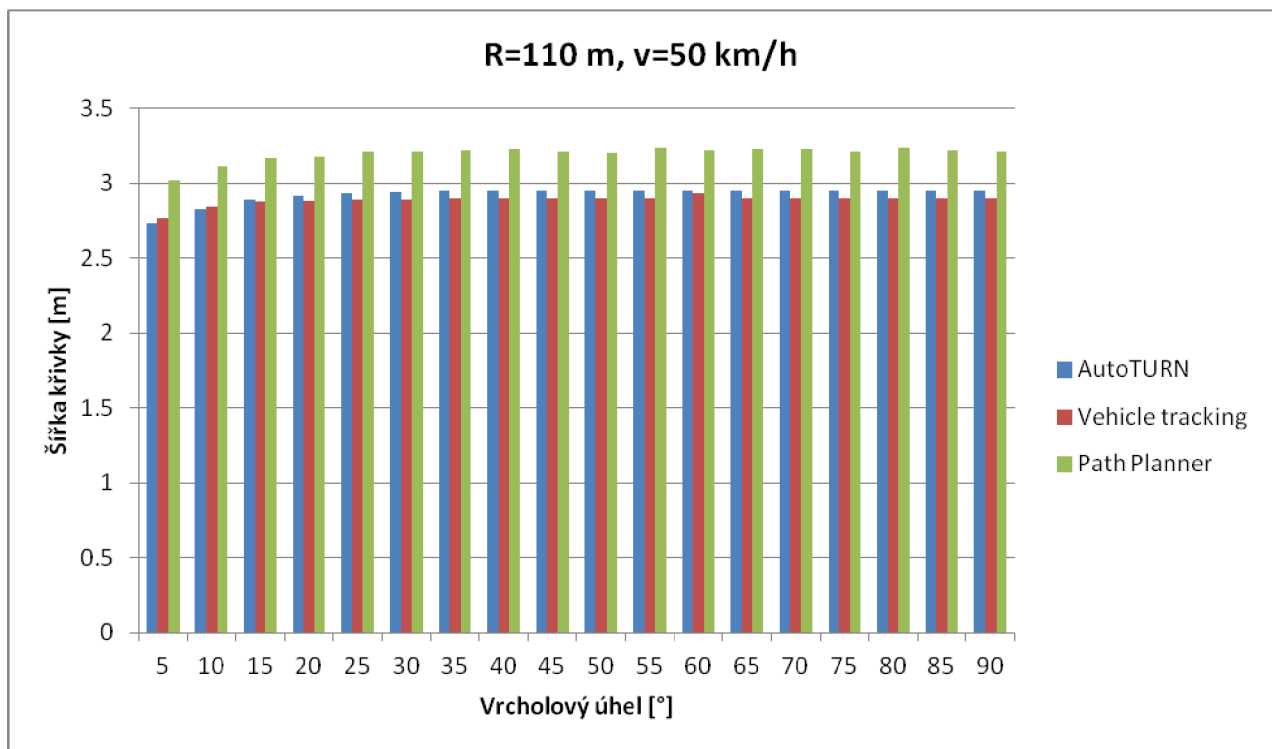
s polohou směrového oblouku. Při jiném způsobu zadávání bylo možné dosáhnout lepších výsledků, ale při tomto způsobu zadávání program neumožňoval definovat rychlost a vrcholový úhel a nebylo tedy zřejmé na základě, jakých parametrů byla křivka generována. I v případě parametrického zadání v okrajových případech program nedodržel zadané hodnoty, ale nahradil je jinými, odpovídajícími nastavení. V takovémto případě program na tuto změnu upozorní.

Vlečné křivky vytvořené programy Vehicle Tracking a PathPlanner při výše popsaném zadávání lépe korespondovaly s polohou předpokládané trasy. Výsledné křivky měly velmi podobný tvar, a vykazovaly méně výrazné ovlivnění okrajovými hodnotami než program AutoTURN. V případě, že zadané hodnoty byly v rozporu s možnostmi simulovaného vozidla, program upozorní, že výsledná křivka nemusí odpovídat skutečnosti.

Další ze zkoumaných otázek bylo, zda a jakým způsobem se liší vlečné křivky podle různých národních předpisů. Program PathPlanner, který byl použitý jako referenční, neobsahoval vozidla definované dle TP 171. Pro simulace bylo proto použito vozidlo stejné kategorie, avšak dle německé normy. Rozměry vozidel dle českých a německých předpisů se liší jen mírně, rozdíl plochy obou vozidel je 1,5%. Německé předpisy však jinak definují manévrovací možnosti vozidla, výsledná vlečná křivka se tak liší o až o 15%. Je tedy zřejmé, že definované manévrovací schopnosti vozidla, spolu s velikostí převisu významně ovlivňují výslednou šířku vlečné křivky.



Obrázek 12 - Srovnání osobních vozidel dle českých a německých předpisů



Graf 4 - Porovnání šířky vlečných křivek z různých programů (R=110 m, v=50 km/h)

6.3 SROVNÁNÍ SW A TP 171

Bylo provedeno porovnání vlečných křivek vytvořených v simulačních programech s vlečnými křivkami definovanými v TP 171. Jako referenční vozidlo byla vybrána nákladní návěšová souprava, pro srovnání byly použity programy AutoTURN a Vehicle Tracking.

Z porovnání vyplývá, že s klesající hodnotou vrcholového úhlu vzrůstá odchylka od normovaných křivek. Křivky generované simulačními programy mají podobný tvar jako křivky v TP 171, některé detaily se však liší, např. poloha kapsy tvořené vybočením návěsu v počáteční fázi manévru, její velikost je však přibližně stejná. Obecně lze říci, že program AutoTURN vykazuje větší odchylky od TP 171 než program Vehicle Tracking.

Protože není známo, jakým způsobem byly vlečné křivky pro TP 171 vytvořeny, nebylo provedeno jejich srovnání s křivkami generovanými simulačními programy.

