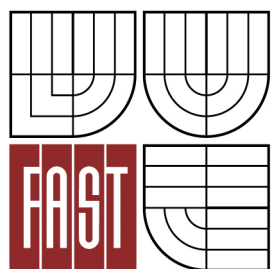




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

OPTIMALIZACE VYBRANÝCH NÁVRHOVÝCH PRVKŮ ČSN PRO PROJEKTOVÁNÍ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

OPTIMIZATION OF SELECTED PROPOSED ČSN ELEMENTS FOR ROAD DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. ONDŘEJ KOKEŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL RADIMSKÝ, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Ondřej Kokeš
Název	Optimalizace vybraných návrhových prvků ČSN pro projektování pozemních komunikací
Vedoucí diplomové práce	Ing. Michal Radimský, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- příslušné ČSN a zahraniční normy, Technické podmínky, Vzorové listy

Zásady pro vypracování

Předmětem práce je srovnání návrhových prvků českých norem pro projektování pozemních komunikací s normami ve vybraných státech světa. Na základě srovnání, a po dohodě s vedoucím práce, bude navržena optimalizace návrhových rychlostí a vliv na různé typy PK s ohledem na udržitelnou bezpečnost dopravy.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Michal Radimský, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce popisuje a rozebírá některé návrhové prvky z ČSN 73 6101 a porovnává je s Norma de Traçado, což je hlavní předpis pro navrhování pozemních komunikací v Portugalsku. V praktické části na základě poznatků z teoretické části je zkoumán průjezd vozidel směrovými oblouky a z toho pramenící provázanost mezi teoretickým návrhem a výslednou reálnou rychlostí. Cílem práce je ověřit předpoklad, že návrhová rychlost v normě nereflektuje skutečnou rychlost, kterou řidiči jezdí po pozemních komunikacích.

Klíčová slova

ČSN 73 6101, Norma de Traçado, návrhová rychlost, směrový oblouk, poloměr oblouku, příčný sklon, součinitel tření, odstředivé zrychlení

Abstract

Diploma thesis describes and researches some proposed ČSN 73 6101 elements for road design and their subsequent comparison with Norma de Traçado that is main law for road design in Portugal. In practical part, the speed of vehicles during moving on direction curves is researched and subsequently coherence of theoretical assumptions with real speeds is compared. The main aim of this work is to verify the assumption that design speed does not correspond to the real speed that drivers move on road structures.

Keywords

ČSN 73 6101, Norma de Traçado, design speed, direction curve, radius of curve, crossfall, skid resistance, centrifugal acceleration

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Ondřej Kokeš *Optimalizace vybraných návrhových prvků ČSN pro projektování pozemních komunikací*. Brno, 2015. 115 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Michal Radimský, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 7.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Ondřej Kokeš

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval především mému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Radimskému, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při vypracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval Ing. Radce Matuszkové za její rady, ochotu a pomoc při provádění měření. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za jejich psychickou a finanční podporu během studia.

OBSAH

Úvod	7
1 Popis vybraných prvků dle ČSN 73 6101	8
1.1 Křivolakost	8
1.2 Návrhová a směrodatná rychlost	9
1.3 Rozhledové vzdálenosti	12
1.4 Mezipřímá	14
1.5 Směrové oblouky	14
1.6 Výsledný sklon	20
1.7 Výškové oblouky	21
2 Popis vybraných prvků dle Norma de Traçado	24
2.1 Návrhová a dopravní rychlost	24
2.2 Rozhledové vzdálenosti	26
2.3 Mezipřímá	28
2.4 Směrové oblouky	29
2.5 Výsledný sklon	32
2.6 Výškové návrhové prvky	32
3 Srovnání vybraných prvků z ČSN 73 6101 a z Norma de Traçado	35
3.1 Používané rychlosti pro navrhování pozemních komunikací	35
3.2 Rozhledové vzdálenosti	35
3.3 Mezipřímá	38
3.4 Směrové oblouky	39
3.5 Výškové oblouky	47

4	Měření rychlosti průjezdu směrovými oblouky	50
4.1	Měření Dvorská 1.....	52
4.2	Měření Dvorská 2.....	55
4.3	Měření Malešovice.....	57
4.4	Měření Průmyslová.....	59
4.5	Měření Silůvky.....	62
4.6	Měření Unkovice.....	64
4.7	Vyhodnocení měření.....	67
5	Měření Mobitestem	69
5.1	Postup měření.....	69
5.2	1. vyhodnocení měření.....	72
5.3	2. vyhodnocení měření.....	79
6	Zhodnocení naměřených výsledků	100
	Závěr	105
	Seznam obrázků	107
	Seznam grafů	109
	Seznam tabulek	111
	Seznam literatury	113
	Seznam použitých zkratk a symbolů	114

ÚVOD

Předmětem této práce je srovnání vybraných návrhových prvků ČSN pro projektování pozemních komunikací s normami ve vybraných státech světa.

V České republice se pro navrhování silnic a dálnic ve volné krajině (extravilánu) používá norma ČSN 73 6101. V diplomové práci budou nejprve rozebrány prvky z této normy, které mají velký podíl na výsledné bezpečnosti navržené pozemní komunikace.

V další části autor využije svůj půlroční studijní pobyt Erasmus v Portugalsku a rozebere tytéž prvky dle portugalské normy Norma de Traçado, která se taktéž používá pro návrh silnic a dálnic v extravilánu.

V praktické části na základě poznatků z teoretické části bude zkoumán průjezd vozidel směrovými oblouky a z toho pramenící provázanost mezi teoretickým návrhem a výslednou reálnou rychlostí.

Cílem práce je ověřit předpoklad, že návrhová rychlost v normě ČSN 73 6101 nereflexuje skutečnou rychlost, kterou řidiči jezdí po pozemních komunikacích, což následně může vést k neekonomickému a technicky složitému návrhu. Dále bude také snaha o zkoumání faktu, zda příčný sklon ovlivňuje poloměr směrového oblouku takovým způsobem, jak je prezentováno v normě.

1 POPIS VYBRANÝCH PRVKŮ DLE ČSN 73 6101

Pro přehlednost a srozumitelnost této práce jsou níže uvedeny definice vybraných pojmů z ČSN 73 6101 a dále je zde uveden popis některých prvků.

1.1 Křivolakost

Parametr sloužící k popisu směrových poměrů určitého úseku silnice. Rovná se součtu úhlových změn směrových oblouků v gradech vztaženému na délku zkoumaného úseku (rovnice 1.1). [1]

$$K = \frac{\sum_{i=1}^j |\gamma_i|}{l} \quad 1.1$$

K – křivolakost v gradech/km

γ_i – úhlová změna v situaci na dílčím úseku v gradech

l – délka části silnice v km

l_i – délka dílčího úseku i v km

j – počet dílčích úseků na uvažované části silnice

V poslední změně normy (ČSN 73 6101 Z1) byla křivolakost vypuštěna, přestože v zahraničí je považována za důležitý faktor pro zjištění návrhové rychlosti.

1.2 Návrhová a směrodatná rychlost

1.2.1 Návrhová rychlost

Je to rychlost, která se v normě ČSN 73 6101 používá pro návrh všech důležitých prvků pozemních komunikací (např. poloměry směrových a výškových oblouků, příčné sklony, délky rozhledů pro zastavení a předjíždění).

Dále je vhodné podotknout, že v normě není tato rychlost definována a také ani nevychází z reálné rychlosti na navrhované komunikaci. Jde tedy o veličinu, která slouží pro návrh prvků za určitých rizik.

Návrhová rychlost se volí v rozsahu těchto hodnot:

- a) Na dálnicích a rychlostních silnicích 120 až 80 km/h;
- b) Na silnicích 100 až 30 km/h;

a to na základě rozboru konkrétních podmínek územních (tabulka 1), klimatických, geologických a hydrogeologických, hodnoty a využití zemědělské půdy, hustoty a specifických znaků dislokace sídelních útvarů a průmyslových celků, hustoty sítě existujících pozemních komunikací, jakož i provozních podmínek a technicko-ekonomických ukazatelů budovaných silnic a dálnic. [1]

Tabulka 1 Návrhové rychlosti podle druhu území a největší dovolené podélné sklony (s) návrhových kategorií silnic a dálnic ^{*)} [2]

Kategorijní typ silnice nebo dálnice	Návrhová rychlost v km/h pro území			
	rovinaté nebo mírně zvlněné	pahorkovité	horské	
	podélný sklon (s) v %			
D 33,5	120	120	100 ^{****)}	80 ^{****)}
D 27,5	3	4 ^{**)}	4,5 ^{**)}	4,5 ^{**)}
R 33,5; R 27,5	120	100	80	
R 25,5	3,5	4,5	5 ^{**)}	
S 24,5	100	80	70	
	3.5	4,5(až 6 ^{****)})	6	
S 20,75	90	80	70	
	4	4,5(až 6 ^{****)})	6	
S 11,5	90	80	70	
	4,5	6	7,5	
S 9,5	80	70	60	
	4.5	6	8	
S 7,5	70	60	50	
	4,5	7	9	
S 6,5	60	60	50	
	7	8	9	
S 4,0	40	40	30	
	10	11	12	

^{*)} Hodnoty pro větve křižovatek jsou uvedeny v ČSN 73 6102.

^{**)} Překročení hodnoty je třeba doložit zvýšení spotřeby pohonných hmot a je vázáno na souhlas příslušného ústředního orgánu správy ve věcech dopravy.

^{****)} Vyšších hodnot lze použít v případech, kdy neobvyklé zvýšení objemu zemních prací nadměrně zvýší ekonomickou náročnost řešení nebo by se nadměrně zvětšilo trvalé odnětí kvalitní nebo chráněné zemědělské půdy. Současně je však nutné při použití větších sklonů posoudit zvýšenou spotřebu pohonných hmot a bezpečnost dopravy.

^{****)} Rozhodnutí o návrhové rychlosti závisí na možnostech daných především konfigurací terénu.

1.2.2 Směrodatná rychlost

Je to očekávaná rychlost osobních automobilů umožněná dopravně-technickým stavem určitého úseku silnice nebo dálnice, kterou nepřekračuje 85 % jinak neomezovaných řidičů na mokré vozovce. [1]

Je to veličina pro posouzení návrhových prvků, které mají veliký vliv na bezpečnost. Patří mezi ně:

- Dostředný sklon p ve směrových obloucích
- Poloměry směrových oblouků R_0 se základním příčným sklonem
- Délky rozhledu D_Z , D_p
- Poloměry výškových oblouků R_v , R_u pro zaoblení lomů nivelety

Na směrově nerozdělených silnicích I. a II. třídy hodnotu směrodatné rychlosti pro kategoriální typy S 9,5 a S 11,5 určuje tabulka 2.

Tabulka 2 Směrodatná rychlost pro směrově nerozdělené silnice [3]

Návrhová rychlost v km/h	Směrodatná rychlost v km/h	
	Silnice I. třídy	Silnice II. třídy
50	70 ^{*)}	60 ^{*)}
60	80 ^{*)}	70 ^{*)}
70	90 ^{*)}	80 ^{*)}
80	90	90
90	90	90
^{*)} U kategoriálního typu S 9,5 lze v následujících případech snížit směrodatnou rychlost o 10 km/h pro úseky pozemních komunikací: - v horském území - ve stejných podmínkách (blízkost zástavby, ekologicky velmi cenných území) - ve velmi složitých geologických podmínkách (sesuvy, poddolovaná území) a pro rekonstrukce pozemních komunikací		

Směrodatná rychlost se neuvažuje pro návrh silnice III. třídy a pro komunikace kategoriálního typu S 7,5 a nižší.

1.3 Rozhledové vzdálenosti

1.3.1 Rozhled pro zastavení

Jedná se o vzdálenost D_z , na kterou má být řidič schopen zastavit vozidlo bezpečně před překážkou. Tato vzdálenost musí být respektována na celé délce komunikace. Její hodnota je vypočítána ze vztahu 1.2. [1]

$$D_z = \frac{1,5}{3,6} * V_{n(s)} + \frac{0,393 * v_{n(s)}^2}{100 * (f_v \pm 0,01)} + b_{v1} \quad 1.2$$

D_z – délka pro zastavení [m]

$v_{n(s)}$ – návrhová rychlost (směrodatná rychlost) [km/h]

f_v – součinitel brzdného tření na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky v hodnotě 1,6 mm podle tabulky 3 [-]

s – podélný sklon jízdního pásu [%]

b_{v1} – bezpečnostní odstup

První část rovnice 1.2 vyjadřuje vzdálenost, kterou řidič ujede mezi zpozorováním překážky a následnou reakcí. Doba reakce se uvažuje 1,5 s.

Prostřední část vzorce vyjadřuje vzdálenost potřebnou pro zastavení vozidla, jedná se o rovnoměrný zpomalený pohyb.

Tabulka 3 Součinitel brzdného tření na mokré vozovce [1]

$v_{n(s)}$ (km/h)	130	120	110	90	80	70	60	50	40	30
f_v	0,32	0,34	0,36	0,40	0,43	0,46	0,51	0,56	0,62	0,68

Poslední část rovnice 1.2 vyjadřuje bezpečnostní odstup vozidla od překážky. Tato hodnota se vyjadřuje zaokrouhlením výsledku na nejbližších vyšších 10 m při $v_{n(s)} \geq 80$ km/h a na nejbližších 5 m při $v_{n(s)} < 80$ km/h.

