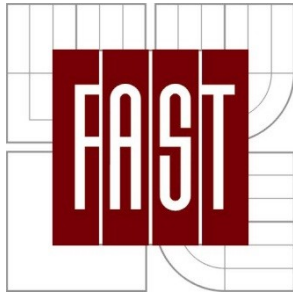


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

OBJEKTIVIZACE PARAMETRŮ VÝPOČTU VZDÁLENOSTI PRO PŘEDJÍŽDĚNÍ

OBJECTIFICATION OF CALCULATION OF PASSING SIGHT DISTANCE PARAMETERS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
PH.D. THESIS ANNOTATIONS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. VERONIKA VALENTOVÁ

ŠKOLITEL
SUPERVISOR

Ing. Michal Radimský, Ph.D.

BRNO 2015

Klíčová slova

Předjížděcí manévr, podélný sklon, rozhled pro předjíždění, vzdálenost pro předjíždění, zrychlení, reakční doba řidiče, fyzikální model vozidla

Keywords

Overtaking maneuver, longitudinal slope, overtaking sight distance, acceleration, driver reaction time, vehicle physical model

Disertační práce je uložena na vědeckém oddělení děkanátu VUT v Brně, FAST.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 5 |
| 1 CÍLE DISERTACE | 5 |
| 2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY | 6 |
| 3 METODY A MĚŘENÍ | 7 |
| 3.1. Pohybová rovnice | 8 |
| 3.2. Výběr referenčních vozidel | 9 |
| 3.2.1. <i>Statické rozložení vozového parku</i> | 9 |
| 3.2.2. <i>Dynamické složení vozového parku v ČR</i> | 10 |
| 3.2.3. <i>Referenční vozidla</i> | 10 |
| 3.3. Předjížděcí manévr | 11 |
| 3.3.1. <i>Fáze předjížděcího manévru</i> | 12 |
| 3.4. Výzkum času příčného přemístění a zpoždění na počátku manévru | 13 |
| 3.4.1. <i>Čas příčného přemístění</i> | 13 |
| 3.4.2. <i>Zpoždění na počátku manévru</i> | 14 |
| 3.5. Doba řazení | 14 |
| 3.6. Simulace manévru | 15 |
| 3.6.1. <i>Vstupní parametry simulace</i> | 15 |
| 4 VÝSLEDKY | 16 |
| 4.1. Porovnání s ČSN 73 6101 | 20 |
| 5 ZÁVĚR | 22 |
| 5.1. Splnění cílů disertační práce | 22 |
| 5.2. Aktuálnost tématu | 23 |
| 5.3. Přínos práce pro praxi a rozvoj vědy | 23 |
| 5.3.1. <i>Závěry z pohledu metodologie</i> | 23 |
| 5.3.2. <i>Závěry z pohledu výsledků</i> | 23 |
| REFERENCE | 25 |
| ŽIVOTOPIS AUTORKY | 27 |
| ABSTRACT | 28 |

ÚVOD

Provoz na pozemních komunikacích je specifický účastí celé řady účastníků s velmi odlišnými požadavky. Od pěších přes bruslaře, cyklisty, motocyklisty až po řidiče motorových vozidel.

Následující text se věnuje pouze motorovým vozidlům, u nichž se setkáváme s různorodými charakteristikami. Významné rozdíly jsou např. v rozměrech vozidel (různé typy karoserií osobních vozidel, dodávek, nákladních vozidel i autobusů), výkonu hnací jednotky, převodovce či brzdovém systému. U osobních vozidel se lze setkat s výkonem v řádech několika desítek kilowatt (viz vozidlo Škoda Fabia s motorem o výkonu 40 kW) až po vozidla vyšší třídy překračující hodnotu 100 kW.

Norma ČSN 73 6101 Navrhování silnic a dálnic používá zjednodušený výpočet vzdálenosti pro předjíždění, který byl publikován již v 70. letech minulého století. Ve výpočtu je uvažováno s rovnoměrným pohybem vozidel se stanovením rozdílu rychlosti pro jednotlivé návrhové rychlosti. Je však tento výpočet dostatečně přesný a dokáže reflektovat současnou flotilu vozidel? To je otázka, na kterou se snaží tato práce odpovědět. A proč odpověď hledat? Nesprávné předjíždění, tak jak jej eviduje Policie ČR má každoročně na svědomí okolo 30 lidských životů. Z pohledu ekonomických ztrát tyto nehody přesahují hodnotu 500 mil. Kč. (Valach a kol., 2013). V této práci je předjížděcí manévř rozebrán komplexně, zaměřen na nejkritičtější druh předjížděcího manévru a počítán na základě fyzikální podstaty. Úloha je výpočetně složitá s velkým množstvím vstupujících parametrů. Bylo nutné provést několik druhů vlastních měření a naprogramovat simulační software.

1 CÍLE DISERTACE

Hlavním cílem práce je objektivizovat výpočet vzdálenosti pro předjíždění. K jeho dosažení byla využita analýza zdrojů veličin vstupujících do výpočtu vzdálenosti pro předjíždění, vlastní observační výzkumy a vlastní simulační software, který provádí samotný výpočet.

Dalším cílem práce jsou doporučení pro praktickou aplikaci při návrhu pozemních komunikací a pro šetření soudních znalců. Jeho součástí je také analýza postupu uvedeného v ČSN 73 6101 a jeho porovnání s objektivizovaným výpočtem.

Ke splnění těchto cílů bylo nutno řešit řadu cílů dílčích:

- Zjistit hodnoty času příčného přemístění,
- zjistit jak dlouho řidiči trvá, než zahájí manévř od okamžiku, kdy nastaly podmínky pro předjetí,
- stanovit referenční vozidla,

- pro jednotlivá referenční vozidla zjistit vyráběné motory a jejich charakteristiky nutné pro výpočet vzdálenosti nutné pro předjetí,
- vytvořit výpočtové sestavy - jednotlivé typy vozidel s různými motory, jednoznačné označení sestav,
- pro jednotlivé výpočtové sestavy zjistit schopnost zrychlovat při různých sklonech a různé počáteční rychlosti,
- pro jednotlivé výpočtové sestavy vypočítat vzdálenost nutnou pro předjetí v závislosti na sklonu, seskupit výsledky do tabulky,
- z jednotlivých výsledků stanovit celkové výsledky, které budou zaokrouhleny na hodnoty vhodné pro praktické využití.

2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

V oblasti navrhování pozemních komunikací je předjížděcí manévr řešen v ČSN 73 6101 Navrhování pozemních komunikací a to pomocí rozhledu pro předjíždění (ČSN 73 6101, 2004; ČSN 73 6101 Z1, 2009). Požadavky na rozhledové poměry jsou popsány v bodě 8.5 této normy. Výpočet je uveden v příloze B normy.

Tato norma při předjíždění uvažuje s rozdílem v rychlosti vozidel a jejich rovnoměrným pohybem, což je značné zjednodušení. Předjíždění je však většinou dynamický manévr, při němž vozidla mění svou rychlost. Není tak brán zřetel na výkon vozidel ani jízdní odpory. Z odvození vzorce použitého v ČSN 73 6101 je patrné, že reakční doba řidičů je volena 1,0 s.

Zjištění provedená v rámci analýzy zahraničních předpisů (Austroads Incorporated, 2003; Sétra, 2006; The Highway Agency, 2002; Transit New Zealand, 2002; Vägverket 2010) ukazují, že postup výpočtu je podobný, často odvozený od doby, kterou předjížděcí manévr trvá. Žádná z metod neuvažuje s podélným sklonem komunikace. Významným prvkem, který v České republice není v normě ČSN 73 6101 konkretizován, je možnost předjetí pomalého vozidla většinou každých 3-5 min. Tento požadavek je poměrně nový a zdůvodněn je narůstající frustrací řidiče jedoucího za pomalým vozidlem.

Objevují se také požadavky na ekonomický návrh trasy, kdy nemají být navrhovány zbytečně velké poloměry vypuklých zakružovacích oblouků, ale raději má být proveden návrh stoupacích pruhů pro pomalá vozidla.

Stanovení reakční doby řidiče byla věnována již řada studií (Evans a Hoel, 2004; Garber a Hoel 2015 Gazis, 1960; Chang, 1985; Johansson a Rumar, 1971; Sivak, 1982; Wortman, 1983) a v současné době je obecně uznávána hranice 2,5 s jako optimální pro návrh komunikací. ČSN 736101 uvažuje se reakční dobou 1,5 s, což je blízké hodnotě stanovené výzkumy jako reakční doba na očekávanou událost (1,0 s). V rámci simulací prováděných v této práci budou uvažovány reakční doby 1,5 s pro řidiče předjížděcího vozidla a 2,5 s pro řidiče předjížděného vozidla. Rozdělení

těchto hodnot vychází z výsledků výzkumu prováděného v Austrálii (Troutbeck, 1981), kdy byly pozorovány vysoké rozdíly v rozestupu vozidel na počátku a na konci manévru.