6.4 MĚŘENÍ

Cílem měření bylo získat vlečnou křivku reálného vozidla, pro porovnání s křivkami vytvořenými simulačním SW.

Měření proběhlo dne 22.7.2015 v době od 10:00-14:00 na parkovišti Masarykova okruhu v Brně. Teplota vzduchu se pohybovala v rozmezí 32-35°C, počasí bylo jasné, slunečné. Celkem bylo provedeno 18 měření rozdělených do dvou skupin.

První skupina měření, M01-M10, byla zaměřena na ověření chování vozidla. Měření se zúčastnili 3 řidiči, kteří dostali pokyn dodržovat pro každou jízdu určitou rychlost a při ní provádět náhodné manévry se změnou směru o 70 a více stupňů.

Při měření M01 byli ověřovány minimální/maximální možnosti testovacího vozidla, pro srovnání s návrhovým vozidlem, bez ohledu na komfort cestujících. Při měřeních M02-M10 volil řidič poloměr tak, aby boční zrychlení nebylo subjektivně nepříjemné.

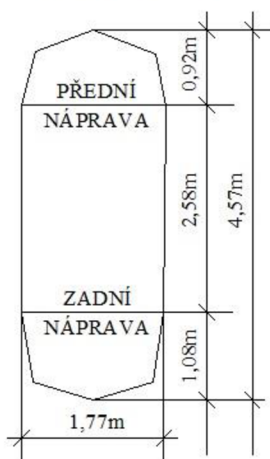
Druhá skupina měření, M11-M18, ověřovala komfort cestujících (subjektivní pocit) při průjezdu obloukem daného poloměru danou rychlostí. Simulační SW má pevně nastavený minimální poloměr pro určitou rychlost. Tento poloměr přibližně odpovídá bočnímu zrychlení 0,2g, které je považováno za limitní z hlediska komfortu cestujících. Byly proto vytýčeny 4 poloměry, které řidiči projížděli danými rychlostmi.

6.4.1 Měřicí vozidlo

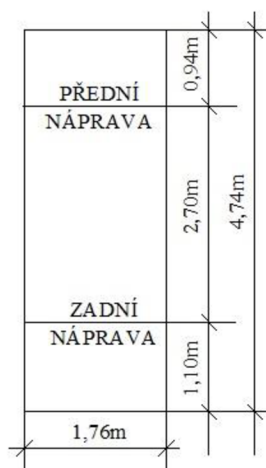
Jako referenční vozidlo pro ověření rozdílu reálných a simulovaných vlečných křivek, byl vybrán automobil kategorie O1, který TP 171 definuje jako vozidlo délky 4,74 m o rozvoru 2,70 m. Přední převis má hodnotu 0,94 m, zadní převis pak 1,10 m, šířka vozidla je 1,76 m, plocha obrysu vozidla je 8,43 m².

Těmto rozměrům se nejvíce blíží Škoda Octavia Combi, která je současně na českých silnicích dostatečně zastoupena a jedná se proto o vhodné referenční vozidlo. Rozměry měřicího dle specifikace výrobce jsou tyto: délka 4,57 m, rozvor 2,58 m, přední převis 0,92 m, zadní převis 1,08 m, šířka 1,77 m, plocha obrysu vozidla je 7,48 m², tj 11,26% méně.

MĚŘICÍ VOZIDLO



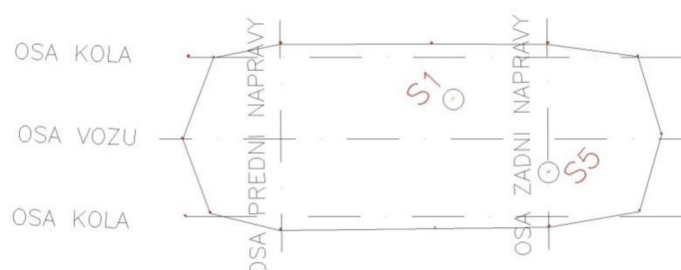
VOZIDLO DLE TP 171



Obrázek 13 - Rozměry měřicího a simulovaného vozidla

6.4.2 Měřicí systém

Na referenční vozidlo byly umístěny dva GPS rovery – S1 (Leica System 1200, anténa AX1202, záznam 20 Hz = 0,05 sec) a S5 (Leica System 500, anténa AT502, záznam 10 Hz = 0,1 sec). Jako lokální referenční stanice byl použit Leica System 1200, anténa AX1202, záznam 20 Hz = 0,05 sec umístěný na stativu. Pro zaměření trajektorie vozidla byla zvolena kinematická metoda s inicializací za pohybu (Kinematic On The Fly Method). Nejistota určení prostorové polohy se pohybuje v prostoru do 0,01 m. Před zahájením měření vlastních křivek byly pomocí referenční stanice zaměřeny rozměry vozidla a poloha GPS roverů. Takto zaměřený obrys vozidla byl poté využit pro srovnání a vyhodnocení rozdílů reálné a simulované vlečné křivky.



Obrázek 14 - Zaměřený obrys vozidla

6.5 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ A MODELOVÁNÍ

6.5.1 Excel

V programu MS Excel byly vyhodnoceny poloměry projížděných oblouků, rychlost průjezdu a hodnota offtrackingu. Ze zaměřených a spárovaných souřadnic nejprve byla dopočtena trajektorie středu první a poslední nápravy. Protože vzájemná poloha GPS roverů S1 a S5 i jejich umístění na měřicím vozidle je známo, snadno dopočteme požadované souřadnice. Vzájemná poloha roverů S1 a S5 nám definuje polohu a natočení měřicího vozidla.