Výsledné hodnoty vzdálenosti pro zastavení jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 Rozhled pro zastavení [1]

Podélný sklon v %		D _z [m] při návrhové/směrodatné rychlosti v _n /v _s [km/h]											
		130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	25 až 20
klesání	-9	-	-	-	-	-	-	-	-	45	30 ^{*)}	20 ^{*)}	15 ^{*)}
	-8	-	-	-	-	-	-	-	60	45			
	-7	-	-	-	-	-	-	-	60	45			
	-6	-	-	-	-	130	110	80	60	45			
	-5	-	-	-	-	130	110	80	60	45			
	-4,5	-	-	190	160	130	100	80	60	40			
	-4	270	220	180	160	130	100	75	60	40			
	-3	260	220	180	160	130	100	75	55	40			
	-2	260	210	180	160	120	100	75	55	40			
	-1	250	210	170	150	120	100	75	55	40			
	0	240	200	170	150	120	100	75	55	40			
stoupání	1	240	200	170	150	120	100	75	55	40			
	2	230	190	160	140	120	90	75	55	40			
	3	230	190	160	140	120	90	70	55	40			
	4	220	190	160	140	110	90	70	55	40			
	4,5	-	-	160	140	110	90	70	55	40			
	5	-	-	-	-	110	90	70	55	40			
	6	-	-	-	-	110	90	70	50	40			
	7	-	-	-	-	-	-	-	50	40			
	8	-	-	-	-	-	-	-	50	40			
	9	-	-	-	-	-	-	-	-	40			
*) platí pro stoupání a klesání do 12 %													

1.3.2 Rozhled pro předjíždění

Toto je vzdálenost, na kterou musí řidič vozidla vidět, aby mohl bezpečně předjet vozidlo jedoucí před ním. Tato vzdálenost je počítání dle rovnice 1.3. [1]

$$D_p = \frac{1,112 * v_{n(s)}^2 + 32 * v_{n(s)}}{\Delta v} + b_{v2} \quad 1.3$$

D_p – rozhled pro předjíždění [m]

v – návrhová (směrodatná) rychlost [km/h]

Δv - uvažovaný rozdíl rychlosti vozidla předjíždějícího návrhovou (směrodatnou) rychlostí a rychlosti předjížděného vozidla podle tabulky 5

b_{v2} – bezpečnostní odstup předjíždějícího vozidla od vozidla v protisměru v m, rovný zaokrouhlení na nejbližší vyšší hodnotu 50 m

Tabulka 5 Rozdíl mezi $v_{n(s)}$ a rychlostí předjížděného vozidla [1]

$v_{n(s)}$ [km/h]	100	90	80	70	60	50	40
Δv [km/h]	24	22	20	18	15		

Finální výsledky rozhledu pro předjíždění jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Rozhledové vzdálenosti pro předjíždění D_p [1]

Návrhová/směrodatná rychlost v km/h	90	80	70	60	50	40
Rozhledová vzdálenost v m	550	500	450	400	300	200

1.4 Mezipřímá

Na mezipřímou nejsou v české normě žádná nařízení, je zde pouze doporučení, že by měla být co nejkratší (ideální inflexní řešení). Dále by se měli eliminovat dlouhé mezipřímé v konstantním podélném profilu.

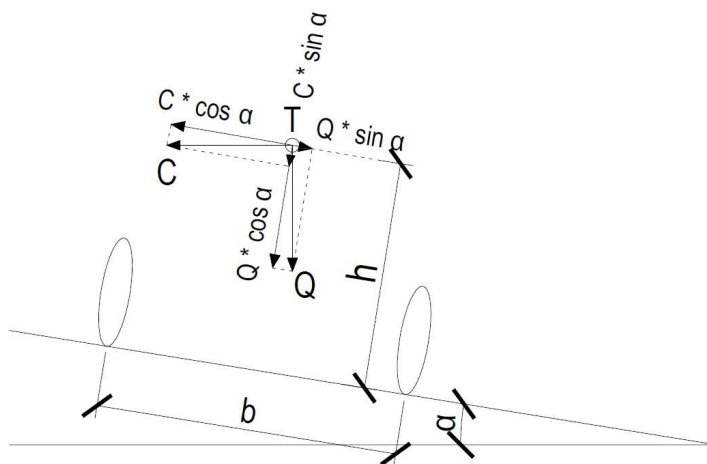
1.5 Směrové oblouky

V této kapitole bude nejprve uveden postup výpočtu minimálních poloměrů, které se nechají aplikovat na pozemních komunikacích v závislosti na návrhové rychlosti příčného sklonu. Dle tohoto postupu jsou vypočítávány poloměry pro tabulku 7 v ČSN 73 6101.

Minimální poloměr musí splňovat dva základní prvky bezpečnosti – bezpečnost proti překlopení a bezpečnost proti usmyknutí. Z prostudování metodik jasně

vyplývá, že mnohem více omezující je dodržet bezpečnost proti usmyknutí, proto zde bude vysvětleno odvození tohoto výpočtu.

1.5.1 Bezpečnost proti usmyknutí – min. poloměr směrového oblouku



Obrázek 1 Síly působící na vozidlo při průjezdu směrovým obloukem [4]

Hledáme poloměr, při kterém nastane rovnováha sil mezi těmi, které působí ven z oblouku a mezi těmi, které působí do oblouku. V následujících řádcích je uveden postup výpočtu tohoto poloměru. Základní schéma působících sil je uvedeno na obrázku 1. [4]

$$(Q * \cos \alpha + C * \sin \alpha) * f = C * \cos \alpha - Q * \sin \alpha \quad 1.4$$

$$(Q + C * \operatorname{tg} \alpha) * f + Q * \operatorname{tg} \alpha \geq C \quad 1.5$$

$$Q * (f + C * \operatorname{tg} \alpha) \geq C * (1 - f * \operatorname{tg} \alpha) \quad 1.6$$

$$C = \frac{Q}{g} * \frac{v^2}{R} \quad 1.7$$

$$Q * (f + \operatorname{tg} \alpha) \geq \frac{Q}{g} * \frac{v^2}{R} * (1 - f * \operatorname{tg} \alpha) \quad 1.8$$

$$R \geq \frac{v^2}{g} * \frac{(1 - f * \operatorname{tg} \alpha)}{(f + \operatorname{tg} \alpha)} \quad 1.9$$

$$R \geq \frac{v_n^2}{g} * \frac{1}{(f + tg \alpha)} \quad 1.10$$

$$R \geq \frac{v_n^2}{127 * (f \pm 0,01 * p\%)} \quad 1.11$$

Q – tíha [N]

α – úhel odklonu vozovky od vodorovné plochy [°]

C – odstředivá síla [N]

f – koeficient tření [-]

v – rychlost [m/s]

v_n – návrhová rychlost [km/h]

R – poloměr [m]

g – tíhové zrychlení [m/s^2]

p – příčný sklon [%]

Jak je vidět z výsledné rovnice 1.11, nejvíce je minimální poloměr ovlivněn rychlostí. Dále je také ovlivněn příčným sklonem a koeficientem třením mezi pneumatikou a vozovkou. Zde vyvstává problém, protože příčný koeficient tření je proměnný v čase a v místě.

1.5.2 Minimální poloměr směrového oblouku dle ČSN 73 6101

Norma ČSN 73 6101 vychází ve výpočtu minimálního směrového oblouku z bezpečnosti proti usmyknutí uvedeného v kapitole 1.5.1 (rovnice 1.11). Pro svou potřebu ho ale norma upravila na tvar rovnic 1.12 a 1.13. [1]

$$R = 0,3 * \frac{v_{n(s)}^2}{p} \text{ pro } v_n \leq 80 \text{ km/h} \quad 1.12$$

$$R = 0,36 * \frac{v_{n(s)}^2}{p} \text{ pro } v_n \geq 80 \text{ km/h} \quad 1.13$$

R – poloměr v m

$v_{n(s)}$ – návrhová/směrodatná rychlost v km/h

p – dostředný sklon vozovky ve směrovém oblouku v %

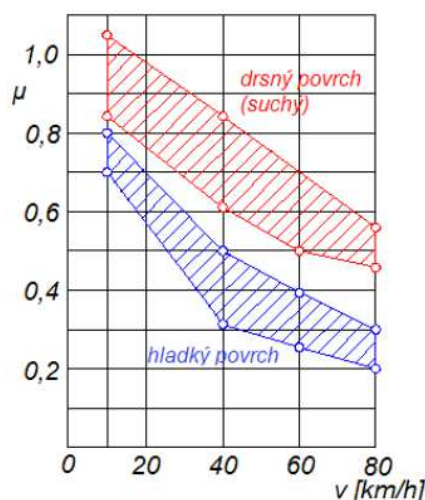
Rovnice 1.12 a rovnice 1.13 ukazují, že je norma zjednodušila – byla určena konstanta 0,3 pro $v < 80$ km/h a 0,36 pro $v > 80$ km/h, která v sobě obsahuje vliv koeficientu tření, jisté míry bezpečnosti a také převod z m/s na km/h.

Pro přehled je zde uvedena tabulka 7, ve které jsou spolu s minimálními poloměry uvedeny koeficienty tření, které se musejí dosadit do výpočtu pro minimální poloměr směrového oblouku vycházejícího z bezpečnosti proti usmyknutí (rovnice 1.11) vozidla tak, aby vyšla příslušná hodnota.

Tabulka 7 Nejmenší dovolené poloměry směrových kružnicových oblouků (a k nim příslušné koeficienty tření dosazované při výpočtu) ve vztahu k uvažované rychlosti a dostřednému sklonu *) [1]

Rychlost v(km/h)	Poloměr kružnicového oblouku v metrech příslušný koeficient příčného tření										
	při dostředném sklonu vozovky v %										se základním příčným sklonem 2,5 %
	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	
130	2450 <i>0,03</i>	2050 <i>0,035</i>	1750 <i>0,04</i>	1525 <i>0,048</i>	1350 <i>0,053</i>	1225 <i>0,058</i>	1125 <i>0,065</i>	1025 <i>0,07</i>			4500 <i>0,055</i>
120	2075 <i>0,03</i>	1750 <i>0,035</i>	1500 <i>0,04</i>	1300 <i>0,048</i>	1150 <i>0,053</i>	1050 <i>0,058</i>	950 <i>0,065</i>	850 <i>0,07</i>			3800 <i>0,055</i>
110	1750 <i>0,03</i>	1450 <i>0,035</i>	1250 <i>0,04</i>	1100 <i>0,048</i>	925 <i>0,053</i>	825 <i>0,058</i>	800 <i>0,065</i>	725 <i>0,07</i>			3200 <i>0,055</i>
100	1450 <i>0,03</i>	1200 <i>0,035</i>	1050 <i>0,04</i>	900 <i>0,048</i>	800 <i>0,053</i>	720 <i>0,058</i>	650 <i>0,065</i>	600 <i>0,07</i>			2700 <i>0,055</i>
90	1200 <i>0,03</i>	1000 <i>0,035</i>	850 <i>0,04</i>	750 <i>0,048</i>	650 <i>0,053</i>	600 <i>0,058</i>	550 <i>0,065</i>	500 <i>0,07</i>			2200 <i>0,055</i>
80	775 <i>0,04</i>	650 <i>0,048</i>	550 <i>0,055</i>	500 <i>0,06</i>	450 <i>0,068</i>	400 <i>0,075</i>	350 <i>0,085</i>	325 <i>0,095</i>			1700 <i>0,055</i>
70	600 <i>0,04</i>	500 <i>0,048</i>	425 <i>0,055</i>	375 <i>0,06</i>	330 <i>0,068</i>	300 <i>0,075</i>	270 <i>0,085</i>	250 <i>0,095</i>			1300 <i>0,055</i>
60	450 <i>0,04</i>	375 <i>0,048</i>	325 <i>0,055</i>	270 <i>0,06</i>	240 <i>0,068</i>	220 <i>0,075</i>	200 <i>0,085</i>	180 <i>0,095</i>	170 <i>0,1</i>		950 <i>0,055</i>
50	300 <i>0,04</i>	250 <i>0,048</i>	220 <i>0,055</i>	190 <i>0,06</i>	170 <i>0,068</i>	150 <i>0,075</i>	140 <i>0,085</i>	125 <i>0,095</i>	120 <i>0,1</i>	110 <i>0,12</i>	700 <i>0,055</i>
40	200 <i>0,04</i>	160 <i>0,048</i>	140 <i>0,055</i>	120 <i>0,06</i>	110 <i>0,068</i>	100 <i>0,075</i>	90 <i>0,085</i>	80 <i>0,095</i>	75 <i>0,1</i>	70 <i>0,12</i>	450 <i>0,055</i>
30	110 <i>0,04</i>	90 <i>0,048</i>	80 <i>0,055</i>	70 <i>0,06</i>	60 <i>0,068</i>	55 <i>0,075</i>	50 <i>0,085</i>	45 <i>0,095</i>	40 <i>0,1</i>	35 <i>0,12</i>	250 <i>0,055</i>
*) Způsob výpočtu je uveden v příloze C (vztah poloměru R_0 k dostřednému sklonu) a v příloze D (poloměry oblouků bez dostředného sklonu). Hodnoty pro větve křižovatek jsou uvedeny v ČSN 73 6102. **) Příčný sklon opačného smyslu než příčný sklon dostředný											

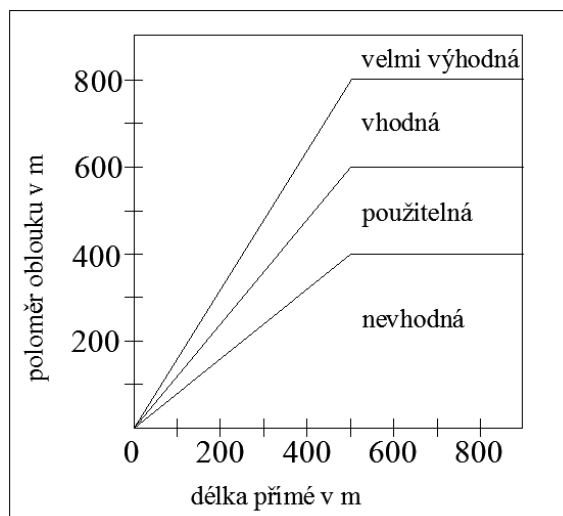
Z tabulky 7 je patrné, že hodnoty koeficientu tření jsou velmi malé. Reálný vliv rychlosti na velikosti součinitele tření je uveden na obrázku 2. Dále také vyplývá, že koeficienty tření jsou podle normy velmi ovlivněny příčným sklonem vozovky a málo ovlivněny rychlostí. To může být způsobeno tím, že v tomto případě koeficienty tření představují spíše jakousi míru komfortu pro danou rychlost a příčný sklon než reálné hodnoty.