Nejstarší výzkumy zabývající se předjížděním pocházejí již z přelomu 40. let 20. století. Holmes (Holmes, 1939) popsal metodu sběru dat a provedl sledování neuvěřitelných 21 000 manévru ve 32 lokalitách. Prisk (Prisk, 1940) rozdělil manévry do čtyř typů:

- S opožděným startem – vůz zahájí zrychlování při předjíždění se zpožděním oproti prvnímu okamžiku, kdy se naskytla možnost pro předjetí, zpoždění může být i záporné, často se používá termín zrychlovací manévr (accelerative overtaking).
- S opožděným startem a uspíšeným návratem – jako předchozí s malou rezervou při míjení s protijedoucím vozem při návratu.
- Volný – předjíždějící vůz zahájí manévr ihned po dojetí pomalejšího vozu, čili nemusí zpomalit na jeho rychlost (free overtaking, flying overtaking).
- Volný s uspíšeným návratem – jako předchozí s malou rezervou při míjení s protijedoucím vozem při návratu.

Z pohledu vzdálenosti, na kterou je řidič schopen rozeznat vozidlo v protisměru neposkytla prováděná rešerše jednoznačnou odpověď. Nejbližší odpověď dává prof. Lobanov (Lobanov, 1980) s hodnocením celkového směrového vedení trasy, kdy se hodnoty pro různé rychlosti pohybují okolo 1000 m. Uvádí i hranice, kdy je řidič schopen rozpoznat vozidla v protisměru. Jedná se však o hodnoty, kdy řidič protijedoucím vozidlům věnuje pozornost, ne o hranici, kdy je fyzicky schopen tato vozidla rozpoznat. Z toho vyplývají i uváděné nízké hodnoty. Pro další účely práce bude uvažováno s hodnotou 1000 m, přestože rozpoznatelnost vozidel závisí i na trasování komunikace, protože tím dochází ke změnám zorného úhlu řidiče a při některých konfiguracích terénu je možné vidět vozidlo na výrazně větší vzdálenost.

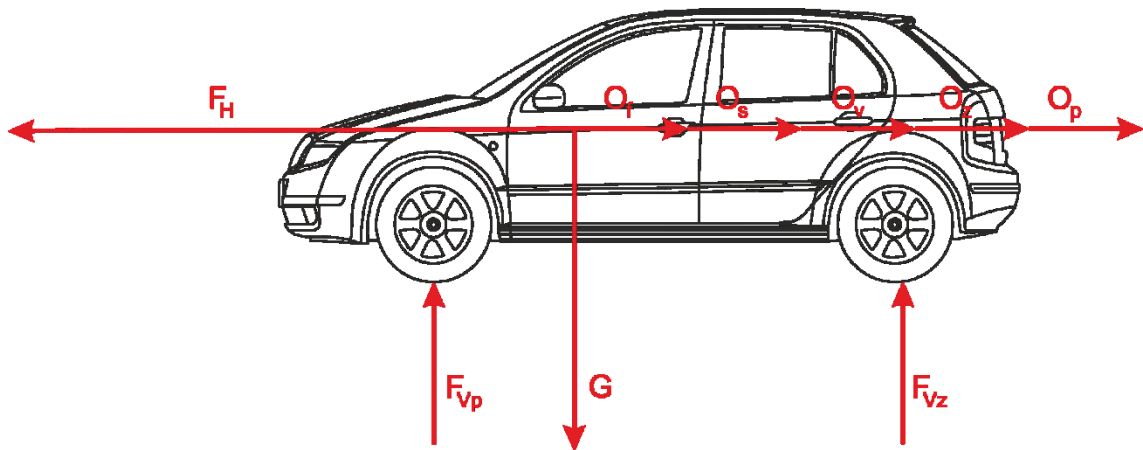
3 METODY A MĚŘENÍ

V této kapitole jsou představeny metody, které byly využity k naplnění cílů této práce. Nejprve byla sestavena obecná pohybová rovnice. Dále byl proveden výběr referenčních vozidel, navrženy metody sběru některých vstupních údajů, které nebylo možné převzít z literatury, protože se jednalo o data specifická pro české podmínky a bylo nutné jejich hodnoty ověřit. U doby řazení je v literatuře udáván interval hodnot a problematika byla konzultována s odborníkem v této problematice Ing. Michalem Richtářem z Ústavu dopravní techniky Vysoké školy báňské v Ostravě.

Po získání všech vstupních dat a jejich formy, byl autorkou vytvořen simulační software, který umožňuje zadání různých vstupních parametrů a následně vypočte hodnoty vzdálenosti pro předjíždění.

3.1. Pohybová rovnice

Pohyb vozidla je zajištěn přenosem hnací síly na kola, přičemž je nutné překonávat jízdní odpory dané vlastnostmi prostředí, ve kterém je pohyb vykonáván a také vlastnostmi samotného vozidla. Při stání a rovnoměrném pohybu musí být splněna podmínka rovnováhy sil. Pokud vozidlo mění svou rychlost, vyskytuje se dále vodorovně působící odpor zrychlení O_z .



Obrázek 1 Síly působící na vozidlo (Vlk, 2000)

Rovnováha sil ve vodorovném směru při rovnoměrném pohybu je zobrazena na obrázku 1 a uvedena v rovnici 1.

$$F_H = O_f + O_v + O_s + O_z + O_p \quad (1)$$

Kde F_H je hnací síla na kolech vozidla [N], O_f valivý odpor [N], O_v vzdušný odpor [N], O_s odpor stoupání [N], O_z odpor zrychlení [N], O_p odpor přívěsu [N].

Rovnováha sil ve svislém směru při rovnoměrném pohybu je uvedena v rovnici 2.

$$F_{Vp} + F_{Vz} - G = 0 \quad (2)$$

Kde F_{Vp} je síla působící na přední nápravu [N], F_{Vz} síla působící na zadní nápravu [N], G tíhová síla [N].

Potřebná hnací síla vychází z rovnováhy sil působících na vozidlo. Po dosazení výpočtu jednotlivých jízdních odporů dostane vztah tvar uvedený v rovnici 3.

$$F_k = f \cdot G + c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2 + G \cdot \left(s + \vartheta \cdot \frac{a}{g} \right) \quad (3)$$

Kde f je součinitel valivého odporu [-], G tíha [m/s²], c_x součinitel vzdušného odporu [-], ρ měrná hustota vzduchu [kg/m³], S_x čelní plocha vozidla [m²], v_r náporová rychlost proudění vzduchu kolem vozidla [m/s], s podélný sklon vozovky [%], v součinitel rotačních částí [-], a zrychlení vozidla [m/s²], g gravitační zrychlení [m/s²].

Zdrojem hnací síly vozidla je jeho pohonná jednotka. Spalovací motory jsou charakterizovány průběhem točivého momentu v závislosti na otáčkách motoru a křivkou výkonu motoru rovněž v závislosti na otáčkách. Točivý moment na kolech je určen točivým momentem na hřídeli motoru, daném rychlostním stupni a na účinnosti převodového ústrojí, rovnice 4 (Vlk, 2000).

$$M_k = M_{SM} \cdot i_{PÚ} \cdot \eta_{PÚ} \quad (4)$$

Kde M_k je točivý moment na kole [N.m], M_{SM} točivý moment na hřídeli motoru [N.m], $i_{PÚ}$ celkový převodový stupeň převodového ústrojí [-], $\eta_{PÚ}$ účinnost převodového ústrojí [-].

Výkon vozidla je možné stanovit pomocí hnací síly vozidla či pomocí točivého momentu, rovnice 5 (Vlk, 2000).

$$P_k = F_k \cdot v = \frac{M_k}{r_d} \cdot v \quad (5)$$

Kde v je rychlost vozidla [m.s⁻¹], M_k točivý moment na kole [N.m], r_d dynamický poloměr kola [m].

3.2. Výběr referenčních vozidel

Referenční vozidla by měla zastupovat běžná vozidla pohybující se v silničním provozu. Rozhodující roli hraje počet registrací daného vozu a také zastoupení různých motorových verzí jednotlivých modelů. Z tohoto důvodu byla provedena analýza statického a dynamického rozložení vozového parku v České republice a následně byly pro nejčastěji registrované vozy zjištěny verze osazovaných motorů a k nim příslušných převodovek a dohledány jejich parametry.