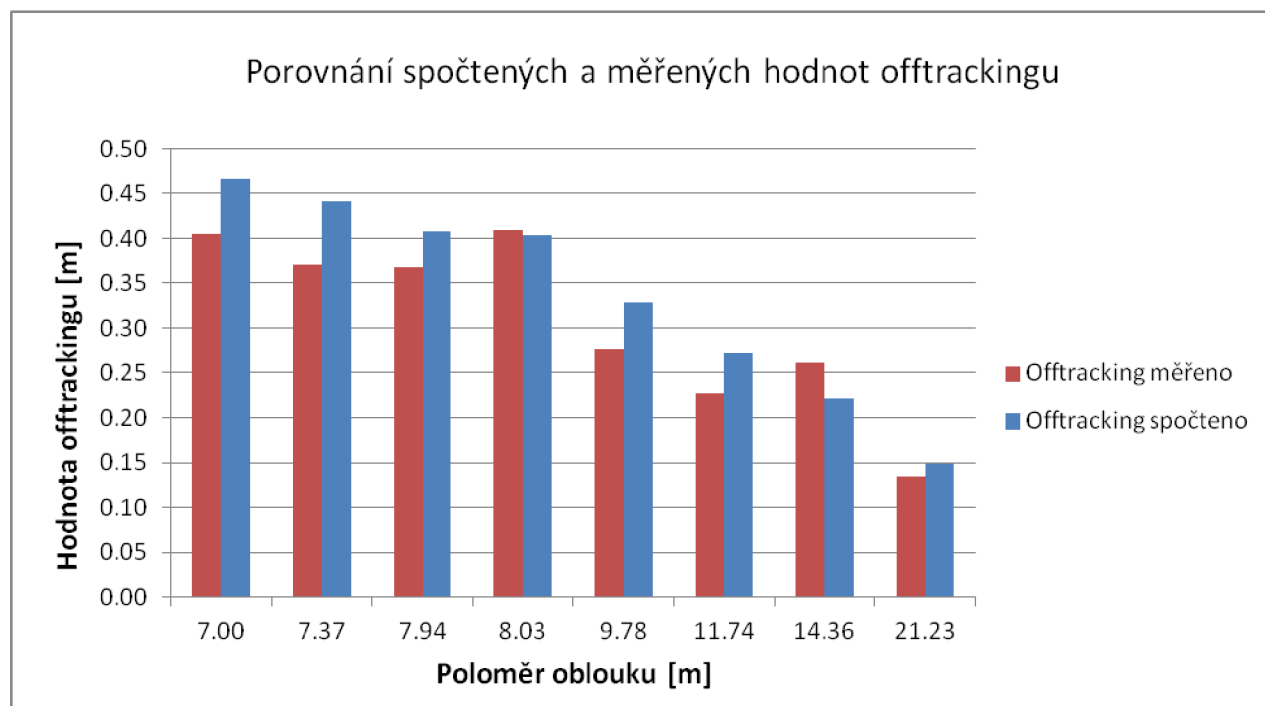
Poloměr byl vypočten v každém měřeném bodě, zvlášť pro přední a zvlášť pro zadní nápravu. Pokud jsou pro výpočet použity 3 po sobě následující body, vliv nepřesnosti měření spolu s malou vzdáleností bodů násobí odchylky a výsledné vyhodnocení je zkreslené. Pro vyhodnocení je proto vždy 9 bodů vynecháno.

Z vyhodnocení je jasně patrná proměnná křivost při průjezdu obloukem, kdy minimální poloměr tvoří pouze krátká část celého oblouku. I při snaze řidiče udržovat poloměr konstantní je patrná oscilace kolem požadované hodnoty poloměru.

Rychlost je spočtena obdobně jako poloměr v každém měřeném bodě zvlášť pro přední a zvlášť pro zadní nápravu.

I zde je ve vyhodnocení jasně patrný pokles rychlosti při průjezdu směrovým obloukem i přes snahu řidičů udržet rychlost konstantní. Při výpočtu rychlosti byly použity stejné body jako pro výpočet poloměrů.

Z vypočtených hodnot poloměrů směrových oblouků byla stanovena lokální minima, tzn. nejmenší poloměr daného oblouku, pro který byla spočtena hodnota offtrackingu. Tato hodnota byla porovnána s hodnotou odměřenou z grafického vyhodnocení simulované vlečné křivky v programu AutoCAD, viz *Graf 5*.



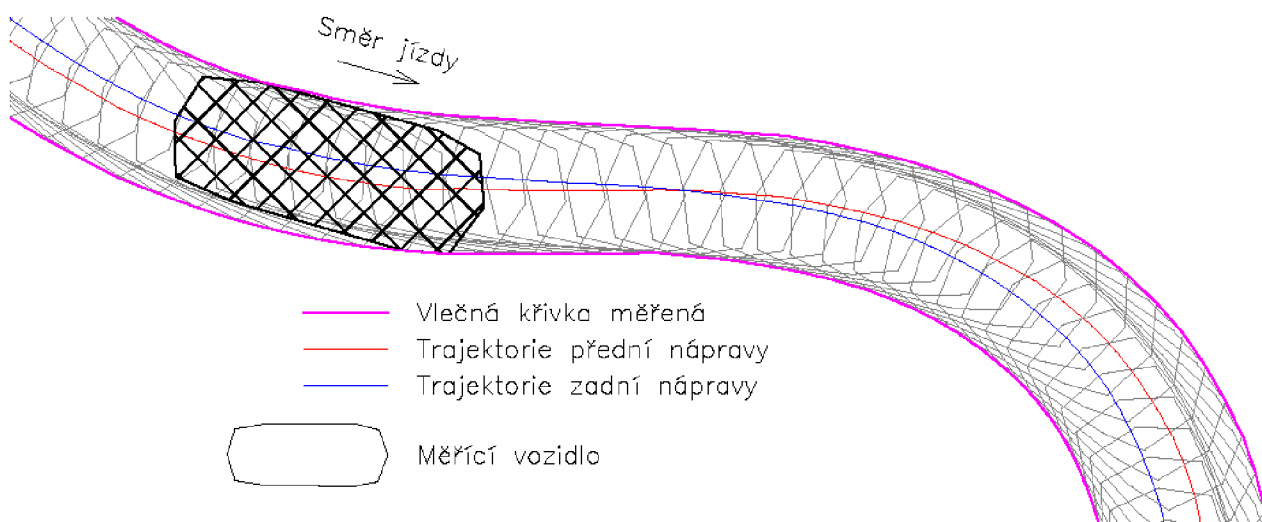
Graf 5 - Porovnání spočtených a měřených hodnot offtrackingu