Obrázek 2 Závislost tření na rychlosti [5]

Norma také udává, že pro výpočet minimálního poloměru směrového oblouku bez dostředného sklonu se uvažuje koeficient tření konstantně 0,055. Naproti tomu jsou hodnoty koeficientu tření při výpočtu poloměru dostředného sklonu nižší. Například u rychlosti 90 km/h a u dostředného příčného sklonu v hodnotě 2,5 % je koeficient tření 0,03, což je o 45,5 % nižší hodnota než zmiňovaných 0,055.

Jako poslední informace této podkapitoly je zde uveden obrázek 3, který určuje, jak velký má být poloměr směrového oblouku, který následuje za přímou o dané délce.



Obrázek 3 Velikost poloměru směrového oblouku v závislosti na délce předcházející přímé [1]

1.6 Výsledný sklon

Poloměr oblouku, resp. jeho příčný sklon je také nezbytné ověřit společně s podélným sklonem na maximální výsledný sklon. Tento výsledný sklon se vypočítá dle rovnice 1.14. [1]

$$m = \sqrt{s^2 + p^2} \quad 1.14$$

m – výsledný sklon [%]

s – podélný sklon [%]

p – příčný sklon [%]

Výsledný sklon nesmí přesahovat hodnoty, které udává tabulka 8 a zároveň musí být větší než 0,5 %.

Tabulka 8 Největší dovolené výsledné sklony (m) podle druhu území a použité návrhové kategorie silnice nebo dálnice [2]

Kategorie silnice	Největší výsledný sklon (m) v % v území		
	rovinatém nebo mírně zvlněném	pahorkovitém	horském
D 33,5; R 33,5	6,5	7,0	7,0
D 27,5; R 27,5		7,5	7,5
R 25,5			
S 24,5			
S 20,75	7,0	8,5	10,0
S 11,5; S 9,5	7,5		
S 7,5; S 6,5			
S 4,0	11,0	12,0	13,0

1.7 Výškové oblouky

1.7.1 Vrcholové výškové oblouky

Minimální poloměr výškových oblouků R_v je navrhován dle rovnice 1.15 [1]. Tato rovnice je založena na rozhledu pro zastavení (tabulka 4) nebo na rozhledu pro předjíždění (tabulka 6), dále na výšce řidičova oka a předpokládané výšce překážky.

$$R_v = \frac{D_{z(p)}^2}{2 * (h_1 + 2 * \sqrt{h_1 * h_2} + h_2)} \quad 1.15$$

R_v – minimální poloměr výškového vypuklého oblouku [m]

$D_{z(p)}$ – délka rozhledu pro zastavení (pro předjíždění) v největším dovoleném klesání [m] – tabulka 4 (tabulka 6)

h_1 – výška řidičova oka nad jízdním pásem (uvažuje se 1,00 m)

h_2 – výška nejmenší viditelné překážky (hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9) nebo výška zorného paprsku dopadajícího na vozidlo přijíždějící ze vzdálenosti D_p protisměru (uvažuje se hodnota 1,00m).

Tabulka 9 Nejmenší viditelné překážky na vzdálenost D_z [1]

Návrhová (směrodatná) rychlost $v_{n(s)}$ [km/h]	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
h_2	0,35		0,10				0,00				

Výška 0,35 m představuje nejnižší bod účinné svítící plochy zadních brzdových světel vozidel. Výška 0,10 m představuje ležící předmět na vozovce a výška 0,00 m představuje poruchu vozovky s nebezpečnou hloubkou. [1]

Výsledné hodnoty, které jsou přejaté z normy, uvádí tabulka 10.

Tabulka 10 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků [3]

R_v [m]	Při směrodatné rychlosti (v_s) / návrhové rychlosti (v_n) km/h									
	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40
Nejmenší dovolený pro zastavení	15 000	12 000	10 000	7 500	5 000	4 000	3 200	2 000	1 000	500
Nejmenší doporučený pro předjíždění *)	-	-	-	-	37 000	31 000	25 000	20 000	11 000	5000
*) Předjíždět lze umožnit i u menších poloměrů vypuklých výškových oblouků, než jsou uvedeny v tabulce, ale je nutné prokázat v podélném profilu délku rozhledu pro předjíždění podle tabulky 6										

1.7.2 Údolnicové výškové oblouky

Poloměr údolnicového oblouku by měl mít takovou minimální velikost, aby umožňoval osvětlení silnice předními světly automobilu na vzdálenost rozhledu pro zastavení. Tento poloměr se vypočítá dle rovnice 1.16. [1]

$$R_u = \frac{D_z^2}{2 * (h_s + D_z * \tan \alpha')} \quad 1.16$$

R_u – minimální poloměr údolnicového výškového oblouku [m]

D_z – délka rozhledu pro zastavení v největším dovoleném klesání [m]

h_s – výšku světlometu nad jízdním pásem [m] (uvažuje se hodnota 0,75 m)

α' – úhel mezi horním okrajovým paprskem světelného kužele světlometu a jeho osou (uvažuje se hodnota 1°)

Dosazením výše uvedených hodnot do rovnice 1.16, dostaneme rovnici 1.17. [1]

$$R_u = \frac{100 * D_z^2}{150 + 3,5 * D_z} \quad 1.17$$

Výsledné nejmenší doporučené a nejmenší dovolené poloměry údolnicových výškových oblouků jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 Nejmenší poloměry vydatých výškových oblouků [1]

R_v v m	Návrhová rychlost (v_n) / směrodatná rychlost (v_s) v km/h									
	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40
Nejmenší doporučený	7 000	6 000	5 000	4 200	3 500	2 800	2 000	1 500	1 200	1 000
Nejmenší povolený	6 000	5 000	4 000	3 400	2 700	2 100	1 500	1 000	700	400

2 POPIS VYBRANÝCH PRVKŮ DLE NORMA DE TRAÇADO

2.1 Návrhová a dopravní rychlost

V portugalské normě určené k projektování pozemních komunikací jsou uvedeny dva druhy rychlostí, které slouží k návrhu. Jedná se o návrhovou (VB) a dopravní (VT) rychlost.

2.1.1 Návrhová rychlost

Návrhová rychlost je vybírána dle kategorie a dle důležitosti projektované silnice. Hodnoty této rychlosti jsou uvedeny v tabulce 12, posuzované prvky v tabulce 14.

Tabulka 12 Návrhová rychlost dle kategorie silnice [6]

Silniční kategorie		Návrhová rychlost [km/h]				
		140	120	100	80	60
Směrově rozdělené	IP	x(a)	x(a)	x	-	-
	IC	x(a)	x(a)	x	x(b)	-
Směrově nerozdělené	IC	-	-	(c)	x	-
	EN	-	-	-	x	x
	ER	-	-	-	x	x

(a) pouze dálnice

(b) je nezbytné zdůvodnit použití této rychlosti

(c) pouze když silnice bude v budoucnu směrově rozdělena

2.1.2 Dopravní rychlost

Protože návrhová rychlost neodpovídá přesně rychlosti jízdy vozidel po pozemních komunikacích, najdeme v normě další rychlost důležitou pro návrh silnice, nazvanou dopravní rychlost. Tato rychlost je definována jako rychlost, kterou nepřekročí 85 % všech řidičů. Tato rychlost je volena podle návrhové rychlosti. Hodnoty jsou ukázány v tabulce 13.

Tabulka 13 Dopravní rychlost v závislosti na návrhové rychlosti [6]

Návrhová rychlost (VB)	Dopravní rychlost (VT)
40	50
50	60
60	80
70	90
80	100
90	110
100	120
110	125
120	130
130	135
140	140

Jak již bylo zmíněno, návrhová a dopravní rychlost se podílí na návrhu nové silnice. V tabulce 14 je uvedeno rozdělení návrhových prvků, které se posuzují dle návrhové a které dle dopravní rychlosti.

Tabulka 14 Návrhové prvky a jejich nutnost posouzení na návrhovou či dopravní rychlost [6]

Návrhové prvky	rychlost	
	návrhová	dopravní
Min poloměr směrového oblouku	x	-
Maximální podélný sklon	x	-
Typický říční řez silnice	x	-
Rozhledové vzdálenosti	-	x
Min poloměr výškového oblouku	-	x

Z tabulky 14 je patrné, že návrhová rychlost je používána pro návrh směrových oblouků, maximálního podélného sklonu a typického příčného řezu. Za to podle dopravní rychlosti se navrhují rozhledové vzdálenosti a minimální poloměr výškového oblouku.

2.2 Rozhledové vzdálenosti

2.2.1 Rozhled pro zastavení

Jedná se o vzdálenost DP od překážky, při které musí být řidič schopen bezpečně zastavit vozidlo. Tato vzdálenost je počítána podle rovnice 2.1. [6]

$$DP = \frac{VT}{1,8} + \frac{VT^2}{254 * (f_i \pm i)} \quad 2.1$$

DP – rozhled pro zastavení [m]

VT – dopravní rychlost [km/h]

f_i – součinitel smykového tření [-]

i – podélný profil [%/100]

První část rovnice 2.1 vyjadřuje vzdálenost ujetou řidičem mezi zpozorováním překážky a následnou reakcí. Jako reakční doba se uvažují 2 sekundy. Uvažované součinitele smykového tření uvádí tabulka 15.

Tabulka 15 Koeficienty tření [6]

Dopravní rychlost [km/h]	f_i	Dopravní rychlost [km/h]	f_i
50	0,32	110	0,31
60	0,32	120	0,31
80	0,32	130	0,27
90	0,32	140	0,25
100	0,32		

Dále jsou v tabulce 16 uvedeny již výsledné hodnoty rozhledu pro zastavení. V tabulce jsou navíc uvedeny rozhledy pro učinění rozhodnutí a rozhledy pro předjíždění. Tyto vzdálenosti budou rozebrány v dalších kapitolách.

Tabulka 16 Minimální rozhledové vzdálenosti [6]

Návrhová rychlost (VB, km/h)	Dopravní rychlost (VT, km/h)	Rozhledová vzdálenost (m)		
		zastavení (DP)	rozhodnutí (DD)	předjíždění (DU)
40	50	60	-	350
50	60	80	200 (a)	420
60	80	120	270	560
70	90	150	300	630
80	100	180	330	700
90	110	220	370	770
100	120	250	400	840
110	125	280	410	880
120	130	320	430	910
130	135	330	450	950
140	140	390	470	980

a) hodnota určena pro VT <60 km/h

Pro tyto výsledné hodnoty se předpokládá podélný sklon 0 %.

2.2.2 Rozhled pro učinění rozhodnutí

Pouze rozhled pro zastavení není dostatečný pro jízdu po pozemní komunikaci. Portugalská norma proto zavádí rozhled pro učinění rozhodnutí – DD. Tato vzdálenost musí být dodržena například v místech, kde se mění významným způsobem vlastnosti vozovky, v místě úrovně křižovatky, oddělování odbočovacích pruhů a také při sbíhání jízdních pruhů. Norma předpokládá, že řidič během této vzdálenosti zaregistruje nečekanou informaci, správně ji vyhodnotí a poté zareaguje. Výsledné hodnoty jsou počítány podle rovnice 2.2 [6] a výsledky jsou uvedeny v tabulce 16.

$$DD = 3,3 * VT$$

2.2

DD – rozhled pro učinění rozhodnutí [m]

VT – dopravní rychlost [km/h]

2.2.3 Rozhled pro předjíždění

Rozhled pro předjíždění je vzdálenost DU, na kterou musí řidič vidět, aby mohl bezpečně předjet vozidlo jedoucí před ním. Tato vzdálenost by měla být co nejdelší. Její minimální hodnota je počítána podle rovnice 2.3[6] a výsledné hodnoty uvádí tabulka 16.

$$DU = 7 * VT \quad 2.3$$

DU – Rozhled pro předjíždění [m]

VT – dopravní rychlost [km/h]

2.3 Mezipřímá

V portugalské normě je několik požadavků na mezipřímou. Mezi to např. patří, že řidič nemá být dlouze oslňován, tudíž přímý úsek o jednotném sklonu nemá být dlouhý. Dále by také přímá neměla být ve směru silných větrů.