3.2.1. Statické rozložení vozového parku

Přehled vozového parku je možné získat z Centrálního registru vozidel (Centrální registr vozidel, [b.r.]), který je provozován Ministerstvem dopravy a obsahuje statistiky registrace vozidel. Tyto údaje pravidelně vyhodnocuje Sdružení automobilového průmyslu (AutoSAP). Nejčastěji registrované vozy jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Pět typů vozidel s nejvyšším počtem registrací – stav k 30. 6. 2012 (Jedlička, 2013)

| <i>Typ (model vozu)</i> | <i>Celkový počet reg. vozidel</i> | <i>Průměrný rok výroby</i> | <i>Průměrné stáří typu (let)</i> |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 1. ŠKODA FABIA | 396 574 | 2004,57 | 7,93 |
| 2. ŠKODA OCTAVIA | 379 958 | 2003,95 | 8,55 |
| 3. ŠKODA FELICIA | 373 036 | 1997,28 | 15,22 |
| 4. RENAULT MEGANE | 119 961 | 2001,57 | 10,93 |
| 5. ŠKODA 135 (Favorit) | 107 143 | 1992,22 | 20,28 |

Osobní a užitkové vozy tvoří společně téměř 75 % vozového parku v ČR.

3.2.2. Dynamické složení vozového parku v ČR

Data o dynamické skladbě dopravního proudu, tabulka 2, jsou získána ze studie „Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku na silniční síti v ČR a jeho emisních parametrů v roce 2010“, kterou zpracoval ATEM – Ateliér ekologických modelů, s.r.o. pro Ředitelství silnic a dálnic České republiky z listopadu 2010 (ATEM, 2010).

Tabulka 2 Nejčastěji zastoupené typy vozidel v dynamické skladbě dopravního proudu (ATEM, 2010)

| <i>Tovární značka</i> | <i>Typ</i> | <i>Podíl v %</i> |
|-----------------------|------------|------------------|
| Škoda | Octavia | 12,91 |
| Škoda | Fabia | 11,09 |
| Škoda | Felicia | 6,18 |
| Volkswagen | Passat | 2,89 |
| Renault | Megane | 2,71 |

Osobní a užitkové vozy tvoří společně přibližně 90 % vozového parku v ČR.

3.2.3. Referenční vozidla

Za referenční vozidla byly vybrány tři nejčastěji registrované modely značky Škoda. Tyto modely byly rovněž dominantní i při provádění průzkumu dynamické skladby dopravního proudu. Jedná se o vozy Škoda Felicia, Škoda Fabia, Škoda Octavia.

3.3. Předjížděcí manévr

Model pro účely této práce je vytvořen na základě fyzikálních vlastností pohybu vozidel po komunikaci.

Uvažuje se s případem, kdy vozidlo, které chce předjíždět pomalejší vůz, dojede pomalejší vozidlo ještě před úsekem, ve kterém je možné předjíždět. Předjížděcí manévr vozidlo započne ve chvíli, kdy má řidič vozidla dostatečný rozhled, tuto skutečnost si uvědomí a zahájí manévr. S ohledem na zajištění bezpečnostní rezervy předjíždějící vozidlo po předjetí pomalejšího vozidla již nezrychluje, pouze udržuje dosaženou rychlost. Pro další vozy, které se rozhodnou předjíždět je již za potřebí kratší dráha, protože mohou začít akcelarovat dříve.

Pro model byly přijaty následující předpoklady:

1. Rychlost předjížděného vozidla je rovna směrodatné (V85) či návrhové rychlosti v daném směru daného úseku, uvažována je hodnotami 60 – 90 km/h. Rychlosti jsou voleny v rozestupech 10 km/h, nejvyšší rychlost 90 km/h odpovídá nejvyšší dovolené rychlosti na dvoupruhových silnicích v ČR. Předjíždějící vozidlo by dle zákona o provozu na pozemních komunikacích (Česká republika, 2000) nemělo tuto rychlost překročit, nicméně toto porušení pravidel je běžným jevem a je s ním uvažováno. Pro nákladní vozidla je uvažováno rovněž s maximální rychlosti 90 km/h, přestože nejvyšší dovolená rychlost pro nákladní vozidla činí 80 km/h.
2. Délka předjížděného vozidla je uvažována 6 m, což představuje délku osobního či dodávkového vozidla dle ČSN 73 6102, hodnotou 16,5 m pro návěsové soupravy a hodnotami 12 m a 18 m pro autobusy (ČSN 73 6102, 2012).
3. Rychlost potenciálního vozidla v protisměru je řešena ve dvou variantách. Za první je rovna nejvyšší dovolené rychlosti pro daný směr komunikace, za druhé je rovna rychlosti předjížděného vozidla.
4. Výška oka řidiče je uvažována v souladu s ČSN 73 6101 1,00 m (ČSN 73 6101, 2004).
5. Je zřejmé, že během manévru může dojít k porušení zákona č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích, kdy řidič předjíždějícího vozidla překročí nejvyšší dovolenou rychlost (Česká republika, 1997 a 2000). K tomuto chování se ovšem řidiči běžně uchylují z důvodu zkrácení vzdálenosti nutné pro předjetí na minimum a tím i k minimalizaci času stráveného v protisměrném jízdním pruhu.

3.3.1. Fáze předjížděcího manévru

Předjížděcí manévr je možné rozdělit do několika fází. Nejprve musí řidič zareagovat na novou situaci a rozhodnout se předjíždět pomalejší vozidlo, poté zahájí předjížděcí manévr a do určité vzdálenosti má možnost manévr bezpečně přerušit a vrátit se zpět za pomalejší vozidlo. Pokud se rozhodne manévr dokončit, stále musí zůstat dostatečná vzdálenost pro vozidlo jedoucí v protisměru a rezerva poté, co se předjíždějící vozidlo zařadí zpět do jízdního pruhu. Takto lze manévr rozdělit na dvě základní části, část rozhodovací, na jejímž závěru se řidič rychlejšího vozu může vrátit bezpečně zpět a fázi dokončovací, kdy již musí manévr dokončit. Z těchto fází vyplývá nutný rozhled pro předjíždění.

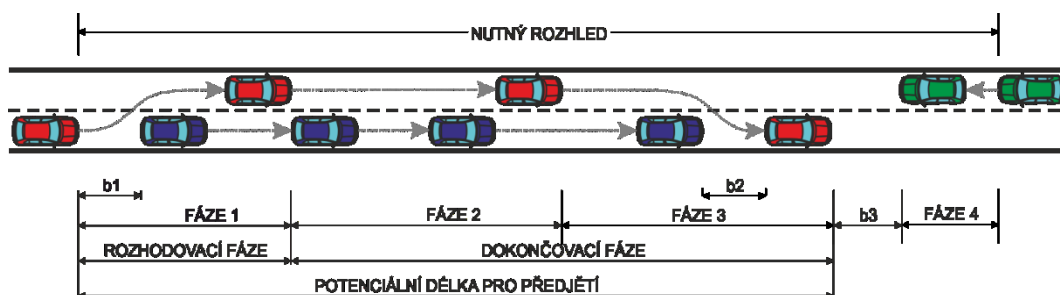
V následujícím textu jsou vozidla indexována následovně:

- 1 Předjížděné vozidlo (1)
- 2 Předjíždějící vozidlo (2)
- 3 Protijedoucí vozidlo (3)

Pro účely simulace byl manévr rozdělen do před výpočtové fáze a čtyř výpočtových fází:

- **Fáze 0** – řidič vozidla, které chce předjíždět (2), zjišťuje, zda je zahájení manévru bezpečné a provádí kroky, které mu umožní začít akcelerovat
- **Fáze 1** – řidič předjíždějícího vozidla (2) zareaguje na možnost zahájit předjíždění, poté začne zrychlovat a vybočí do protisměru, až dosáhne úrovně zadní části předjížděného vozidla (1).
- **Fáze 2** – předjíždějící vozidlo (2) zrychluje, až se dostane před předjížděné vozidlo (1).
- **Fáze 3** – předjíždějící vozidlo (2) již dosáhlo maximální rychlosti v manévru a touto rychlostí se zařazuje zpět do svého jízdního pruhu, před předjeté vozidlo (1).
- **Fáze 4** – vzdálenost, kterou ujede potenciální protijedoucí vozidlo (3) během probíhajícího manévru včetně rezervy mezi vozidly v protisměru.

Schéma předjížděcího manévru je na obrázku 2.