6.5.2 AutoCAD

V programu AutoCAD byla provedena grafická analýza průjezdů měřicího vozidla, stanoveny vlečné křivky a porovnány hodnoty offtrackingu spočtené v Excelu. Obrys měřicího vozidla společně se známými pozicemi snímačů S1 a S5 byl doplněn o body středu přední a zadní nápravy a následně vykreslen dle zaměřených souřadnic.

Vlečná křivka byla poté stanovena jako obalová křivka obrysů vozidla. Trajektorie středu přední a zadní nápravy byla vykreslena jako spojnice jednotlivých bodů, viz *Obrázek 15*.

Hodnota offtrackingu je rovna kolmé vzdálenosti trajektorie přední a zadní nápravy v daném místě. Na základě analýzy poloměrů směrových oblouků v Excelu byla v místě minimálních poloměrů změřena vzdálenost těchto dvou křivek a porovnána s vypočtenou teoretickou hodnotou.



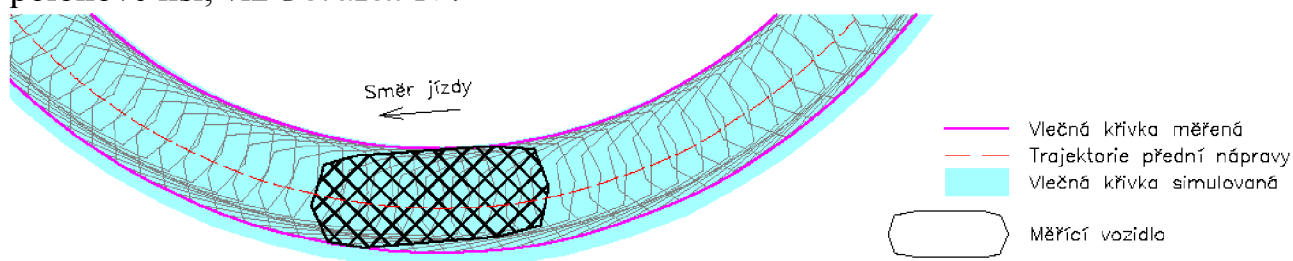
Obrázek 15 - Vykreslení vlečné křivky a trajektorií přední a zadní nápravy

6.5.3 AutoTURN

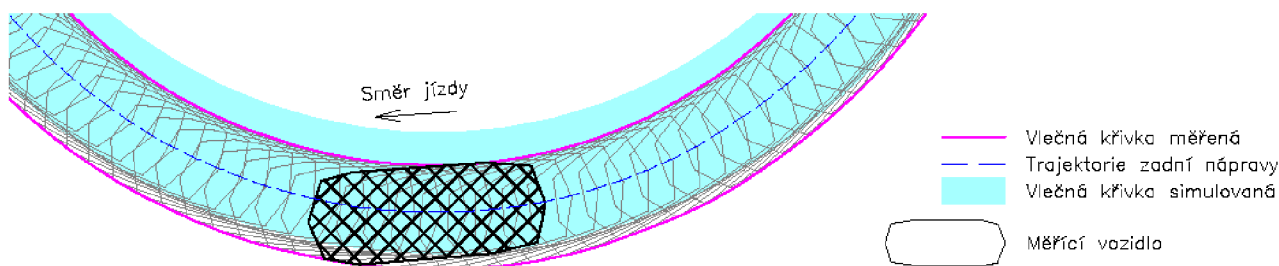
Program AutoTURN má implementovány české předpisy a pro tvorbu vlečné křivky používá vozidla dle TP 171, v našem případě vozidlo kategorie O1. Jak je zřejmé z *Obrázku 12*, rozměry vozidel nejsou stejné, a tedy ani vlečné křivky nemohou být stejné. Porovnání bylo proto provedeno z několika různých hledisek.

Jako první bylo zkoumáno, jaká trajektorie je pro simulační program řídicí. Při vzájemném porovnání simulačních programů, bylo zjištěno, že při parametrickém zadání se může poloha vlečné křivky lišit od předpokládané trajektorie. Program sice umožňuje definovat požadovanou trajektorii, ale tato nemusí odpovídat chování vozidla. Program AutoTURN (i další programy) navíc umožňuje několik nastavení a podle zvolené metody se liší tvar výsledné vlečné křivky.

Z vyhodnocení v programu AutoCAD vyplynulo, že řídicím prvkem programu AutoTURN, při parametrickém zadání, je trajektorie středu přední nápravy. V případě, že byla použita trajektorie středu přední nápravy, simulovaná vlečná křivka tvarově i polohově odpovídá měřené křivce, viz *Obrázek 16*. Pokud byla použita trajektorie středu zadní nápravy, simulovaná vlečná křivka se od zaměřené polohově liší, viz *Obrázek 17*.