Norma uvádí tabulku 17, kde jsou uvedeny jak minimální tak i maximální hodnoty mezipřímé.

Tabulka 17 Minimální a maximální délky mezipřímé [6]

Vzdálenost [m]	Návrhová rychlost [km/h]										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Minimum (6*VB)*	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	840
Maximum (20*VB)**	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800

* neplatí pro jednopruhové komunikace

** platí pouze pro přímé v jednotném sklonu

2.4 Směrové oblouky

Minimální poloměr je navrhován na maximálně 7 % příčného sklonu. Poloměry jsou počítány podle dobře známé rovnice 2.4 [6] na bezpečnost proti usmyknutí.

$$R = \frac{v^2}{127 * (f_t + s_e)} \quad 2.4$$

R – poloměr [m]

v – návrhová rychlost [km/h]

f_t – součinitel bočního tření [-], hodnoty jsou uvedeny v tabulce 18

s_e – příčný sklon v oblouku [%/100]

Tabulka 18 Součinitel bočního tření [6]

v [km/h]	f_t [-]
40	0,16
50	0,16
60	0,15
70	0,14
80	0,14
90	0,13
100	0,12
110	0,10
120	0,09
130	0,08

Když dosadíme všechny známé hodnoty do rovnice 2.4, dostaneme výsledný minimální poloměr. Dále se také v normě uvažuje o tom, jak velké odstředivé zrychlení bude působit na řidiče, pokud budou projíždět danou rychlostí daným poloměrem. K tomuto výpočtu slouží rovnice 2.5 [6]. Hodnoty minimálních poloměrů a odstředivé síly jsou uvedeny v následující tabulce 19.

$$a = \frac{v^2}{127,14 * R} * g \quad 2.5$$

a – odstředivé zrychlení [m.s⁻²]

v – rychlost [km/h]

R – poloměr [m]

g – gravitační zrychlení [m.s⁻²]

Tabulka 19 Minimální poloměr a odstředivé zrychlení [6]

v [km/h]	R [m]	a [m*s ⁻²]
40	55	0,22 g
50	85	0,23 g
60	130	0,21 g
70	180	0,21 g
80	240	0,21 g
90	320	0,20 g
100	420	0,18 g
110	560	0,17 g
120	700	0,16 g
130	900	0,14 g

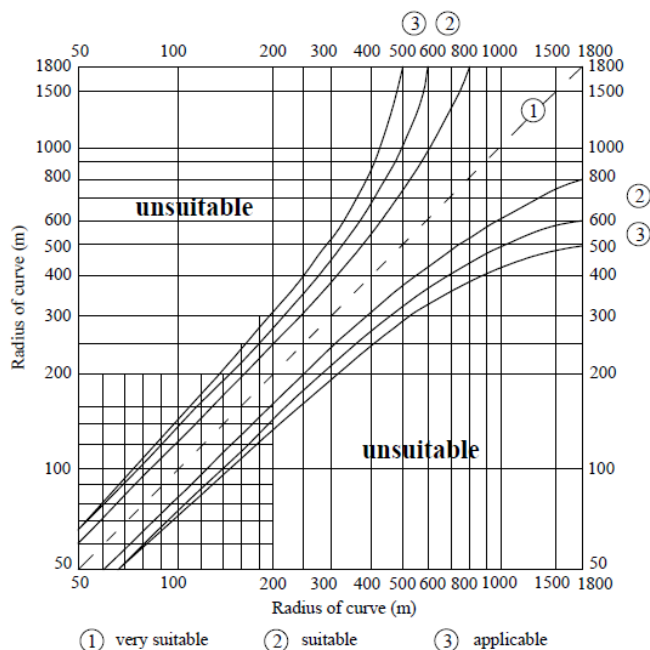
Hodnoty uvedené v tabulce 19 jsou minimální poloměry, které by měly zajišťovat bezpečnost při průjezdu rychlostí, na kterou se směrový oblouk navrhuje. Tyto poloměry by dle normy měly být ale použity pouze ve výjimečných případech tam, kde druh území, ekonomická náročnost nebo jiné obtížné místní podmínky nedovolí použít hodnoty vyšší.

Pro běžný návrh jsou v normě určeny jiné hodnoty, které byly zvoleny s ohledem na vyšší bezpečnost a větší komfort pro uživatele pozemních komunikací při zatáčení. Pro určení hranice komfortu je použita hodnota odstředivého zrychlení a=0,11g. Dále se také u těchto hodnot předpokládá příčný sklon do maximální výše 5 %. Poloměry splňující tuto podmínku jsou v normě nazvané jako doporučené. Jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce 20.

Tabulka 20 Normální minimální poloměry a odpovídající odstředivé zrychlení [6]

rychlost [km/h]	R [m]	a [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
40	110	0,11 g
50	180	0,11 g
60	250	0,11 g
70	350	0,11 g
80	450	0,11 g
90	550	0,11 g
100	700	0,11 g
110	850	0,11 g
120	1000	0,11 g
130	1200	0,11 g

Aby byla zajištěna určitá homogenita a předvídatelnost trasy, musí být poloměry směrových oblouků navrženy dle obrázku 4. Ten určuje hodnotu poloměru v závislosti na hodnotě poloměru oblouku, který se nachází před resp. za tímto směrovým obloukem. Tento graf byl vytvořen na základě analýzy dopravních nehod a chování řidičů při jízdě.



Obrázek 4 Určení poloměru oblouku v závislosti na sousedním oblouku [6]

2.5 Výsledný sklon

Navržený příčný sklon v oblouku se musí v součinnosti s podélným sklonem ověřit na maximální a minimální výsledný sklon. Ten se vypočítá dle rovnice 2.6 [6]. Maximální hodnota je 10 %. Ta je zvolena z důvodu, že při vyšších hodnotách a malých rychlostech by docházelo ke smýkání vozidel směrem do oblouku. Minimální hodnota je naopak 0,5 %. Ta je zvolena takto z důvodu zajištění odtoku vody z povrchu silnice. [6]

$$m = \sqrt{s^2 + p^2} \quad 2.6$$

m – výsledný sklon [%]

s – podélný sklon [%]

p – příčný sklon [%]

2.6 Výškové návrhové prvky

Jako cíl se v normě uvádí co nejnížší cena stavebních nákladů. To znamená co nejvíce kopírovat terén, aby nedocházelo ke zbytečně velkým zemním pracím. Návrh ovšem musí dodržovat normu a v tomto případě hlavně maximální podélný sklon a poloměry výškových oblouků. Maximální použitelné podélné sklony jsou dle návrhové rychlosti uvedeny v tabulce 21.

Tabulka 21 Maximální podélný sklon [6]

Návrhová rychlost [km/h]	Max podélný sklon [%]
40	8
60	7
80	6
100	5
120	4 (a)
140	3

(a) na dálnicích jsou povolena 3 %

Pokud ovšem návrh sklonů podle této tabulky není ekonomický, je možné použít větší sklony. Nicméně tyto změny musí být zdokumentovány a ověřeny v ekonomické studii.

2.6.1 Vrcholové výškové oblouky

Poloměr vrcholového výškového oblouku musí být takový, aby zajišťoval rozhled na délku pro zastavení. Výpočet je založen na rovnici 2.7 [6]. Ta v sobě zahrnuje efekt výšky oka řidiče, předpokládanou výšku překážky a rozhled pro zastavení.

$$R_v = \frac{DP^2}{2 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} \quad 2.7$$

R_v – min poloměr vrcholového výškového oblouku [m]

DP – rozhled pro zastavení [m]

h_1 – výška oka řidiče (předpokládá se 1,05 m)

h_2 – výška překážky v m (předpokládá se 0,15 m)

Když dosadíme tyto dvě výšky do rovnice, dostaneme rovnici 2.8 [6] ve tvaru

$$R_v = 0,25 * DP^2 \quad 2.8.$$

Konstanta 0,25 vyjadřuje vliv výšky oka řidiče a výšky překážky. Když ale srovnáme výsledné hodnoty s tabulkou 22, která se nalézá v normě a udává minimální hodnoty, zjistíme, že tato konstanta je proměnná. V normě je nazývána písmenem k .

Tabulka 22 Absolutní minimální a normální minimální poloměry vrcholových oblouků [7]

VB [km/h]	VT [km/h]	DP [m]	Minimální poloměry		Doporučené poloměry	
			R [m]	k	R [m]	k
	40	40	1500	0,94	1500	0,94
	60	80	2000	0,31	3000	0,47
60	80	120	5000	0,35	6000	0,42
80	100	180	9000	0,28	12500	0,39
100	120	250	14000	0,22	16000	0,26

2.6.2 Údolnicové výškové oblouky

U těchto výškových oblouků je hlavní úkol zajistit viditelnost v noci. To znamená, aby přední světla automobilů svítila a zajistila tak výhled na silnici na délku pro zastavení. Poloměry, které tuto vzdálenost zajistí, se počítají dle rovnice 2.9 [6].

$$R = \frac{DP^2}{1,5 + 0,035 * DP} \quad 2.9$$

R – minimální poloměr údolnicového výškového oblouku [m]

DP – rozhled pro zastavení [m]

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 23.

Tabulka 23 Minimální poloměry údolnicových oblouků [7]

VB [km/h]	VT [km/h]	R _{min} [m]
	40	800
	60	1600
60	80	3500
80	100	5500
100	120	7000

3 SROVNÁNÍ VYBRANÝCH PRVKŮ Z ČSN 73 6101 A Z NORMA DE TRAÇADO

3.1 Používané rychlosti pro navrhování pozemních komunikací

Obě normy užívají dva druhy rychlostí. Návrhová rychlost je velmi podobná, je to základní nástroj pro návrh prvků na pozemních komunikacích. Tato rychlost je vybírána dle několika podmínek obsažených v normách. Nejdůležitější podmínkou je kategorie nově navržené či rekonstruované komunikace.

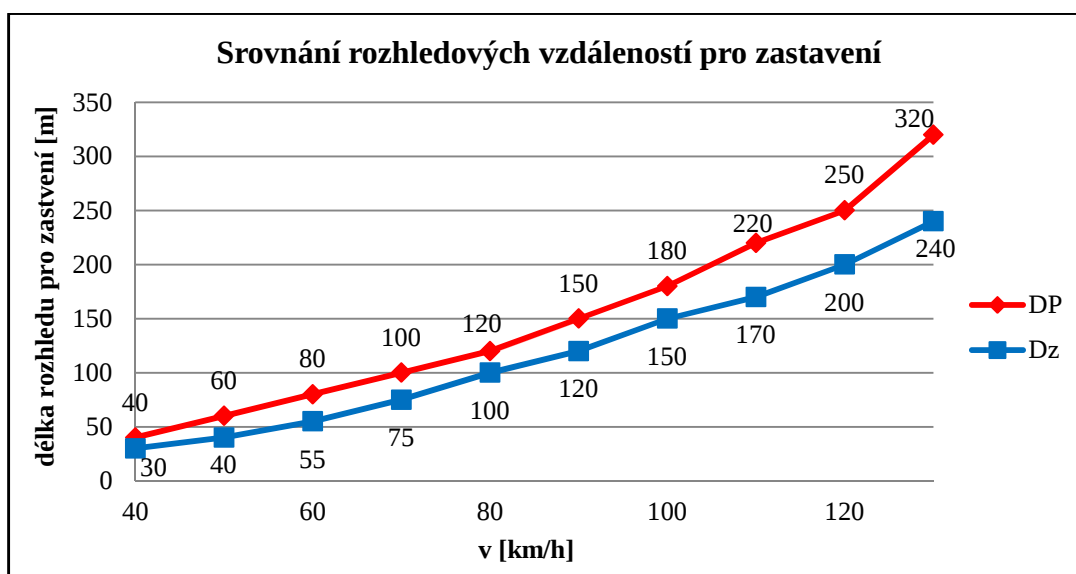
Druhá rychlost, směrodatná v ČSN či dopravní v portugalské normě, má stejný účel a to je, aby tato rychlost byla blíže reálné rychlosti vozidel. Tato rychlost je v portugalské normě vždy vyšší než návrhová, v české může být i stejná jako návrhová. Největší rozdíl je, že v české normě chybí požadavek pro silnice nejnižší třídy (III. třída) a pro kategorii S7,5 požadavek na posouzení směrodatnou rychlostí.

3.2 Rozhledové vzdálenosti

Nejprve bude porovnán rozhled pro zastavení, který se v obou normách vypočítává podle stejné rovnice. Pro porovnání těchto vzdáleností byly vybrány ty hodnoty, které předpokládají podélný sklon silnice 0 %. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 24 a následně také v grafu 1.