Obrázek 2 Předjížděcí manévr

3.4. Výzkum času příčného přemístění a zpoždění na počátku manévru

Řidič se před zahájením manévru potřebuje vždy ujistit, zda má dostatečný rozhled pro předjetí a také zda v protisměru není překážka (zpravidla protijedoucí vozidlo). Tento úkon provádí i opakovaně, dokud se nenaskytne možnost bezpečného předjetí. Zjištění délky trvání tohoto ověření a přípravy vozu k zahájení manévru je obsahem první části této kapitoly. Jedná se o vlastní výzkum, který stanovuje dobu trvání fáze 0.

Samostatná část této kapitoly je věnována vlastnímu výzkumu hodnoty příčného zrychlení. Tato hodnota stanovuje minimální délku trvání fázi 1 a 3, kdy se vozidlo musí přemístit do jiného jízdního pruhu.

3.4.1. Čas příčného přemístění

V průběhu manévru se předjíždějící vozidlo nepohybuje pouze přímo vpřed, ale rovněž je nuceno se příčně přemístit tak, aby se bezpečně vyhnulo předjížděnému vozu.

Době trvání příčného přemístění a zrychlení při příčném přemístění se věnuje disertační práce Ing. Bradáče mladšího (Bradáč, 2005). Uvažuje s maximálním příčným zrychlením a pro výpočet při předjíždění jej nelze využít.

Čas příčného přemístění byl stanoven následovně. Čas byl měřen od počátku manévru do doby, než se pohyb vozidla v protisměrném/levém jízdním pruhu ustálil.

Během výzkumu bylo sledováno 70 předjížděcích manévru na dvoupruhové silnici (volných 22 a zrychlovacích 48) a 56 manévru na dálnici.

Průměrné trvání příčného přemístění na silnicích bylo 2,44 s (směrodatná odchylka 0,70 s) pro zrychlovací manévr a 2,87 s (směrodatná odchylka 0,76 s) pro volný manévr, na dálnicích pak 4,08 s (směrodatná odchylka 0,76 s). Z hodnot je zřejmé, že na dálnicích je chování řidičů odlišné, opomenout nelze ani fakt, že vozidla překonávají větší příčnou vzdálenost (širší jízdní pruhy, větší boční rozstup při předjíždění těžkých nákladních vozidel).

Stanoveny byly také hodnoty 85% kvantilů zjištěných časů. Pro silnice činí hodnota 3,29 pro zrychlovací manévr, 3,50 pro volný manévr a 3,47 s pro všechny manévry dohromady. Pro dálnice je hodnota 4,80 s.

Vzhledem k tomu, že se autorce nepodařilo dohledat podobné zahraniční studie, které by dosažené výsledky podporovaly, byla provedena citlivostní analýza s cílem zjistit, jak velký vliv má změna hodnot doby příčného přemístění na celkový čas manévru. Hodnoty času příčného přemístění byly variovány v intervalu -50 % až 50 %.

Analýza ukázala, že v 89 % případů simulací není čas příčného přemístění vozidla rozhodující. Výraznější vliv má schopnost vozidla akcelarovat (fáze 1 a 3 trvají delší dobu, než je čas příčného přemístění). Vliv tedy má prakticky pouze na vozidla s motory o vysokém výkonu. Ve zbývajících 11 % případů, kdy byl čas manévru tímto parametrem ovlivněn, byl vliv na celkový čas manévru do 2 % do sklonu -6 %, poté vliv poměrně strmě roste a při sklonu -15 % dosahuje hodnoty 13,7 %. Tento vliv zahrnuje nárůst času ve fázi 1 i 3.

3.4.2. Zpoždění na počátku manévru

Zpoždění na počátku předjížděcího manévru je komplexní událostí, kdy řidič zjišťuje, zda po minutí překážky či protijedoucího vozidla může manévr zahájit či nikoli, u motorů s nižším výkonem často podřazuje a sešlapuje plynový pedál, protože reakce vozidla není okamžitá. Rozsáhlé zahraniční studie (Prisk, 1940; Troutbeck, 1981) uvádí, že hodnoty tohoto zpoždění jsou většinou záporné. Je tedy zřejmé, že předjížděcí manévr je prováděn za plného soustředění řidiče předjížděcího vozu a příprava k němu je prováděna ještě před tím, než okolní podmínky umožní manévr zahájit.

Pro ověření výsledků této studie byl proveden vlastní výzkum, který byl ovšem velmi omezen dostupností dat a jedná se tedy pouze o potvrzení výsledků zahraniční studie. Celkem bylo hodnoceno 17 manévru.

Bylo zjištěno, že toto chování závisí nejen na předjížděném vozidle, ale také na protijedoucím. Pokud se jedná o velké nákladní vozy, pak je prodleva kladná, pokud se jedná o osobní vozy, pak je zjištěná hodnota zpoždění záporná a pohybuje se v intervalu od -0,5 s do 0,3 s. Průměrná zjištěná hodnota činila -0,09 s.

3.5. Doba řazení

V průběhu předjížděcího manévru je ve většině případů u vozidel s nižšími výkony nutné zařadit nižší rychlostní stupeň, aby došlo ke zvýšení otáček motoru a tím i k vyšší akceleraci vozu. Samotné řazení trvá nějakou dobu, po kterou je výkon vozidla prakticky nulový a na vozidlo tak působí pouze jízdní odpory.

Problematika byla konzultována s odborníkem v této oblasti Ing. Michalem Richtářem z Ústavu dopravní techniky Vysoké školy báňské v Ostravě. Z jeho ústního sdělení je zřejmé, že výše uvedené hodnoty 0,5 – 1,0 s se v praxi využívají. Doporučil uvažovat s hodnotou 0,8 s, která je použita jako výchozí při simulacích.

3.6. Simulace manévru

Jak je zřejmé z předchozích kapitol, výpočet bylo nutné vzhledem k nelinearitám závislým na aktuální rychlosti provádět iteračně. Jednalo se o nelinearitu způsobenou

- Zařazeným rychlostním stupněm – v každém kroku je ověřováno, zda zvolený rychlostní stupeň odpovídá maximální schopnosti vozu akcelarovat,
- jízdními odpory – mění se nelineárně v závislosti na rychlosti vozidla.

Časový krok výpočtu je volen 0,05 s.

Simulační software PM Sim byl vytvořen na základě vztahů uvedených v kapitole 5.1 a 5.3. Pohybová rovnice byla pro iterační výpočet upravena na tvar uvedený v rovnici 6.

$$v_{n+1} = v_n + \frac{k}{m} \cdot \left(\frac{\eta \cdot P \cdot 1000}{v_n} - \frac{1}{2} \cdot c_x \cdot S_x \cdot \rho \cdot v_n^2 - \frac{f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{r_d} - m \cdot g \cdot \sin \alpha \right) \quad (6)$$

Kde k je krok výpočtu [s], η účinnost převodného ústrojí [-], P výkon motoru [kW], v_n okamžitá rychlost kroku n [m/s], v_{n+1} okamžitá rychlost kroku $n+1$ [m/s], c_x součinitel odporu vzduchu [-], ρ měrná hustota vzduchu [kg/m³], S_x čelní plocha vozidla [m²], f součinitel valivého odporu [-], m hmotnost vozidla [kg], g tíhové zrychlení [m/s²], α úhel mezi nakloněnou a vodorovnou rovinou [rad], r_d dynamický poloměr kola vozidla [m].

3.6.1. Vstupní parametry simulace

Pro jednotlivé modely vozidel bylo uvažováno s karoserií combi. Další parametry simulací, které byly podrobně rozepsány v předchozích kapitolách, jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 3 Vstupní hodnoty simulací

| | |
|---|--|
| Reakční doba řidičů vozidel (1), (2) | 1,5 s pro předjíždějící vozidlo (2) 2,5 s pro předjížděné vozidlo (1) |
| Délka předjížděného vozidla (1) | 6 m pro osobní vozidla |
| - Největší normové délky skupin vozidel | 16,5 m pro nákladní vozidla 18 m pro autobusy |
| Zpomalení při kritickém brždění | 5,8 m/s ² pro osobní vozidla 5,0 m/s ² pro nákladní vozy a autobusy |
| Počáteční rychlost vozidel (1), (2) | 60 km/h – 90 km/h v rozestupech 10 km/h |

| | |
|----------------------------------|---|
| Valivý odpor | 0,01 na suché vozovce 0,006 na mokré vozovce |
| Rychlost vozidla (3) | shodná s rychlostí vozidla (1) či vyšší v rozestupech 10 km/h až do hodnoty 90 km/h |
| Krok výpočtu | 0,05 s |
| Vzdálenost pro příčné přemístění | 3,50 m |
| Hustota vzduchu | 1,25 kg/m ³ |
| Účinnost převodného ústrojí | 0,85 pro všechny typy vozidel |
| Doba řazení | 0,8 s |

4 VÝSLEDKY

Výzkum vlivu jednotlivých parametrů byl proveden pro jeden typ vozidla a motoru s příslušnou převodovkou. Výsledky proto ukazují trendy, ovšem konkrétní procentuální vlivy se mohou pro jiné vozy lišit. Parametry s vysokým vlivem byly zjištěny dva:

1. vliv podélného sklonu komunikace,
2. vliv valivého odporu.