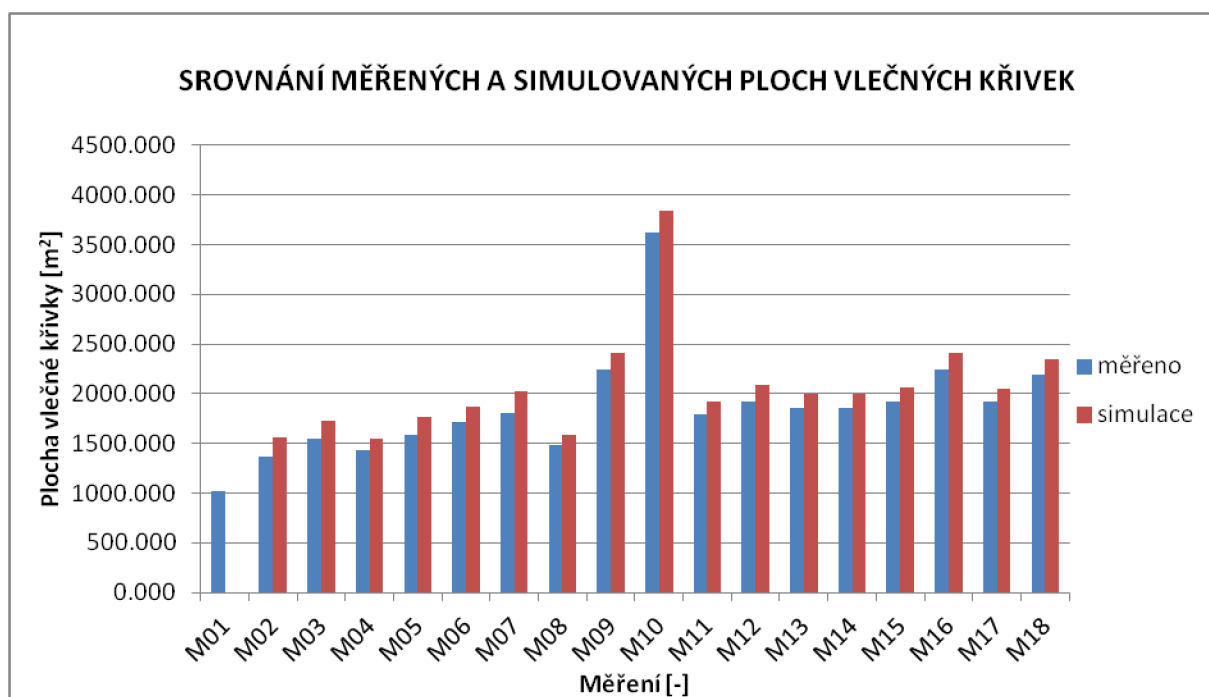


Obrázek 16 - Simulovaná a zaměřená vlečná křivka; střed přední nápravy



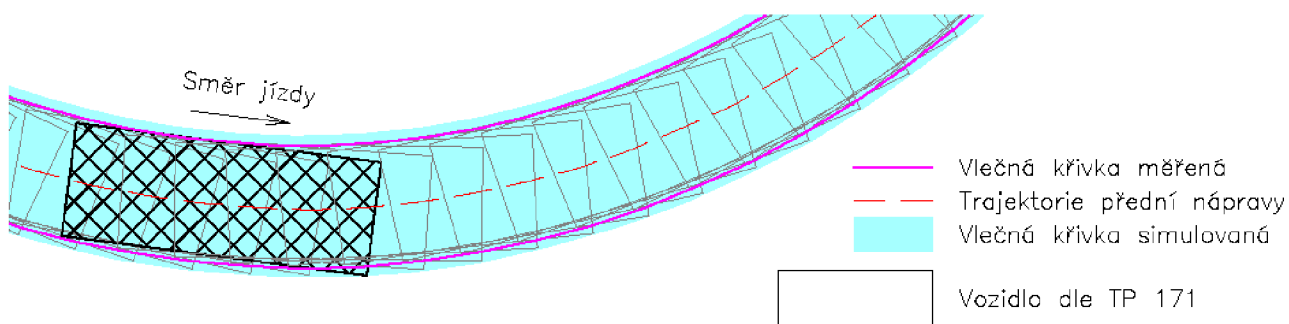
Obrázek 17 - Simulovaná a zaměřená vlečná křivka; střed zadní nápravy

Porovnáním vlečných křivek simulovaného a měřicího vozidla bylo zjištěno, že simulovaná vlečná křivka tvarově i polohově odpovídá vlečné křivce měřicího vozidla. Plocha vlečné křivky vozidla definovaného dle TP 171 (simulovaná) je díky větším rozměrům vozidla a menšímu úhlu natočení kol větší o cca 6,0-15,0% ve srovnání s měřicím vozidlem, viz *Graf 6*. U směrových oblouků většího poloměru se plocha vlečné křivky měřicího a definovaného vozidla odlišuje méně než v případě směrových oblouků malého poloměru. Je však třeba vzít v potaz, že rozdíl ploch srovnávaných vozidel činí 11,26%

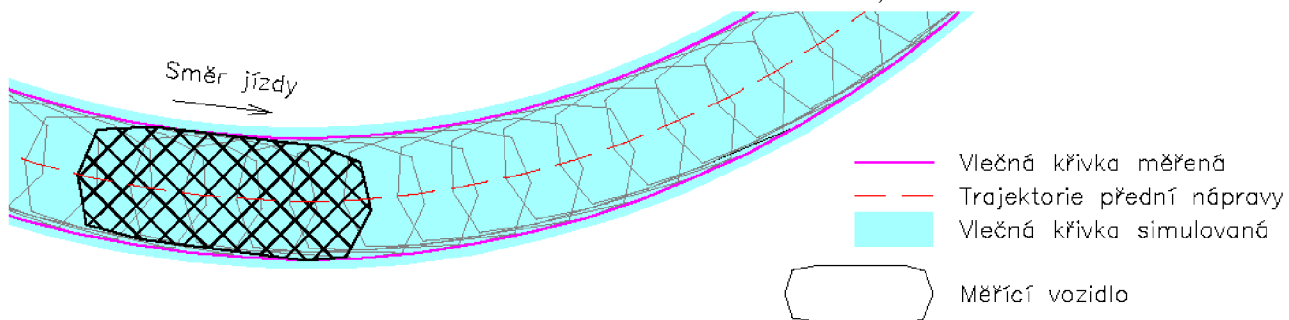


Graf 6 - Srovnání ploch měřených a simulovaných vlečných křivek

Protože měřicí vozidlo má jiné rozměry a tvar než referenční vozidlo dle TP 171, výše uvedené srovnání neodpovídá na otázku, jak velká je rezerva u simulovaných vlečných křivek. Proto bylo provedeno srovnání plochy vlečné křivky generované na základě zaměřené trajektorie přední nápravy s obrysem vozidla dle TP 171, viz *Obrázek 18* a *Obrázek 19*.