Tabulka 24 Srovnání rozhledových vzdáleností pro zastavení. [1],[6]

v [km/h]	Port. DT [m]	CZ Dz [m]
40	40	30
50	60	40
60	80	55
70	100	75
80	120	100
90	150	120
100	180	150
110	220	170
120	250	200
130	320	240

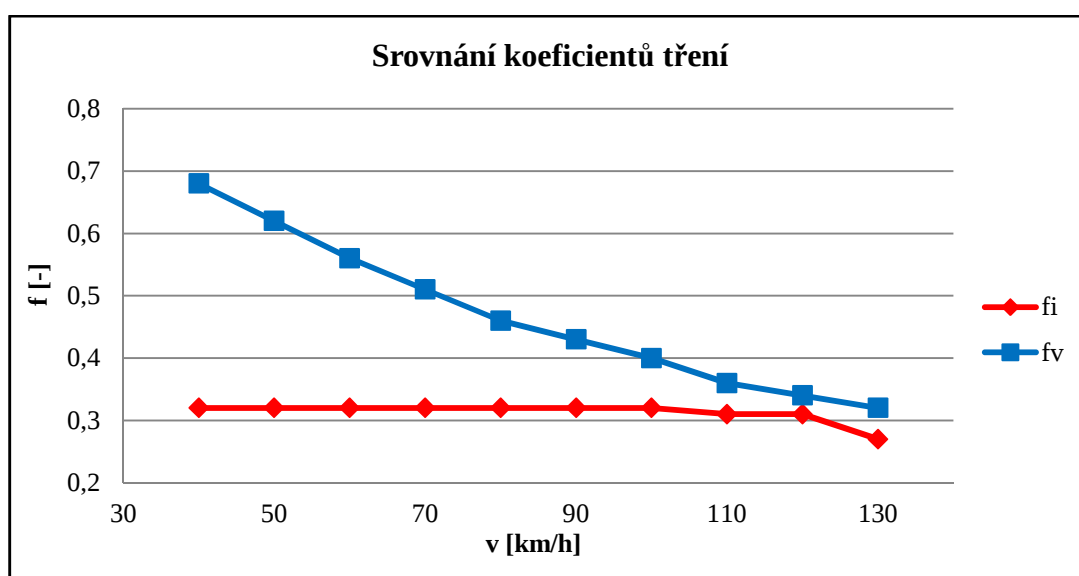


Graf 1 Srovnání rozhledových vzdáleností pro zastavení [1],[6]

Na první pohled si lze všimnout, že hodnoty z portugalské normy jsou větší než hodnoty z české normy. To je dané tím, že portugalská norma uvažuje nižší koeficienty tření a delší čas pro řidičovu reakci (PT 2s, ČR 1.5s). Tabulka 25 ukazuje rozdíly v koeficientu tření, následně graf 2 uvádí grafické srovnání.

Tabulka 25 Srovnání koeficientů tření [1],[6]

v [km/h]	Port. f _i [-]	CZ f _v [-]	v [km/h]	Port. f _i [-]	CZ f _v [-]
40	0,32	0,68	90	0,32	0,43
50	0,32	0,62	100	0,32	0,40
60	0,32	0,56	110	0,31	0,36
70	0,32	0,51	120	0,31	0,34
80	0,32	0,46	130	0,27	0,32



Graf 2 Srovnání koeficientů tření [1],[6]

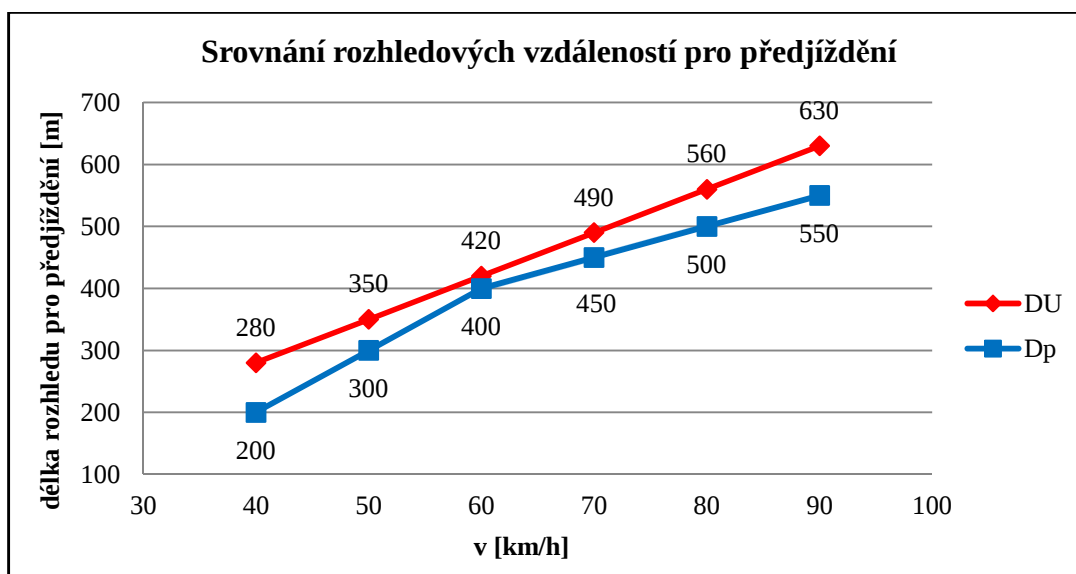
Na základě těchto výsledků lze zhodnotit, že česká norma uvažuje zejména při malých rychlostech moc velké koeficienty tření. To také potvrzují hodnoty na obrázku 1, kde např. pro 40 km/h je hodnota koeficientu tření na mokré vozovce 0,3.

Rozhled pro učinění rozhodnutí porovnán nebude, protože česká norma neuvažuje s podobnou vzdáleností.

Jako poslední bude porovnána rozhledová vzdálenost pro předjíždění. Tato vzdálenost má stejný význam v obou normách – bezpečně předjet vozidlo. Srovnání je uvedeno v tabulce 26 a následně také v grafu 3.

Tabulka 26 Srovnání rozhledových vzdáleností pro předjíždění [1],[6]

v [km/h]	Port. DU [m]	CZ D _p [m]
40	280	200
50	350	300
60	420	400
70	490	450
80	560	500
90	630	550



Graf 3 Srovnání rozhledových vzdáleností pro předjíždění [1],[6]

V portugalské normě jsou tyto rozhledové vzdálenosti opět vyšší. Ale vzhledem k tomu, že postup tohoto výpočtu není v normě detailně popsán, není možné rozebrat, proč jsou rozhledy rozdílné.

3.3 Mezipřímá

Navrhování mezipřímé je podobné v obou normách. Hlavní požadavek je v normách na minimální délku mezipřímé, která negativně ovlivňuje řidiče. Jako ideální se uvádí inflexní řešení, tzn. čistě oblouková trasa.

3.4 Směrové oblouky

Portugalská norma předpokládá pro absolutní minimální poloměr příčný sklon komunikace do maximální výše 7 %. V české normě je tato hodnota variabilní, ale minimální hodnota poloměru je založena na stejném výpočtu – velice známá rovnice (1.14 a 2.4), která vychází z bezpečnosti proti usmyknutí.

Zatímco ale portugalská norma rovnici dále neupravuje a pro výpočet absolutního minimálního poloměru používá součinitel bočního tření, česká norma rovnici upravuje do tvarů 1.12 a 1.13. Tyto rovnice obsahují konstantu 0,3 resp. 0,36. Ta by měla vyjadřovat jistou míru komfortu při projíždění směrovým obloukem a také převod z m/s na km/h. Hodnota bočního tření je v těchto rovnicích nepřímo obsažena v těchto konstantách.

Dále portugalská norma uvádí vypočítané odstředivé zrychlení. To je zejména důležité pro určení normálních minimálních poloměrů, které jsou doporučeny a v praxi více využívány. Byla stanovena hranice odstředivého zrychlení [6]

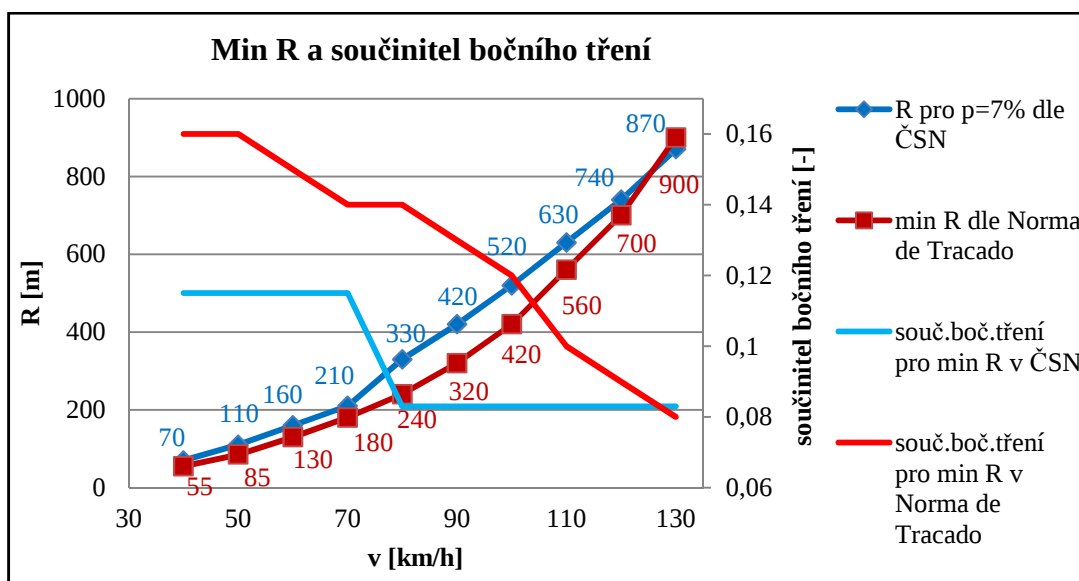
$$a = 0,11g \qquad 3.1,$$

kteřá zajišťuje vyšší komfort pro projíždějící. Pro tyto hodnoty norma předpokládá příčný sklon pozemní komunikace do výše 5 %.

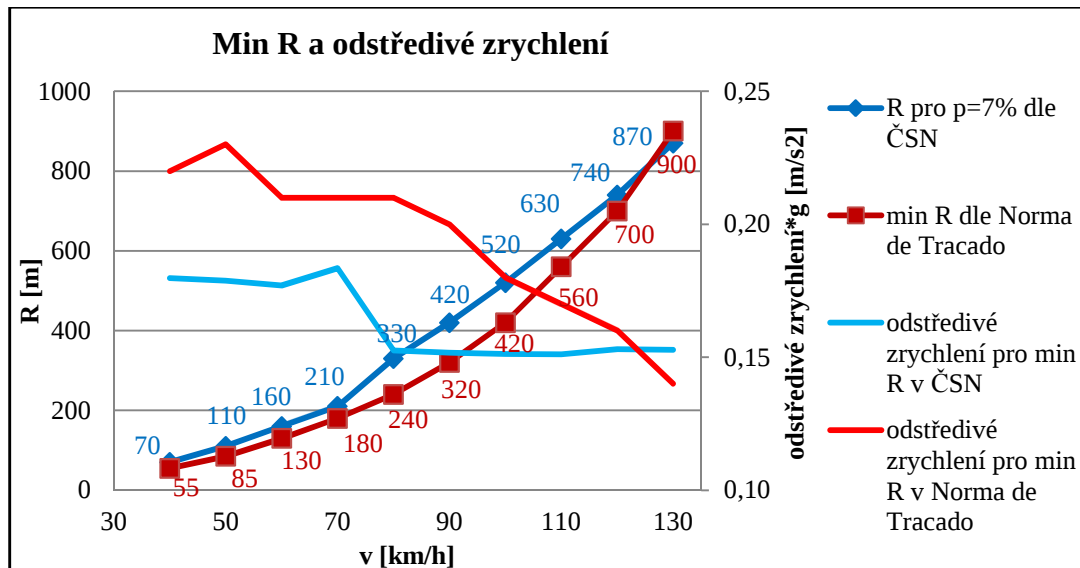
Pro srovnání výsledných poloměrů je níže vyhotovena tabulka 27, jejíž hodnoty jsou následně zobrazeny také graficky. V tabulce je uveden absolutní minimální poloměr dle portugalské normy, součinitel bočního tření, který se uvažuje pro výpočet tohoto poloměru a odstředivé zrychlení, které je adekvátní poloměru. Protože portugalská norma uvažuje pro tento poloměr příčný sklon o hodnotě 7 % a česká norma pro rychlosti 50 km/h a vyšší nepřipouští použít příčný sklon o této hodnotě, jsou v tabulce dopočítány poloměry dle ČSN (rovnice 1.12 a 1.13), které uvažují zmíněný příčný sklon 7 %. Tímto se dosáhne lepšího porovnání. K těmto poloměrům je dále dopočítán součinitel bočního tření (pro ČSN viz kapitola 1.5.2) a odstředivé zrychlení, které je počítáno stejně jako v portugalské normě podle rovnice 2.5. Tyto hodnoty jsou nejdříve zobrazeny v grafu 4, který uvádí minimální poloměry. Na vedlejší svislé ose jsou vykresleny hodnoty součinitele bočního tření.

Tabulka 27 Min R (pro $p=7\%$), součinitel bočního tření a odstředivé zrychlení [1],[6]

v [km/h]	Norma de Traçado			ČSN 73 6101		
	min R [m]	f [-]	a [m/s ²]	R [m] pro $p=7\%$	f [-]	a [m/s ²]
40	55	0,16	0,22g	70	0,115	0,18g
50	85	0,16	0,23g	110	0,115	0,18g
60	130	0,15	0,21g	160	0,115	0,18g
70	180	0,14	0,21g	210	0,115	0,18g
80	240	0,14	0,21g	330	0,083	0,15g
90	320	0,13	0,20g	420	0,083	0,15g
100	420	0,12	0,18g	520	0,083	0,15g
110	560	0,10	0,17g	630	0,083	0,15g
120	700	0,09	0,16g	740	0,083	0,15g
130	900	0,08	0,14g	870	0,083	0,15g

Graf 4 Srovnání minimálních poloměrů ($p=7\%$) a součinitele bočního tření [1],[6]

V grafu 5 jsou uvedeny opět stejné poloměry jako v grafu 4, na vedlejší svislé ose je ovšem vykresleno odstředivé zrychlení.