Vliv podélnému sklonu byl podroben hlubší studii, kdy bylo simulováno 43 variant typu vozu, motoru a převodovky. Následně byly výsledky rozděleny podle objemu motoru a s ohledem na zajištění 85 % kvantilu vozidel byly uvažovány výsledky pro vozy s objemem motoru do 1 400 ccm.

Je patrné, že vliv sklonu je velmi vysoký. Například při sklonu +3 % je rozhled nutný pro předjetí až o 93 % delší než pro sklon -3 % (opačný směr). S rostoucím sklonem se tento rozdíl dále zvětšuje, jak ukazuje tabulka 4. Pokles nárůstu u sklonů nad 10 % je způsoben snížením počtu vozidel schopných předjíždět v směru do kopce.

Tabulka 4 Procentuální nárůst rozhledové vzdálenosti nutné pro předjíždění při opačném sklonu (rychlostní limit 90 km/h)

| Sklon | | Nárůst vzdálenosti pro předjíždění | | | |
|-------|------|---|---------|---------|---------|
| Tam | Zpět | Rychlost vozidel (1) a (2) na počátku manévru | | | |
| | | 60 km/h | 70 km/h | 80 km/h | 90 km/h |
| [%] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| -15 | 15 | 318 | 305 | - | - |
| -14 | 14 | 261 | 308 | - | - |
| -13 | 13 | 309 | 471 | - | - |

| | | | | | |
|-----|----|-----|-----|------|-----|
| -12 | 12 | 207 | 653 | - | - |
| -11 | 11 | 359 | 297 | 1395 | - |
| -10 | 10 | 272 | 242 | 212 | - |
| -9 | 9 | 191 | 393 | 131 | 838 |
| -8 | 8 | 141 | 300 | 334 | 311 |
| -7 | 7 | 136 | 290 | 323 | 298 |
| -6 | 6 | 83 | 116 | 339 | 194 |
| -5 | 5 | 58 | 87 | 202 | 205 |
| -4 | 4 | 41 | 66 | 98 | 120 |
| -3 | 3 | 28 | 43 | 60 | 93 |
| -2 | 2 | 18 | 25 | 33 | 45 |
| -1 | 1 | 9 | 12 | 14 | 18 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 4 dále ukazuje, že využití vodorovného značení V3 Podélná čára souvislá doplněná podélnou čarou přerušovanou by mohlo být daleko častější, přestože přerušovaná čára se umísťuje na úsecích, kde je splněn požadavek na dvojnásobný rozhled pro zastavení. Došlo by tak ke splnění požadavku ČSN 73 6101 i vyhlášky č. 104/1997 Sb. na maximalizaci počtu úseků, na nichž je možné předjíždět, a snížit tak frustraci řidičů rychlejších vozidel. Je tak ovšem nutno činit nejen s ohledem na možnosti předjíždění, ale také na nehodovost jednotlivých úseků, aby nedošlo ke zhoršení stávající situace, a na intenzitu provozu na komunikaci ve špičkové hodině. Při vysokých intenzitách vozidel jsou rozestupy mezi vozidly pro předjíždění nedostatečné a v takových případech by měly být zřizovány přídatné jízdní pruhy.

Tabulka 42 ukazuje procentuální změnu vzdálenosti pro předjíždění při různých podélných sklonech v přepočtu k nulovému sklonu. Tyto hodnoty ukazují, že rozdíly jsou v řádech desítek procent a výpočet uvedený v ČSN 73 6101, příloze B, nereflakuje dostatečně skutečnost.

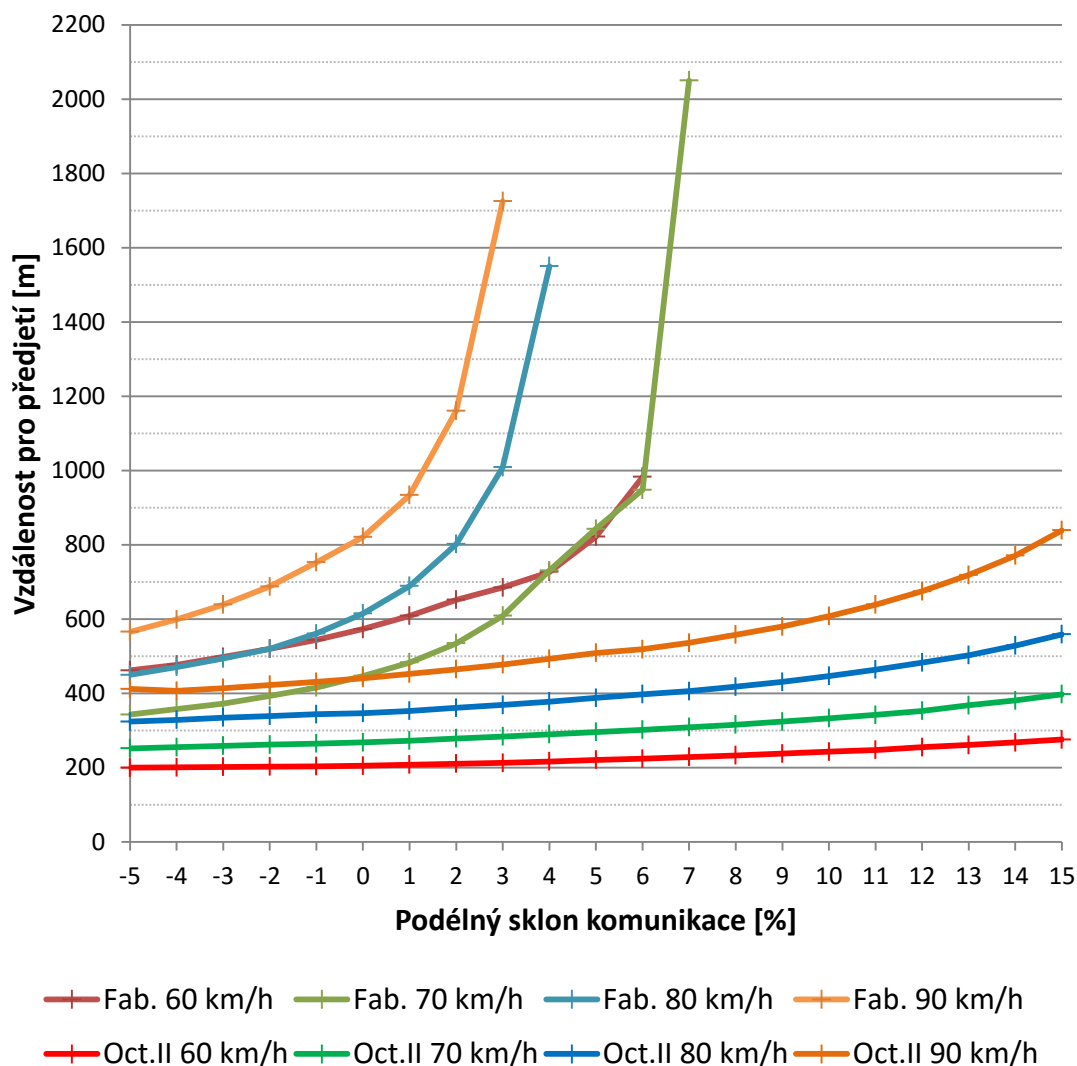
Tabulka 5 Procentuální změna rozhledu nutného pro předjíždění vzhledem ke sklonu 0%

| Sklon | Nárůst vzdálenosti pro předjíždění | | | |
|-------|---|---------|---------|---------|
| | Rychlost vozidel (1) a (2) na počátku manévru | | | |
| | 60 km/h | 70 km/h | 80 km/h | 90 km/h |
| [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| -15 | -29 | -35 | -39 | -45 |
| -14 | -28 | -34 | -38 | -44 |
| -13 | -28 | -32 | -37 | -42 |
| -12 | -27 | -31 | -35 | -41 |
| -11 | -25 | -30 | -34 | -40 |
| -10 | -24 | -28 | -32 | -38 |
| -9 | -23 | -27 | -31 | -36 |

| | | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|
| -8 | -21 | -25 | -29 | -34 |
| -7 | -19 | -23 | -27 | -32 |
| -6 | -17 | -21 | -25 | -29 |
| -5 | -15 | -19 | -22 | -26 |
| -4 | -13 | -16 | -19 | -23 |
| -3 | -10 | -13 | -15 | -18 |
| -2 | -7 | -9 | -11 | -13 |
| -1 | -4 | -5 | -6 | -7 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 5 | 6 | 8 | 10 |
| 2 | 9 | 14 | 18 | 26 |
| 3 | 15 | 25 | 35 | 57 |
| 4 | 23 | 39 | 61 | 70 |
| 5 | 34 | 53 | 136 | 125 |
| 6 | 51 | 71 | 232 | 107 |
| 7 | 62 | 113 | 322 | 405 |
| 8 | 91 | 200 | 209 | 171 |
| 9 | 125 | 261 | 60 | 498 |
| 10 | 182 | 145 | 111 | - |
| 11 | 242 | 179 | 888 | - |
| 12 | 126 | 419 | - | - |
| 13 | 195 | 286 | - | - |
| 14 | 158 | 171 | - | - |
| 15 | 196 | 164 | - | - |