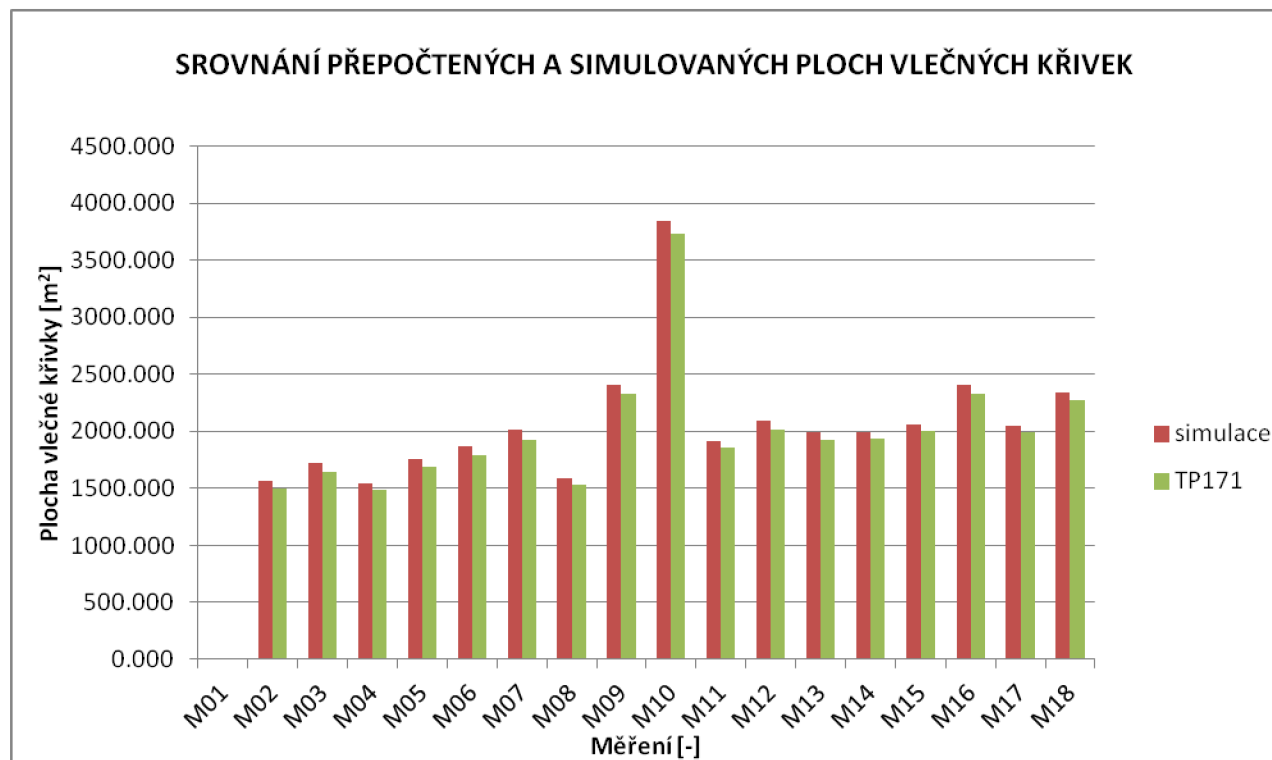


Obrázek 18 - Simulovaná a měřená vlečná křivka; vozidlo dle TP 171



Obrázek 19 - Simulovaná a měřená vlečná křivka; měřicí vozidlo

Jak je patrné z výše uvedených obrázků, simulovaná vlečná křivka má na vnitřní straně oblouku rezervu o velikosti 3,0-5,0% v závislosti na velikosti poloměru směrového oblouku. Přehledné srovnání, viz Graf 7.



Graf 7 - Srovnání přepočtených a simulovaných ploch vlečných křivek

7 NÁVRH ÚPRAVY NORMOVÝCH PARAMETRŮ

Stávající úprava technických předpisů definuje rozšíření ve směrových obloucích bez ohledu na návrhové vozidlo, vrcholový úhel směrového oblouku a typ komunikace. Navrhovaná úprava definuje rozšíření ve směrových obloucích na základě těchto parametrů s cílem přesněji definovat tvar směrového oblouku dle vlečné křivky.

V případě extravilánových komunikací se jako návrhové vozidlo uvažuje návěsová souprava, na silnicích I. třídy a silnicích evropského významu se doporučuje zohlednit možnost pohybu nadrozměrných vozidel.

Pro volbu návrhového vozidla v případě intravilánových komunikací je třeba vzít v potaz charakter okolní zástavby a předpokládaný účel dané komunikace. Pro místní/účelové komunikace v průmyslové zóně je nezbytné uvažovat s návrhovým vozidlem typu návěsová souprava, u intravilánových komunikací v obytné zástavbě uvažujeme jako největší vozidlo nákladní vozidlo N2 (svoz odpadu, vozidlo HZS). Navržený uliční prostor by však měl umožnit mimořádný průjezd návěsově soupravy, za předpokladu zvláštní organizace dopravy, případně úprav nutných pro mimořádný průjezd.