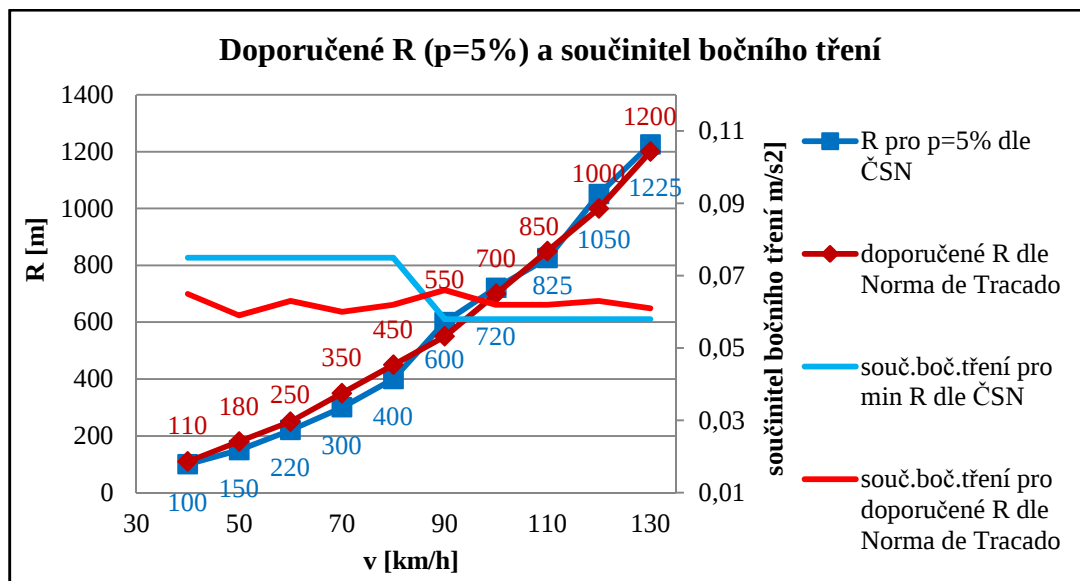
Graf 5 Srovnání minimálních poloměrů ($p=7\%$) a odstředivých zrychlení [1],[6]

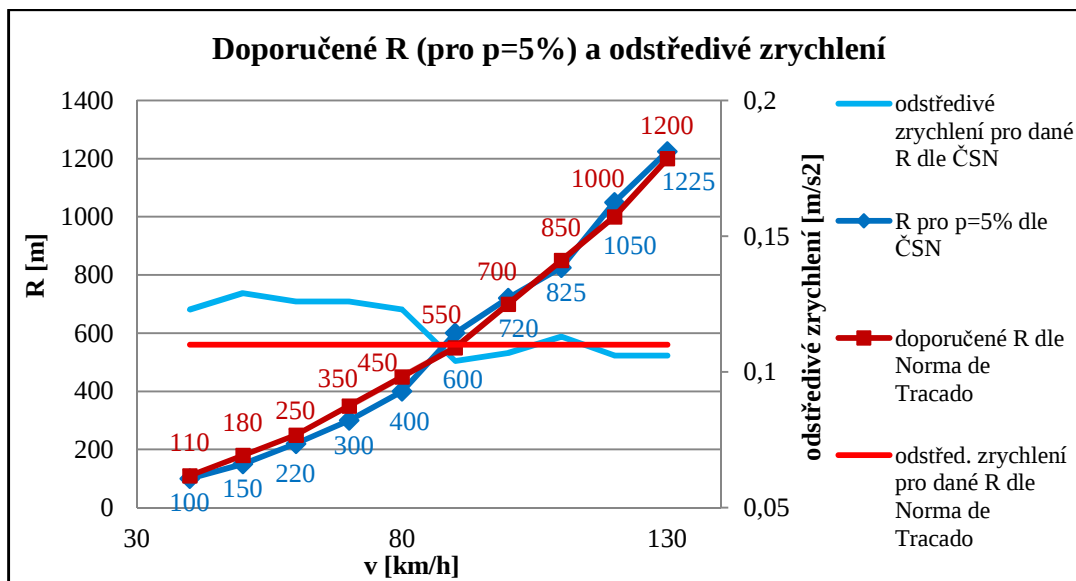
Z grafů je patrné, že minimální poloměry v české normě jsou mnohem komfortnější. To má za důsledek, že může docházet k technicky velmi obtížným řešením a také k neekonomickým návrhům.

Jako další budou srovnány poloměry, které jsou v Portugalské normě označeny jako doporučené poloměry. Jelikož tyto poloměry uvažují s příčným sklonem pozemní komunikace do 5% , budou porovnány s poloměry z ČSN 73 6101 o stejném příčném sklonu. Základní srovnání poloměrů, dopočítaných hodnot součinitele bočního tření a příslušných odstředivých zrychlení je možno vidět v tabulce 28. V grafické podobě je porovnání zobrazeno v grafu 6 resp. v grafu 7.

Tabulka 28 Doporučené R (pro $p=5\%$) a odstředivé zrychlení [1],[6]

v [km/h]	Norma de Tracado			ČSN 73 6101		
	doporučený R [m]	f [-]	a [m/s ²]	R [m] pro $p=5\%$	f [-]	a [m/s ²]
40	110	0,065	0,11g	100	0,075	0,123g
50	180	0,059	0,11g	150	0,075	0,129g
60	250	0,063	0,11g	220	0,075	0,126g
70	350	0,060	0,11g	300	0,075	0,126g
80	450	0,062	0,11g	400	0,075	0,123g
90	550	0,066	0,11g	600	0,058	0,104g
100	700	0,062	0,11g	720	0,058	0,107g
110	850	0,062	0,11g	825	0,058	0,113g
120	1000	0,063	0,11g	1050	0,058	0,106g
130	1200	0,061	0,11g	1225	0,058	0,106g

Graf 6 Srovnání doporučených poloměrů ($p=5\%$) a součinitele bočního tření [1],[6]



Graf 7 Porovnání minimálních poloměrů pro 5 % příčného sklonu a odstředivých zrychlení [1],[6]

Z tabulky i z grafu je zřejmé, že tyto hodnoty poloměrů nejsou tak rozdílné jako u absolutních minimálních poloměrů. Ovšem i zde jsou hodnoty zejména u nižších rychlostí v české normě větší.

Na základě výše zmíněných tabulek a grafů se nechá konstatovat, že minimální poloměry uvedené v ČSN 73 6101 jsou v porovnání s Norma de Tracado komfortní a neumožňují se v odůvodněných případech uchýlit k užití menšího poloměru, stále však bezpečného. To je zřejmě způsobeno odlišnými přístupy v navrhování poloměrů směrových oblouků. Výchozí předpoklady jsou stejné, dále se ovšem normy mírně rozcházejí, resp. si každá volí svůj vlastní systém. Přístup portugalské vychází z výpočtu minimálního bezpečného poloměru a následně úpravou na jistou komfortní mez. Česká norma uvádí pouze jeden druh poloměrů, kde je tato hodnota zřejmě již zakomponována. Jak již ale bylo v práci několikrát zmíněno, z hlediska praktického využívání není žádoucí moci využívat pouze hodnoty poloměru, které jsou nastaveny na komfortní úroveň.

Pro úplnost je zde ještě uvedena vícekrát zmíněná tabulka minimálních poloměrů ČSN 73 6101 v závislosti na příčném sklonu. Tato tabulka je doplněna o součinitel bočního tření a nově také o odstředivé zrychlení, které potencionálně působí na řidiče při jízdě obloukem o daném poloměru a návrhové rychlosti.

Všechny tyto hodnoty jsou v tabulce 29.

Tabulka 29 potvrzuje domněnku velice komfortních poloměrů. Jak je možné vidět u vysokých hodnot poloměrů, odstředivé zrychlení je velice nízké. Tyto poloměry by měly být také bezpečné, jelikož např. hodnoty součinitele bočního tření předpokládají hodnotu 0,03 resp. 0,04 pro příčný sklon 2,5 % (tento sklon vybrán vzhledem k potencionálně největšímu riziku usmyknutí). Jak ukazuje obrázek 2, tato hodnota je mnohem nižší, než je předpoklad tření mezi pneumatikou a mokré vozovky.

Dále byla vyhotovena tabulka 30, která opět uvádí hodnoty minimálních poloměrů pro směrové oblouky dle ČSN. V tabulce jsou doplněny také minimální poloměry oblouků dle portugalské normy. Zde jde o porovnání, jaký vliv příčného sklonu na tyto poloměry normy předpokládají. Jak bylo zmíněno výše, v české normě je zjednodušena rovnice na výpočet minimálního poloměru dle bezpečnosti proti usmyknutí, zatímco v portugalské normě je tato rovnice zachována. Když srovnáme tyto poloměry, výsledky jsou velice rozdílné. Například pro návrhovou rychlost 70 km/h česká norma uvažuje v příčném sklonu 6 % poloměr 250 m a pro příčný sklon 2,5 % uvažuje 600 m, což je hodnota o 140 % vyšší. Zatímco pro portugalskou normu jsou tyto hodnoty 195 m a 235 m. To je rozdíl pouhých 20 %. V tabulce jsou pro přehlednost a pro porovnání doplněna také příslušná odstředivá zrychlení dle daných poloměrů a rychlostí.

Tabulka 29 Minimální poloměry dle ČSN 73 6101, součinitel bočního tření a odstředivé zrychlení [1]

rychlost v(km/h)	Poloměr směrového oblouku R [m] Součinitel bočního tření f [-] Odstředivé zrychlení a [m*s-2]									
	Příčný sklon [%]									
	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
130	2450 <i>0,03</i> 0,054g	2050 <i>0,035</i> 0,065g	1750 <i>0,04</i> 0,076g	1525 <i>0,048</i> 0,087g	1350 <i>0,053</i> 0,098g	1225 <i>0,058</i> 0,109g	1125 <i>0,065</i> 0,118g	1025 <i>0,07</i> 0,130g		
120	2075 <i>0,03</i> 0,055g	1750 <i>0,035</i> 0,065g	1500 <i>0,04</i> 0,076g	1300 <i>0,048</i> 0,087g	1150 <i>0,053</i> 0,098g	1050 <i>0,058</i> 0,108g	950 <i>0,065</i> 0,119g	850 <i>0,07</i> 0,133g		
110	1750 <i>0,03</i> 0,054g	1450 <i>0,035</i> 0,066g	1250 <i>0,04</i> 0,076g	1100 <i>0,048</i> 0,087g	925 <i>0,053</i> 0,103g	825 <i>0,058</i> 0,115g	800 <i>0,065</i> 0,119g	725 <i>0,07</i> 0,131g		
100	1450 <i>0,03</i> 0,054g	1200 <i>0,035</i> 0,066g	1050 <i>0,04</i> 0,076g	900 <i>0,048</i> 0,087g	800 <i>0,053</i> 0,098g	720 <i>0,058</i> 0,109g	650 <i>0,065</i> 0,121g	600 <i>0,07</i> 0,131g		
90	1200 <i>0,03</i> 0,053g	1000 <i>0,035</i> 0,064g	850 <i>0,04</i> 0,075g	750 <i>0,048</i> 0,085g	650 <i>0,053</i> 0,098g	600 <i>0,058</i> 0,106g	550 <i>0,065</i> 0,116g	500 <i>0,07</i> 0,127g		
80	775 <i>0,04</i> 0,065g	650 <i>0,048</i> 0,077g	550 <i>0,055</i> 0,092g	500 <i>0,06</i> 0,101g	450 <i>0,068</i> 0,112g	400 <i>0,075</i> 0,126g	350 <i>0,085</i> 0,144g	325 <i>0,095</i> 0,155g		
70	600 <i>0,04</i> 0,064g	500 <i>0,048</i> 0,077g	425 <i>0,055</i> 0,091g	375 <i>0,06</i> 0,103g	330 <i>0,068</i> 0,117g	300 <i>0,075</i> 0,128g	270 <i>0,085</i> 0,143g	250 <i>0,095</i> 0,154g		
60	450 <i>0,04</i> 0,063g	375 <i>0,048</i> 0,076g	325 <i>0,055</i> 0,087g	270 <i>0,06</i> 0,105g	240 <i>0,068</i> 0,118g	220 <i>0,075</i> 0,129g	200 <i>0,085</i> 0,142g	180 <i>0,095</i> 0,157g	170 <i>0,1</i> 0,167g	
50	300 <i>0,04</i> 0,066g	250 <i>0,048</i> 0,079g	220 <i>0,055</i> 0,089g	190 <i>0,06</i> 0,103g	170 <i>0,068</i> 0,116g	150 <i>0,075</i> 0,131g	140 <i>0,085</i> 0,140g	125 <i>0,095</i> 0,157g	120 <i>0,1</i> 0,164g	110 <i>0,12</i> 0,179g
40	200 <i>0,04</i> 0,063g	160 <i>0,048</i> 0,079g	140 <i>0,055</i> 0,090g	120 <i>0,06</i> 0,105g	110 <i>0,068</i> 0,114g	100 <i>0,075</i> 0,126g	90 <i>0,085</i> 0,140g	80 <i>0,095</i> 0,157g	75 <i>0,1</i> 0,168g	70 <i>0,12</i> 0,180g
30	110 <i>0,04</i> 0,064g	90 <i>0,048</i> 0,079g	80 <i>0,055</i> 0,088g	70 <i>0,06</i> 0,101g	60 <i>0,068</i> 0,118g	55 <i>0,075</i> 0,129g	50 <i>0,085</i> 0,142g	45 <i>0,095</i> 0,157g	40 <i>0,1</i> 0,177g	35 <i>0,12</i> 0,202g