Rovněž jsou z řešení práce patrné výrazné rozdíly mezi vozy s nižším objemem motoru/výkonem a vozy silnějšími. V grafu na obrázku 3 jsou zobrazeny rozdíly mezi simulacemi s nejslabším motorem Škody Fabia 1,2 HTP o výkonu 40 kW a nejsilnějším motorem vozu Škoda Octavia II 2,0 TFSI o výkonu 147 kW. Při nulovém sklonu a počáteční rychlosti 60 km/h potřebuje méně výkonný vůz téměř třikrát delší vzdálenost pro předjetí. Při počáteční rychlosti 90 km/h je vozidlo s výkonem 40 kW schopné předjíždět pouze do 3 % stoupání. Ovšem tato hodnota je v podstatě teoretická, protože vozidlo vyžaduje délku pro předjetí přes 1700 m.

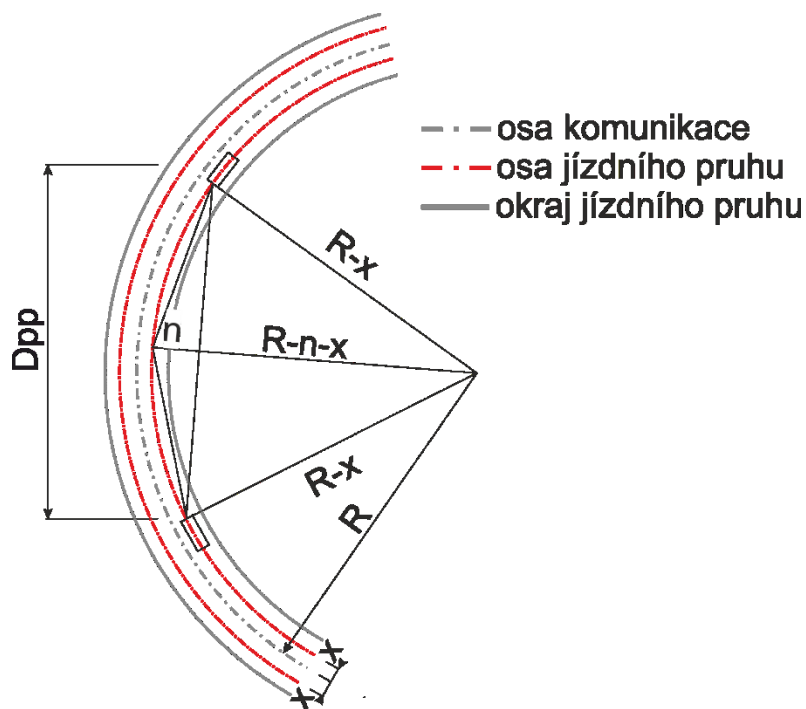
Vypočítané vzdálenosti rozhledu nutného pro předjíždění často překračují hodnoty 1000 m, který je na základě rešerše, v této práci uvažován jako fyzický limit vnímání vozidla v protisměru řidičem. Také je nutné uvažovat s tím, že na silniční síti se podélný sklon často mění v menších intervalech, než jsou výsledné hodnoty nutných rozhledů. Z tohoto důvodu se doporučuje při návrhu uvažovat s nejméně příznivou variantou (nejvyšším sklonem).



Obrázek 3 Vzdálenost pro předjíždění vozů Škoda Fabia 1,2 HTP, 40 kW a Škoda Octavia II 2,0 TFSI, 147 kW

Výsledky týkající se poloměrů směrových oblouků, u nichž není potřeba ověřovat rozhled pro předjíždění, jsou maximální bezpečné a u většiny směrových oblouků čistě teoretické. Při zvětšujícím se vzepětí úseče směrového oblouku (hodnota n ve schématu na obrázku 4) hodnota nutných poloměrů strmě klesá, jak pro vybrané hodnoty ukazuje tabulka 6. Přesto je valná většina směrových oblouků na dvoupruhových silnicích výrazně menší (v řádech stovek metrů, na silnicích II. a III. tříd nejsou výjimkou ani oblouky o poloměrech v řádech desítek metrů). Předjíždění je tak nutné umožnit zejména v přímých úsecích.

S ohledem na možnost zrychlování předjížděného vozidla v klesání, ačkoli je to v rozporu s vyhl. č. 104/1997 Sb. (Česká republika, 1997), se pro případnou úpravu předpisů doporučuje pro sklony nižší než 0 % použít hodnoty vypočítané pro nulový podélný sklon komunikace.



Obrázek 4 Schéma zajištění rozhledu pro předjíždění na dvoupruhové silnici

Tabulka 6 Poloměry směrových oblouků bez nutnosti ověřit rozhled pro předjíždění v závislosti na vzepětí úseče směrového oblouku (S 9,5, počáteční rychlost 70 km/h)

| Sklon | Nejmenší poloměr bez nutnosti ověřit rozhled pro předjíždění | | | | |
|-------|--|--------|--------|-------|-------|
| | Koruna S 9,5 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| [%] | [m] | | | | |
| -6 | 8 696 | 6 002 | 3 006 | 2 008 | 1 511 |
| -5 | 9 216 | 6 361 | 3 185 | 2 128 | 1 601 |
| -4 | 9 833 | 6 787 | 3 398 | 2 270 | 1 707 |
| -3 | 10 564 | 7 291 | 3 650 | 2 438 | 1 833 |
| -2 | 11 447 | 7 900 | 3 955 | 2 641 | 1 986 |
| -1 | 12 544 | 8 657 | 4 333 | 2 893 | 2 175 |
| 0 | 13 875 | 9 575 | 4 792 | 3 199 | 2 404 |
| 1 | 15 616 | 10 777 | 5 393 | 3 600 | 2 705 |
| 2 | 18 008 | 12 427 | 6 218 | 4 150 | 3 117 |
| 3 | 21 558 | 14 877 | 7 443 | 4 967 | 3 730 |
| 4 | 26 913 | 18 572 | 9 291 | 6 198 | 4 654 |
| 5 | 32 287 | 22 280 | 11 144 | 7 434 | 5 580 |
| 6 | 40 488 | 27 939 | 13 974 | 9 321 | 6 995 |

4.1. Porovnání s ČSN 73 6101

Další důležitou otázkou, kterou by výsledky měly zodpovědět je porovnání výsledků s hodnotami uvedenými v ČSN 73 6101. Bohužel to k rozdílné metodice není možné přímo.

Vzorec uvedený v ČSN 73 6101 není detailně popsán a vysvětlen. Předpokládá se pouze, že předjížděné vozidlo jede rychlostí nižší

o uvedenou hodnotu a že předjíždějí vozidlo se pohybuje návrhovou/směrodatnou rychlostí. Je zřejmé, že tento přístup je vzdálený skutečnému chování řidičů.

Srovnání hodnot pro sklon 0 % (s vlivem podélného sklonu ČSN neuvažuje) je provedeno přibližně na základě počátečních hodnot výpočtu. S návrhovou rychlostí uvažovanou v ČSN 73 6101 je srovnáván rychlostní limit komunikace uvažovaný v této práci.