Typ návrhového vozidla, v závislosti na kategorii komunikace definuje *Tabulka 1*:

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

Tabulka 1 - Typ návrhového vozidla v závislosti na kategorii pozemní komunikace

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích se provádí na silnicích, místních a účelových komunikacích a větvích mimoúrovňových křižovatek pro jízdní pruhy šířky $\leq 3,50$ m.

Bezpečná a ekonomická šířka jízdního pruhu je dána návrhovým vozidlem, přesněji řečeno šířkou vlečné křivky návrhového vozidla zvětšenou o bezpečnostní odstup.

Rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích se podle této kapitoly provádí pro návrhová vozidla, dle TP 171.

Pro pozemní komunikace, kde se předpokládá jízda vozidel s většími prostorovými nároky, než jaká jsou uvedena v TP 171 (např. nejdelší vozidlo dle zvláštního předpisu, kloubový autobus apod.) se rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích provádí pomocí vlečných křivek.

7.1 APLIKACE VLEČNÝCH KŘIVEK

Pro posouzení průjezdu návrhového vozidla křižovatkami, zastávkami hromadné dopravy, přestupními terminály, parkovišti, garážemi, kolem dopravních ostrůvků apod. se používají vlečné křivky vozidel.

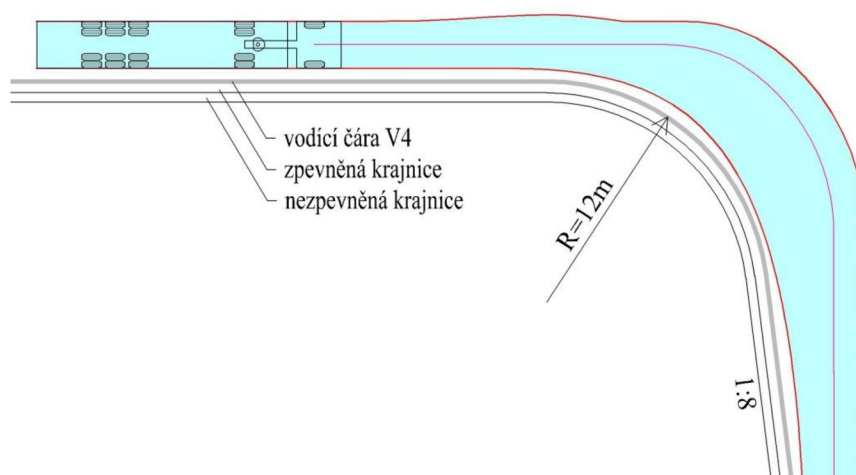
Rozšíření vozovky na pozemních komunikacích se pomocí vlečných křivek vozidel prověřuje v případech, kdy se na pozemní komunikaci předpokládá jízda vozidla s většími prostorovými nároky, jako jsou nejdelší vozidlo dle zvláštního předpisu, kloubový autobus apod. Při aplikaci vlečných křivek platí bezpečnostní odstupy.

Při simulaci průjezdu směrovým obloukem je třeba vzít v potaz polohu vozidla vůči ose komunikace, hraně zpevnění či vodící čáře. Pro směrové oblouky v extravilánu a intravilánu se osa komunikace umísťuje zpravidla do středu jízdního pásu a nejmenší projížděný poloměr tak může být menší až o jednotky metrů.

Zvláštním případem rozšíření v oblouku je nároží úrovnových křižovatek. Malý poloměr má vliv na šířku vlečné křivky a její průběh. Přibližně čtvrtina délky vlečné křivky kopíruje prostý kružnicový oblouk, dále se vozidlo srovnává do přímé a opouští kruhovou trajektorii. Tuto část vlečné křivky lze aproximovat lineárně, složeným kružnicovým obloukem, nebo kružnicovým obloukem s přechodnicí.

Konstrukce složeného kružnicového oblouku nároží křižovatky dle ČSN 73 6102, je komplikovaná a výsledný tvar nároží v některých částech nerespektuje potřebný bezpečnostní odstup. Jako vhodnější a konstrukčně snazší se jeví prostý kružnicový oblouk s lineárním náběhem, viz *Obrázek 21*. Tato úprava současně redukuje potřebu většího poloměru směrového oblouku.

Dalším možným řešením je složený kružnicový oblouk o dvou poloměrech s poměrem cca 1:4, v závislosti na typu vozidla. Tato úprava není tak konstrukčně náročná, jako složený kružnicový oblouk dle ČSN 73 6102 a současně vystihuje průběh vlečné křivky lépe, než prostý kružnicový oblouk s lineárním náběhem.



Obrázek 21 - Nároží křižovatky – prostý kružnicový oblouk s lineárním náběhem

8 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Hlavním cílem práce bylo ověření, zda je návrh rozšíření vozovek ve směrovém oblouku dle českých předpisů vhodným řešením. Na základě rozboru chování vozidla, měření a simulací bylo konstatováno, že české předpisy zohledňují prostorové nároky vozidel při průjezdu směrovým obloukem pouze částečně. Důsledkem jsou pak poruchy okrajových částí vozovek v oblastech, kde geometrický návrh dopravní stavby neodpovídá potřebám vozidla.

Návrhy na úpravu stávajících předpisů, které lze rozčlenit do těchto oblastí:

- velikost rozšíření v závislosti na návrhovém vozidle
- velikost rozšíření v závislosti na vrcholovém úhlu směrového oblouku
- geometrická úprava tvaru dělicích ostrůvků
- geometrická úprava tvaru nároží
- metodika pro práci se simulačními programy

Simulaci vlečných křivek je možné využít jako nástroj umožňující minimalizovat plochu vozovek, což je výhodné zejména ve stísněných podmínkách. Tento přístup je také vhodné využít zejména pro ověření průjezdnosti např. nadrozměrným nákladem, případně vozidlem větším, než je návrhové. V takovémto případě ověříme fyzickou průchodnost, a je možné uvažovat i s řízením dopravy.