Tabulka 30 Porovnání vlivu příčného sklonu na poloměr oblouku dle norem [1],[6]

rychlost v(km/h)	Poloměr oblouku dle ČSN [m] Odstředivé zrychlení dle ČSN [m*s ⁻²] Poloměr směrového oblouku dle Norma de Tracado [m] Odstředivé zrychlení dle Norma de Tracado [m*s ⁻²]									
	příčný sklon [%]									
	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
130	2450 0,054g 1270 0,105g	2050 0,065g 1210 0,110g	1750 0,076g 1160 0,115g	1525 0,087g 1110 0,120g	1350 0,098g 1065 0,125g	1225 0,109g 1025 0,130g	1125 0,118g 990 0,134g	1025 0,130g 950 0,140g		
120	2075 0,055g 990 0,114g	1750 0,065g 945 0,120g	1500 0,076g 910 0,124g	1300 0,087g 975 0,116g	1150 0,098g 940 0,120g	1050 0,108g 910 0,124g	950 0,119g 785 0,144g	850 0,133g 755 0,150g		
110	1750 0,054g 765 0,124g	1450 0,066g 735 0,129g	1250 0,076g 710 0,134g	1100 0,087g 680 0,140g	925 0,103g 660 0,144g	825 0,115g 635 0,150g	800 0,119g 615 0,155g	725 0,131g 595 0,160g		
100	1450 0,054g 545 0,144g	1200 0,066g 525 0,150g	1050 0,075g 510 0,154g	900 0,087g 495 0,159g	800 0,098g 480 0,164g	720 0,109g 465 0,169g	650 0,121g 450 0,175g	600 0,131g 440 0,179g		
90	1200 0,053g 415 0,154g	1000 0,064g 400 0,159g	850 0,075g 390 0,163g	750 0,085g 475 0,134g	650 0,098g 365 0,175g	600 0,106g 355 0,179g	550 0,116g 345 0,185g	500 0,127g 335 0,190g		
80	775 0,065g 305 0,165g	650 0,077g 300 0,168g	550 0,092g 290 0,174g	500 0,101g 280 0,180g	450 0,112g 275 0,183g	400 0,126g 265 0,190g	350 0,144g 260 0,194g	325 0,155g 255 0,197g		
70	600 0,064g 235 0,164g	500 0,077g 230 0,168g	425 0,091g 220 0,175g	375 0,103g 215 0,179g	330 0,117g 210 0,184g	300 0,128g 205 0,188g	270 0,143g 200 0,193g	250 0,154g 195 0,198g		

rychlost v(km/h)	Poloměr oblouku dle ČSN [m] Odstředivé zrychlení dle ČSN [m*s ⁻²] Poloměr směrového oblouku dle Norma de Tracado [m] Odstředivé zrychlení dle Norma de Tracado [m*s ⁻²]									
	příčný sklon [%]									
	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
60	450	375	325	270	240	220	200	180	170	
	0,063g	0,076g	0,087g	0,105g	0,118g	0,129g	0,142g	0,157g	0,167g	
	165	160	155	150	145	145	140	135	135	
	0,172g	0,177g	0,183g	0,189g	0,195g	0,195g	0,202g	0,210g	0,210g	
50	300	250	220	190	170	150	140	125	120	110
	0,066g	0,079g	0,089g	0,103g	0,116g	0,131g	0,140g	0,157g	0,164g	0,179g
	110	105	100	100	100	95	95	90	90	85
	0,179g	0,187g	0,197g	0,197g	0,197g	0,207g	0,207g	0,218g	0,218g	0,231g
40	200	160	140	120	110	100	90	80	75	70
	0,063g	0,079g	0,090g	0,105g	0,114g	0,126g	0,140g	0,157g	0,168g	0,180g
	70	70	65	65	65	60	60	60	55	55
	0,180g	0,180g	0,194g	0,194g	0,194g	0,210g	0,210g	0,210g	0,229g	0,229g
30	110	90	80	70	60	55	50	45	40	35
	0,064g	0,079g	0,088g	0,101g	0,118g	0,129g	0,142g	0,157g	0,177g	0,202g
	40	40	35	35	35	35	35	35	30	30
	0,177g	0,177g	0,202g	0,202g	0,202g	0,202g	0,202g	0,202g	0,236g	0,236g

3.5 Výškové oblouky

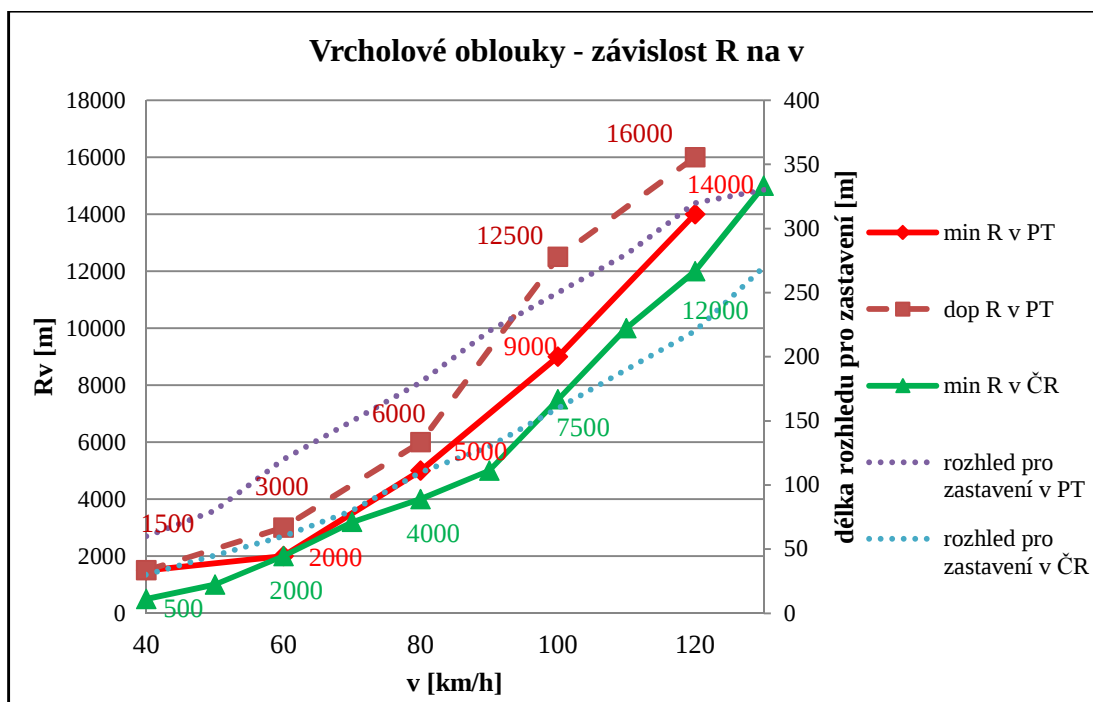
Výpočet vrcholových výškových oblouků je založen v obou normách na stejné rovnici. V portugalské normě je rovnice upravena podle předpokládané výšky oka řidiče a výšky překážky do tvaru rovnice 2.9. Tato rovnice vychází z konstanty 0,25 a z délky pro zastavení. Tato konstanta udává minimální hodnoty. Následně je ovšem navýšena různě v závislosti na návrhové (dopravní) rychlosti. Toto opatření je nejspíše s ohledem na zvýšení bezpečnosti. Vývoj této konstanty, která je označována jako k , je patrný z tabulky 23.

Česká norma bere v úvahu stejnou rovnici, ale má variabilní výšku překážky, která závisí na návrhové rychlosti. Česká norma také uvádí minimální poloměry vrcholového výškového oblouku pro předjíždění.

Srovnání minimálních poloměrů je uvedeno v tabulce 31 a následně v grafu 8. V grafu jsou také vykresleny rozhledy pro zastavení, které mají velký vliv na tomto minimálním poloměru.

Tabulka 31 Srovnání vrcholových výškových oblouků [3],[6]

VT [km/h]	CZ $R_{\min}$ [m]	PT	
		$R_{\min}$ [m]	R_{dop} [m]
40	500	1500	1500
60	2000	2000	3000
80	4000	5000	6000
100	7500	9000	12500
120	12000	14000	16000

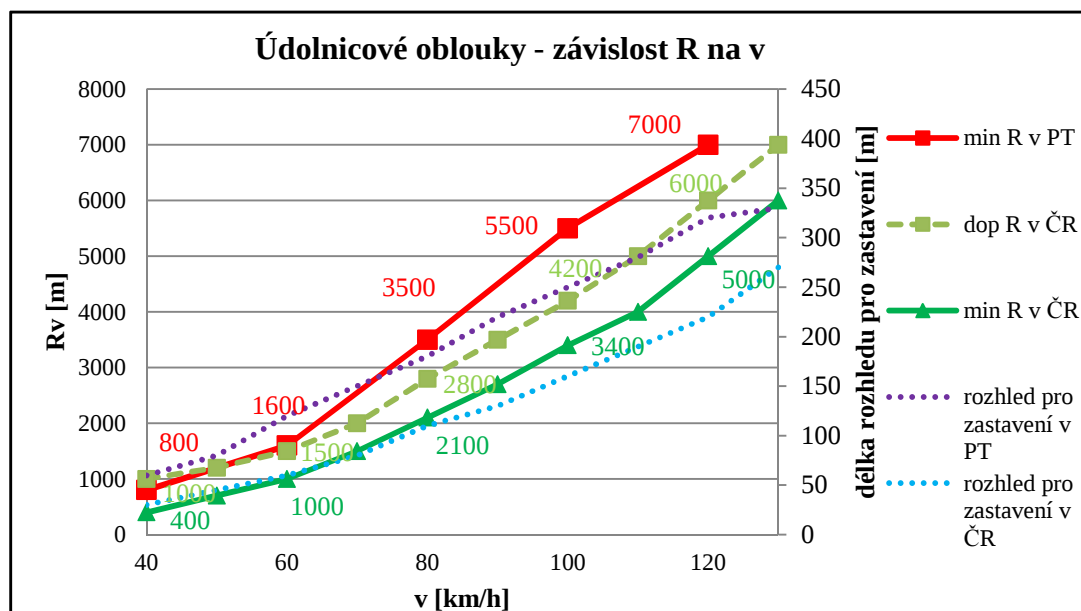


Graf 8 Srovnání vrcholových výškových oblouků [3],[6]

Výpočet údolnicového výškového oblouku je v obou normách úplně stejný. Rozdíl je pouze v jiných rozhledech pro zastavení. Srovnání výsledných minimálních poloměrů je uveden v tabulce 32 a následně v grafu 9.

Tabulka 32 Srovnání údolnicových výškových oblouků [1],[6]

VT [km/h]	PT	CZ	
	$R_{\min}$ [m]	R_{dop} [m]	$R_{\min}$ [m]
40	800	1000	400
60	1600	1500	1000
80	3500	2800	2100
100	5500	4200	3400
120	7000	6000	5000



Graf 9 Srovnání údolnicových výškových oblouků [1],[6]

4 MĚŘENÍ RYCHLOSTI PRŮJEZDU SMĚROVÝMI OBLOUKY

Z předcházejících kapitol je zřejmé, že přístup jak české normy, tak i portugalské normy v navrhování určitých prvků pozemních komunikací je podobný, mnohdy však také velmi rozdílný. Největší rozdíl se zdá být u navrhování směrových oblouků. Protože se jedná o jeden z nejdůležitějších parametrů silnic jak k bezpečnosti a složitosti technického řešení, tak i ekonomických důsledků, bude tento prvek dále zkoumán.

Jako další problém v návrhu směrových oblouků je téměř neexistující provázanost mezi návrhovou rychlostí a skutečnou rychlostí, kterou budou vozidla po dané komunikaci jezdit. Přitom vzorec pro návrh minimálních poloměrů vychází z jisté konkrétní rychlosti.

S ohledem na výše zmíněné důvody budou provedena různá měření, která mají za úkol přiblížit, jak velikou skutečnou rychlostí jezdí vozidla různými poloměry na pozemních komunikacích. Jako první bylo vybráno několik směrových oblouků, kde bude měřena rychlost projíždějících vozidel pomocí stacionárních radarů, které budou umístěny tak, aby mohl být patrný vývoj rychlosti vozidla projíždějícího směrovým obloukem. Měření má za úkol potvrdit, že reálné rychlosti nebudou odpovídat předpokladům normy.

Vybrány byly pouze takové oblouky, kde je pro rychlost řidičů limitující pouze daný poloměr oblouku. Důraz byl kladen především na malý podélný sklon komunikace a na dobrý rozhled tak, aby byl směrový oblouk vidět celý, na odpovídající stav povrchu, dále na intenzitu, tak aby nebyla příliš velká a auta nejedla v koloně. V neposlední řadě byla také nutnost vybrat směrové oblouky tak, aby před a za byla dostatečně dlouhá přímá a řidič mohl dosáhnout požadované rychlosti, která vzhledem ke skutečnosti, že se oblouky nacházely v extravilánu, byla 90 km/h.