Pro rychlost 90 km/h udává ČSN 73 6101 hodnotu vzdálenosti pro předjíždění 550 m a uvažuje s rychlostí předjížděného vozidla 68 km/h. Ke srovnání byl využit rychlostní limit 90 km/h a rychlost předjížděného i předjíždějího vozidla na počátku manévru 70 km/h. Pro vozidla s obsahem motoru do 1,4 l činí nutná rozhledová vzdálenost 646 m, pro vozidla s větším objemem motoru pak 554 m. Podle výkonu potom činí pro vozidla do 66 kW 660 m a pro výkonnější vozy 542 m. Průměr pro všechna vozidla činí 598 m. Podrobnější výsledky jsou v tabulce 44.

Z porovnání je zřejmé, že pro vyšší návrhové rychlosti připouští ČSN 73 6101 vyšší míru rizika než pro rychlosti nižší. Tento závěr vyplývá z rychlostí předjížděného vozidla, kdy hodnoty uvažované v simulacích v programu PM Sim jsou většinou vyšší a hodnota rozhledu pro předjíždění (i s uvažováním protijedoucího vozidla) je obdobná hodnotám uváděným v ČSN 73 6101. U rychlosti 90 km/h je hodnota uváděná v ČSN srovnatelná s hodnotami vypočtenými programem PM Sim pouze pro vozidla s výkonnějšími motory/motory o větším objemu.

Tabulka 7 Přibližné porovnání hodnot vzdáleností pro předjíždění uvedených v ČSN 73 6101 a výsledků simulací

| ČSN 73 6101 [m] | ≤ 1,4 l [m] | > 1,4 l [m] | ≤ 66 kW [m] | > 66 kW [m] | Průměr [m] | |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|------------------------------|
| Předjíždějí - Rychlost 90 km/h | | | | | | ČSN - Předjížděný 68 km/h |
| 550 | 646 | 554 | 650 | 542 | 598 | PM Sim - Předjížděný 70 km/h |
| Předjíždějí - Rychlost 80 km/h | | | | | | ČSN - Předjížděný 60 km/h |
| 500 | 482 | 420 | 485 | 411 | 450 | PM Sim - Předjížděný 60 km/h |
| Předjíždějí - Rychlost 70 km/h | | | | | | ČSN - Předjížděný 52 km/h |
| 450 | 459 | 400 | 462 | 392 | 428 | PM Sim - Předjížděný 60 km/h |
| Předjíždějí - Rychlost 60 km/h | | | | | | ČSN - Předjížděný 45 km/h |
| 400 | 436 | 381 | 439 | 372 | 407 | PM Sim - Předjížděný 60 km/h |

5 ZÁVĚR

5.1. Splnění cílů disertační práce

Název disertační práce je „Objektivizace parametrů výpočtu vzdálenosti pro předjíždění“. Práce ovšem není zaměřená pouze na stanovení parametrů výpočtu na základě fyzikálního modelu a jejich hodnot, ale zabývá se problematikou více do hloubky. Byl stanoven vliv jednotlivých parametrů na vzdálenost pro předjíždění a zvláštní prostor byl věnován vlivu podélného sklonu, který, jak se ukázalo, má na vzdálenost pro předjíždění výrazný vliv. Dále byla zpracována doporučení vycházející z výsledků práce. To vše bylo provedeno k zodpovězení otázek stanovujících cíle práce:

- **Hlavním cílem práce bylo objektivizovat výpočet vzdálenosti pro předjíždění.**

Pro výpočet vzdálenosti pro předjíždění byl použit komplexní fyzikální model. Mírná zjednodušení lze nalézt u některých jízdních odporů, tyto jsou ovšem způsobeny nedostupností přesnějších dat či vlastnostmi daného jevu (proudění vzduchu). Hodnoty ostatních parametrů vycházely ze zahraničních zkušeností a byly doplněny vlastními výzkumy pomocí observačních studií. Délky vozidel byly voleny na základě normových hodnot uváděných v ČSN 73 6101 z roku 2004. Charakteristiky vozidel uvažovaných ve výpočtu byly zjištěny v katalogích a dílenských příručkách výrobce. Na základě všech těchto poznatků lze konstatovat, že byly využity všechny dostupné údaje a cíl tak byl v maximální míře naplněn.

- **Dalším cílem práce jsou doporučení pro praktickou aplikaci při návrhu pozemních komunikací a pro šetření soudních znalců. Jeho součástí je také analýza postupu uvedeného v ČSN 73 6101 a jeho porovnání s objektivizovaným výpočtem.**

Při řešení práce byly vytvořeny tabulky, ve kterých jsou uvedeny hodnoty pro předjíždění v závislosti na podélném sklonu komunikace v různých počátečních rychlostech vozidel i při různém rychlostním limitu (rychlost protijedoucího vozidla).

Dále byly vytvořeny tabulky minimálních poloměrů směrových oblouků, ve kterých není nutné ověřovat rozhled pro předjíždění. Tyto tabulky jsou sestaveny pro kategorie komunikací S7,5, S9,5 a S11,5.

Postup uváděný v ČSN 73 6101 byl podrobně analyzován, opětovně odvozen a je zřejmé, že postup obsahuje řadu zjednodušení. Při porovnání s výsledky zjištěnými v této studii bylo zjištěno, že v ČSN je uvažováno s vyšší mírou rizika řidiče při předjíždění ve vysokých počátečních

rychlostech. Největším deficitem uvedeného výpočtu je ovšem fakt, že uváděné hodnoty jsou platné pouze pro nulový podélný sklon, který se na síti pozemních komunikací vyskytuje spíše výjimečně.

5.2. Aktuálnost tématu

Práce přispívá ke zvýšení bezpečnosti silniční sítě, kterou řeší Národní strategie bezpečnosti silničního provozu (Ministerstvo dopravy, 2011). Infrastruktura se na vzniku dopravních nehod podílí přibližně v 30 % případů (CDV, 2011). Nesprávné předjíždění je příčinou přibližně 4 % nehod v ČR (Kapitola 2), nicméně do této statistiky nejsou zahrnuty nehody, kdy jsou nehody ve statistice uvažovány jako čelní srážky, vyjetí z komunikace či náraz zezadu. I tyto nehody jsou často způsobeny nesprávným předjížděním, nicméně jsou Policií ČR klasifikovány jinak. Při přibližně polovině těchto nehod dochází k následkům na zdraví, často fatálním. Pochopení chování při předjížděcím manévru a poskytnutí podkladů pro diskuzi k úpravě předpisů pro navrhování pozemních komunikací může pomoci snížit počet usmrcených a těžce zraněných na silniční síti v ČR.

5.3. Přínos práce pro praxi a rozvoj vědy

5.3.1. Závěry z pohledu metodologie

Z metodologického hlediska lze konstatovat, že je možné realizovat výpočet vzdálenosti pro předjíždění pro konkrétní typ vozu a specifické podmínky komunikace. Objevena byla pouze potřeba stanovením účinnosti převodného ústrojí vozu. Tato hodnota je výrobcem automobilů utajována. Nicméně vytvořený software umožňuje zadání i této hodnoty a v případě využití software PM Sim pro simulaci nehodového jevu soudními znalci je možné zadat vlastní specifickou hodnotu.

Inovativní je v práci použití detailního fyzikálního modelu převedeného do vlastního software PM Sim a uvažování různých hodnot jednotlivých vstupních parametrů. Autorce není známo, že by takto komplexní studie byla v České republice prováděna. V zahraničí autorka našla řadu studií, ovšem většinou jsou zaměřené pouze na některý z vlivů. V žádné nalezené studii nebylo uvažováno s vlivem podélného sklonu na vzdálenost pro předjíždění.

5.3.2. Závěry z pohledu výsledků

Dosažené výsledky mohou sloužit jako podklad pro diskuzi o uvažování se vzdáleností pro předjíždění při další revizi ČSN 73 6101. Přínosem práce je podrobný fyzikální model a z něho dosažené výsledky, které zohledňují nerovnoměrnou rychlost vozidel v jízdním proudu, jejich rozdílné parametry a uvažují s vlivem podélného sklonu, který má ze všech

vstupních údajů (kromě parametrů vozidel) nejvýraznější vliv na rozhled nutný pro předjíždění. Z výsledků je zřejmé, že by bylo vhodné stávající znění upravit, aby byl zahrnut vliv podélného sklonu. Dále by na základě dosažených výsledků bylo vhodné zvážit pravidla pro umístění přídatných pruhů pro pomalá vozidla ve stoupání.

Vytvořený software PM Sim by mohl sloužit jako výuková pomůcka pro studenty vysokých škol a rovněž může být využit soudními znalci při řešení nehodového děje (za podmínky doplnění charakteristik řešeného vozidla).

Z hlediska projektantské praxe je možné využít všechny tabelované výsledky pro návrh komunikací. Pouze je nutné uvažovat s fyziologickými omezeními, na která je u tabulek upozorněno.