Pro návrh dopravní stavby má však minimalizace potřebných ploch svá omezení. Faktor, který je při návrhu dopravních staveb často opomíjen, je potřeba bočního odstupu, která zohledňuje různé schopnosti řidičů a tvoří „odpouštějící návrh“ dopravní stavby. Výsledný návrh by neměl být technickým minimem potřebným pro průjezd, ale optimalizovaným dopravním řešením, které bez potíží projede i méně zkušený řidič.

V literatuře se doporučuje navrhovat plochu vozovky o 25% větší než je plocha vlečné křivky. V praxi to znamená offset vlečné křivky cca 0,5m. Tento prostor rovněž zohledňuje některé faktory, které simulační program zohlednit neumí, např. vliv kluzkého povrchu či náledí. Simulovaná křivka taktéž nezohledňuje efekt vysokorychlostního offtrackingu, který vlivem odstředivých sil redukuje plochu vlečné křivky.

Aplikace simulovaných vlečných křivek klade určité požadavky na schopnosti a zkušenosti projektanta.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. **AASHTO.** *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* Washington D.C. : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.
2. **ČSN 73 6102.** *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích ed.2.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. ICS 93.080.10.
3. **TP 171.** *Vlečné křivky pro ověřování průjezdnosti směrových prvků pozemních komunikací.* Praha : Ministerstvo dopravy České republiky, 2004.
4. **ČSN 73 6101.** *Projektování silnic a dálnic, Změna Z2.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. ICS 93.080.10.
5. **ČSN 73 6110.** *Projektování místních komunikací.* Praha : Český normalizační institut, 2006. ICS 93.080.10.
6. **STN 73 6101.** *Projektovanie ciest a diaľnic.* Bratislava : Úrad pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR, 2008.
7. **STN 73 6102.** *Projektovanie križovatiek na pozemných komunikáciách.* Bratislava : Úrad pre normalizáciu, metrologiu a skúšobníctvo SR, 2004.
8. **RAA.** *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen.* Cologne : FGSV Verlag GmbH, 2011.
9. **PPC.** *Pravilnik o projektiranju cest.* Ljubljana : Minister za promet, 2005.
10. **RVS.** *Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen.* místo neznámé : Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2001.
11. **DMRB.** *Design Manual for Roads and Bridges.* místo neznámé : The Highway Agency, 2005.
12. **Christensen, T., Blythe, W.** *Offtracking: History, Analysis, and Simulation.* Warrendale : SAE Technical Paper, 2000.
13. **Gillespie, Thomas D.** *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* Warrendale : Society of Automotive Engineers Inc, 1992.
14. **GDG.** *Geometric design guidelines for suburban high-speed curb and gutter roadways; Final report .* Arlington : Federal Highway Administration, 1995.
15. **de Pont, John.** *Offtracking of 23m HPMVs Compared to Standard Vehicles.* Auckland : Transport Engineering Research New Zealand, 2013.
16. *Development of a Dynamic Offtracking Model on Horizontal Curve Sections.* **Journal of Korean Society of Transportation.** místo neznámé : Korean Society of

Transportation, 2001. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. str. 13.

17. **Billing, John a Jeff, Patten.** *A Discussion of the High-speed Offtracking Performace Standard.* Agincourt : National Research Council of Canada, 1986.

18. **Carrasco, Milton S.E.** Turning vehicle simulation: interactive computer-aided design and drafting application. *Transportation Research Record* . 1995.

19. **Čepil, Budík, Heinrich, Radimský, Matuszková, Smělý, Kosňovský.** *Metodika pro rozšíření jízdních pruhů ve směrových obloucích a aplikaci vlečných křivek vozidel.* Brno : autor neznámý, 2015. ISBN 978-80-214-5308-1.

20. **Bradáč, Albert.** *Soudní inženýrství.* Brno : CERM, 1999.

21. **ČSN 73 6101.** *Projektování silnic a dálnic.* Praha : Český normalizační institut, 2004.

22. **Fancher, P.S., a další.** *TRUCKING AND STABILITY OF MULTI-UNIT TRUCK COMBINATIONS.* Michigan : UMTRI, 1984.

23. **ČSN 73 6056.** *Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

24. **Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.**

25. **Zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích.**

26. **Vyhláška č. 104/1997 Sb. kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích.**

27. **ČSN 73 0802.** *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

28. **ČSN 73 0804.** *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

29. **ČSN 73 6058.** *Jednotlivé, řadové a hromadné garáže.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

30. **ČSN 73 6108.** *Lesní dopravní síť.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

31. **ČSN 73 6109.** *Projektování polních cest.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

32. **ČSN 73 6101.** *Projektování silnic a dálnic, Změna Z1.* Praha : Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

ŽIVOTOPIS

Jméno a příjmení: Ing. Jiří Čepil
Datum narození: 4. 12. 1977
Bydliště: Staré Město 99, 569 32
Telefon: + 420 737 500 079
E-mail: j.cepil@gmail.com
Kontakt: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav pozemních komunikací
Veveří 331/95
602 00 Brno

Vzdělání

2011 – 2018 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, doktorandské studium v oboru Konstrukce a dopravní stavby.
1996 – 2002 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, magisterské studium v oboru Konstrukce a dopravní stavby.
1992 – 1996 Střední integrovaná škola stavební ve Vysokém Mýtě

Zaměstnání

2015 - současnost SHB a.s., Hlavní inženýr projektu, dopravní stavby
2011 - 2015 CREA Hydro&Energy, Dozor výstavby přehrad
2003 - 2015 HBH Projekt spol. s r. o., Projektant a dozor dopravních staveb

Odborná způsobilost

2011 - současnost Slovenská komora stavebných inžinierov, Stavebný dozor.
2010 - současnost Slovenská komora stavebných inžinierov, Autorizovaný stavebný inženieer.
2008 - současnost Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, Autorizovaný inženýr pro dopravní stavby.