Výsledky dále ukázaly, kam by bylo vhodné zaměřit další výzkum v této oblasti:

- Zjištění poměru vozidel s obsahem motoru do 1,4 l a vozidel s obsahem vyšším, která vykonávají předjížděcí manévry. (Účelem je upřesnění zajištění 85 % kvantilu vozidel, která jsou schopna a ochotna v daných podmínkách předjíždět. Zejména se jedná o vyšší rychlosti předjížděných vozidel a stoupání.)
- Provedení podrobné studie zaměřené na zjištění zpoždění na počátku předjížděcího manévru.
- Provedení podrobné studie zaměřené na výzkum valivého odporu. (Valivý odpor má výrazný vliv na vzdálenost pro předjíždění a je ovlivňován celou řadou faktorů – povrch vozovky, hmotnost vozidla, typ a huštění pneumatik, rychlost vozidla, podélný sklon.)

REFERENCE

ATEM - ATELIÉR EKOLOGICKÝCH MODELŮ, S. R. O. *Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku na silniční síti v ČR a jeho emisních parametrů v roce 2010*. Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2010.

AUSTROADS INCORPORATED. *Rural Road Design: A Guide to the Geometric Design of Rural Roads*. 2003

Složení vozového parku v ČR. *Autosap: Sdružení automobilového průmyslu* [online]. 2015 [cit. 2015-10-14]. Dostupné z:

<http://www.autosap.cz/zakladni-prehledy-a-udaje/slozeni-vozoveho-parku-v-cr/>

BRADÁČ, Albert. Příčné přemístění vozidel - výsledky disertační práce. *Soudní inženýrství*, 2005, roč. 15, č. 5, s. 267-273. ISSN: 1211-443X.

ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o provozu na pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, číslo 361/2000. Dostupné také z:

<http://zakony-online.cz/?s38>

ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška, kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1997, částka 36/1997, číslo 104/1997. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-104>

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

ČSN 73 6101 Změna Z1. *Projektování silnic a dálnic*. Praha: Český normalizační institut, 2009.

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

EVANS, Leonard a Lester A HOEL. *Traffic safety*. Fifth edition.

Bloomfield, Mich.: Science Serving Society, c2004, xiv, 444 p. ISBN 09-754-8710-8.

GARBER, Nicholas J a Lester A HOEL. *Traffic and highway engineering*. Fifth edition. Stamford, CT, USA: Cengage Learning, 2015, xix, 1271 pages. ISBN 11-336-0515-X.

GAZIS, Denos, Robert HERMAN a Alexei MARADUDIN. The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow. *Operations Research*.

1960, **8**(1): 112-132. DOI: 10.1287/opre.8.1.112. ISSN 0030-364x.

Dostupné také z:

<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.8.1.112>

HOLMES, E.H. Procedure employed in analysing passing practices of motor vehicles. *Public Roads* 19(11). 1939. 235-44.

CHANG, M.S., et. Al. Timing Traffic Signal Change Intervals Based on Driver Behavior. *Transportation Research Record*. 1985. T.R.B.

Washington D.C. ISSN 0361-1981.

JEDLIČKA, Jan, Tomáš KOZELSKÝ a Jana MAJCHRÁKOVÁ. *Analýza automobilového průmyslu* [online]. 2013, 44 s. [cit. 2015-10-14]. Dostupné z:
http://www.csas.cz/static_internet/cs/Evropska_unie/Specialni_analyzy/Specialni_analyzy/Prilohy/euspa_analysis_of_the_automobile_industry.pdf

JOHANSSON, G. a K. RUMAR. Driver's brake reaction times. *Human factors*. 1971(13(1):23-7).

Kolektiv autorů. *Bezpečnost silničního provozu aktuální poznatky*. Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Brno. 2011

LOBANOV, E.M. *Highway Design Taking into Consideration Drivers Psycho-Physiology*. Moskva: Transport, 1980.

MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. *Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011 – 2020* [online]. Praha, 2011 [cit. 2015-09-30]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/data/web/soubory/nsbsp-2011-2020-formatovani-ii.pdf>

PRISK, C.W. Passing practices on rural highways. *Proc. Highway Res. Board*. 22. 1940. 366-78.

SÉTRA. Understanding the principle geometric design parameters for roads. 2006

SIVAK, M., et al. Radar Measured Reaction Times of Unalerted Drivers to Brake Signals. *Perceptual Motor Skills* 55. 1982.

THE HIGHWAY AGENCY. *Design Manual for Roads and Bridges, Volume 6 Road Geometry*. 2002.

TRANSIT NEW ZEALAND. *State Highway Geometric Design Manual, Section 5: Vertical Alignment*. 2002

TROUTBECK, R.J. *Overtaking behaviour on Australian two-lane rural highways*. Victoria: Australian Road Research Board, 1981. ISBN 08-691-0043-2.

VALACH, Ondřej a kol. Výše ztrát z dopravní nehodovosti na pozemních komunikacích za rok 2013. *Observatoř bezpečnosti silničního provozu* [online]. 2014 [cit. 2015-09-30]. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/vyse-ztrat-z-dopravni-nehodovosti-na-pozemnich-komunikacich-za-rok-2013/>

VÄGVERKET. *VU 94 Road Design, English Summary*. 2010

VLK, František. *Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory : hnací charakteristika : brzdění : odpruženost : říditelnost, ovladatelnost : stabilita*. 1. vyd. Brno: VLK, 2000, 434 s. ISBN 80-238-5273-6.

WORTMAN, R.H., MATTHIAS, J.S., Evaluation of Driver Behavior at Signalized Intersections. *Transportation Research Record*. 1983. T.R.B. Washington D.C. ISSN 0361-1981.

ŽIVOTOPIS AUTORKY

Osobní informace

Jméno: Veronika Valentová
Datum nar.: 10. 4. 1985
Místo nar.: Kadaň
Kontakt: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.
Divize bezpečnosti a dopravního inženýrství
Líšeňská 33a, 636 00 Brno
Veronika.valentova@cdv.cz

Vzdělání

2004 – 2008 VUT v Brně, Fakulta stavební, obor Konstrukce a dopravní stavby, Ústav stavební mechaniky, bakalářské studium, získán titul Bc.
2008 – 2010 VUT v Brně, Fakulta stavební, obor Konstrukce a dopravní stavby, Ústav pozemních komunikací, magisterské studium, získán titul Ing.
od 2010 VUT v Brně, Fakulta stavební, obor Konstrukce a dopravní stavby, Ústav pozemních komunikací, doktorské studium, složena státní doktorská zkouška

Profesní růst

2007 – 2012 projektant, Silniční projekt, spol. s r. o., Šumavská 31, 602 00 Brno
- projekční činnost v oboru dopravní stavby
2010 – 2012 doktorand, VUT v Brně, FAST, PKO, Veverčí 331/95, 602 00 Brno
- výuka, projekční činnost pozemních komunikací, výzkumná činnost v oblasti dopravy
od 2011 výzkumná pracovnice, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., Líšeňská 33a, 636 00 Brno
- výzkumná činnost v oblasti dopravy, audity bezpečnosti PK, expertní činnost
2013 *Certifikovaný auditor bezpečnosti pozemních komunikací, Č. P. 084*
2013 *Autorizovaný inženýr pro dopravní stavby, ČKAIT 1005885*

ABSTRACT

Overtaking maneuver is very complex event influenced by many parameters. The most important parameters are vehicle performance, longitudinal slope, the speed at the beginning of the maneuver, the reaction time of the driver. Overtaking distance at CSN 73 6101 is determined on the basis of a simplified physical model. It considers constant speed of vehicles (overtaking and overtaken) and it does not consider a longitudinal gradient of road. This calculation is used for several decades and it is required to verify this procedure. That was the purpose of this work.

Detailed physical model was performed for several types of passenger vehicles, performance curves and gear changes were included too. Distances between vehicles at the beginning and in the end of the maneuver were chosen with regard to reaction times of drivers. Distances were compared with conclusions of observation studies.

Input values of some parameters were determined by own measurement and compared with data reported in the literature. The analysis was performed using the video camera positioned at the front and rear of the vehicle.

For selected vehicle were conducted simulations testing the influence of particular parameters. The parameters with the biggest influence were longitudinal slope of the road and rolling friction.

To achieve results useful for a possible regulations update for the design of roads another simulation models for 43 variants of passenger cars with different engines and transmissions were done. The vehicles were divided into categories based on engine capacity and engine power (up to 1400 ccm, over 1400 ccm; 66 kW to over 66 kW).

Results were compiled in tabular form that could be used to discuss modifications to CSN 73 6101 Design of roads.