Při vyhodnocení měření bude cílem porovnat výsledky zejména s nějakou veličinou z normy. Pro tento účel byla vybrána směrodatná rychlost, která se má

nejvíce blížit rychlosti povolené. Výsledky jednotlivých měření budou vyhotoveny graficky se znázorněním průběhu rychlostí vozidel a to ve dvou formách – v_{85} a průměrné rychlosti. Každý jízdní pruh (vnější a vnitřní) bude vynesena zvlášť.

Změřeno bude celkem pět směrových oblouků o třech různých poloměrech. Jeden směrový oblouk bude změřen dvakrát pro ověření, že rychlosti vozidel budou stejné nebo alespoň velmi podobné při opětovném měření a výsledná data budou tedy relevantní. Celkem budou také změřeny tři hodnoty poloměrů směrových oblouků. Zde půjde o porovnání, jaké jsou rychlosti ve stejných poloměrech, ale za odlišných podmínek jako například různá změna úhlů osy komunikace, odlišná šířka komunikace a jiných vlivů působících na řidiče.

V následujících podkapitolách je uveden popis a výsledky jednotlivých měření, vše je doplněno o přehledná schémata a grafy. Pro představu, jak měření probíhalo, jsou zde uvedeny dvě fotografie – obrázek 5 a obrázek 6.



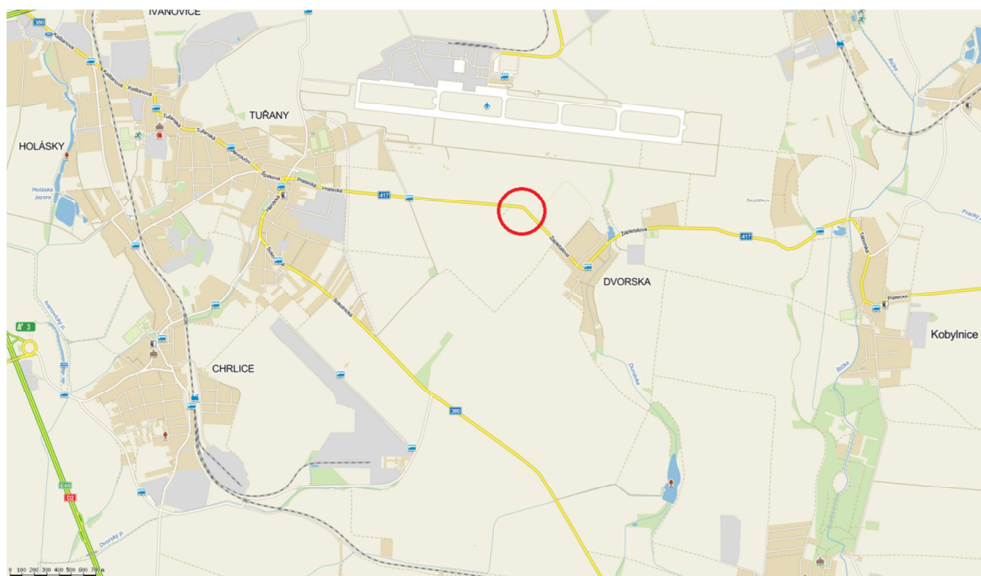
Obrázek 5 Ukázka měření 1



Obrázek 6 Ukázka měření 2

4.1 Měření Dvorská 1

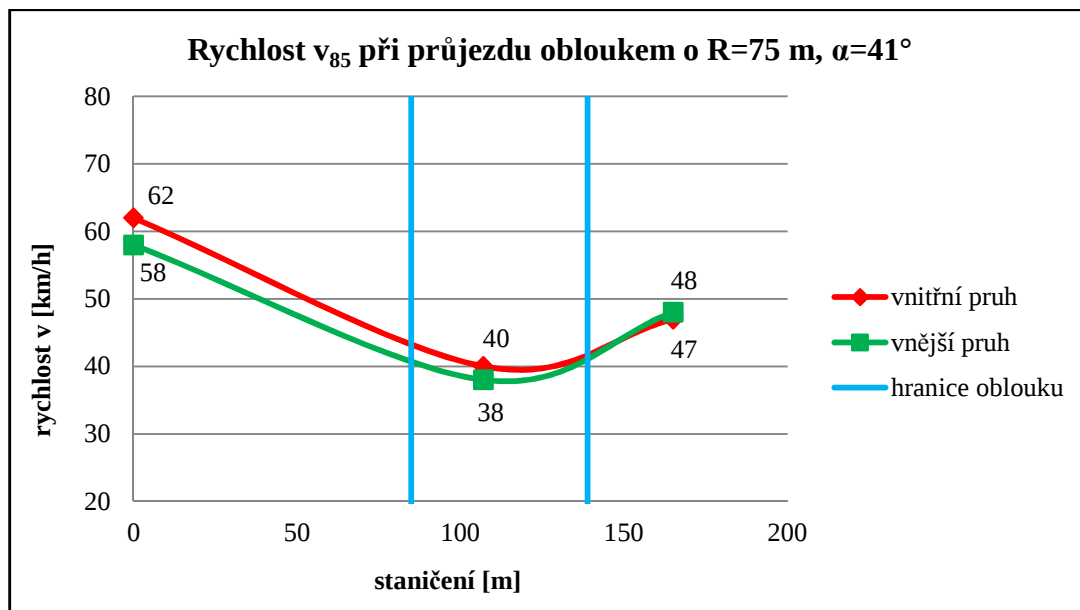
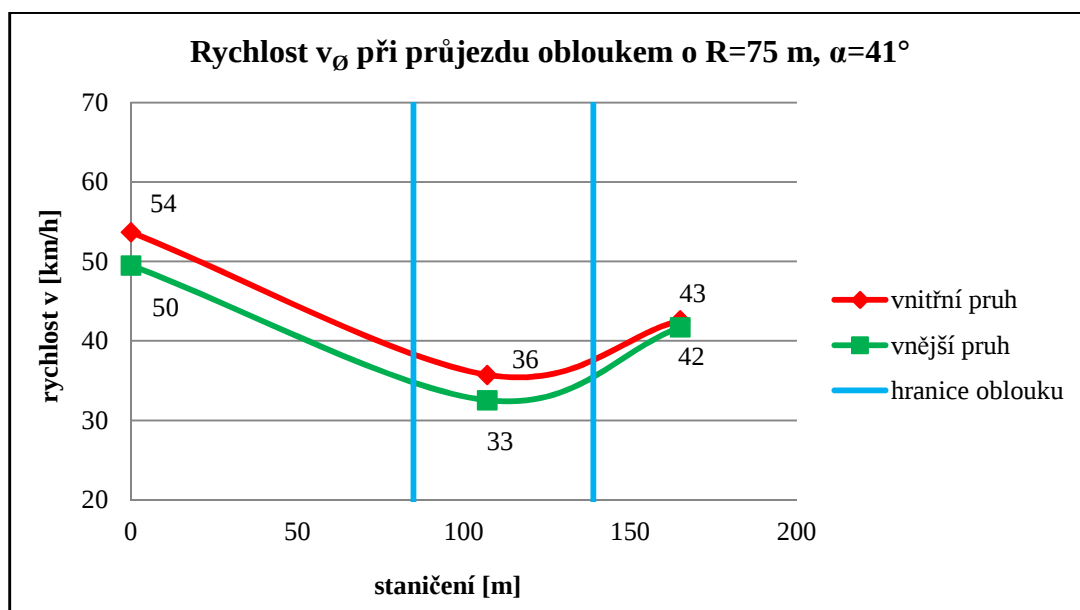
Měření proběhlo ve směrovém oblouku o poloměru $R=75$ m blízko obce Dvorská (obrázek 8). Délka oblouku je 54 m. Příčný sklon je dostředný o velikosti 3,0 %. Použity byly tři radary, kdy jeden byl umístěn před oblouk, další v oblouku a poslední za oblouk (obrázek 7). Měření probíhalo hodinu, celkem bylo naměřeno 110 vozidel. Dle sčítání v roce 2010 je zde intenzita 2695 voz/den.



Obrázek 8 Situace měření u obce Dvorská [10]



Obrázek 7 Schéma měření Dvorská 1[10]

Graf 10 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Dvorská 1Graf 11 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Dvorská 1

Z grafů je patrné, že v_{85} % je v pomalejším jízdním pruhu rovna 38 km/h (graf 10). Průměrná rychlost v oblouku byla naměřena 33 km/h (graf 11). Vyšší rychlost na začátku oblouku (po směru staničení) oproti hodnotě na konci oblouku byla zřejmě způsobena delším přímým úsekem, kde vozidla mohla dosáhnout vyšší

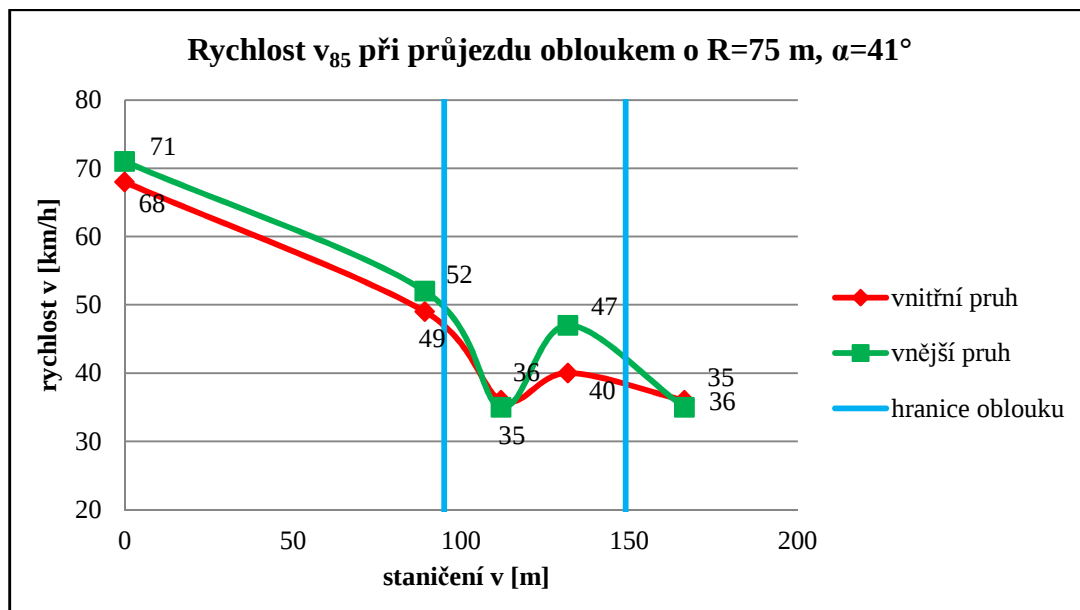
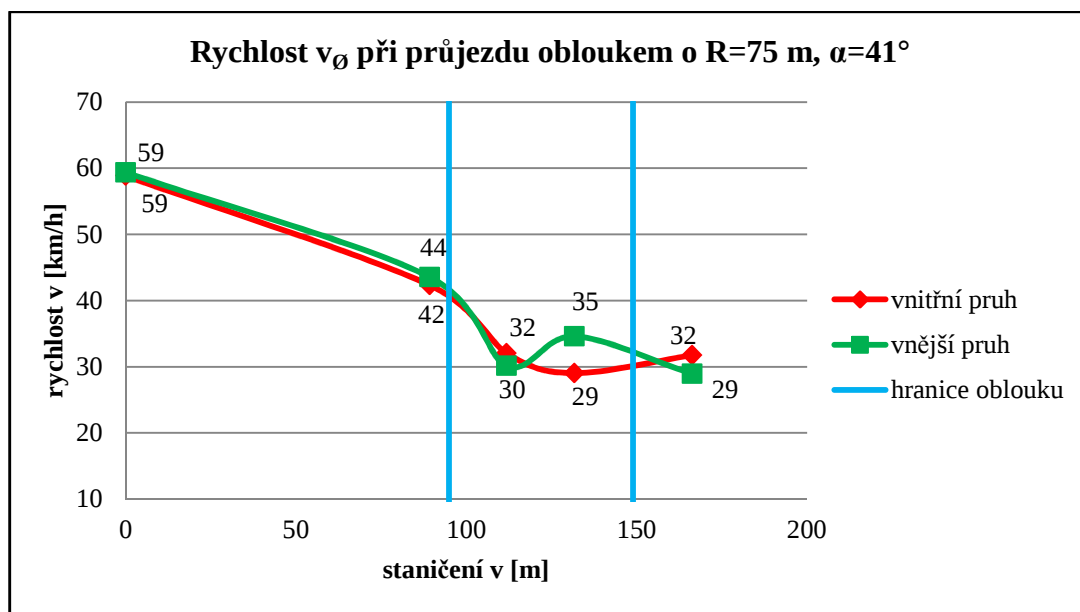
rychlosti než z opačné strany, kde byl začátek obce.

4.2 Měření Dvorská 2

Měření proběhlo ve stejném směrovém oblouku jako v měření 1 (obrázek 8) – tzn. $R=75$ m, délka oblouku 54 m a dostředný sklon o velikosti 3,0 %, intenzita 2695 voz/den. Měření tentokrát probíhalo pěti radary, kdy dva byly umístěny před oblouk, dva do oblouku a jeden za oblouk ve směru k obci Dvorská (obrázek 9). Měření probíhalo 1hod a 30min, celkem bylo naměřeno 180 vozidel.



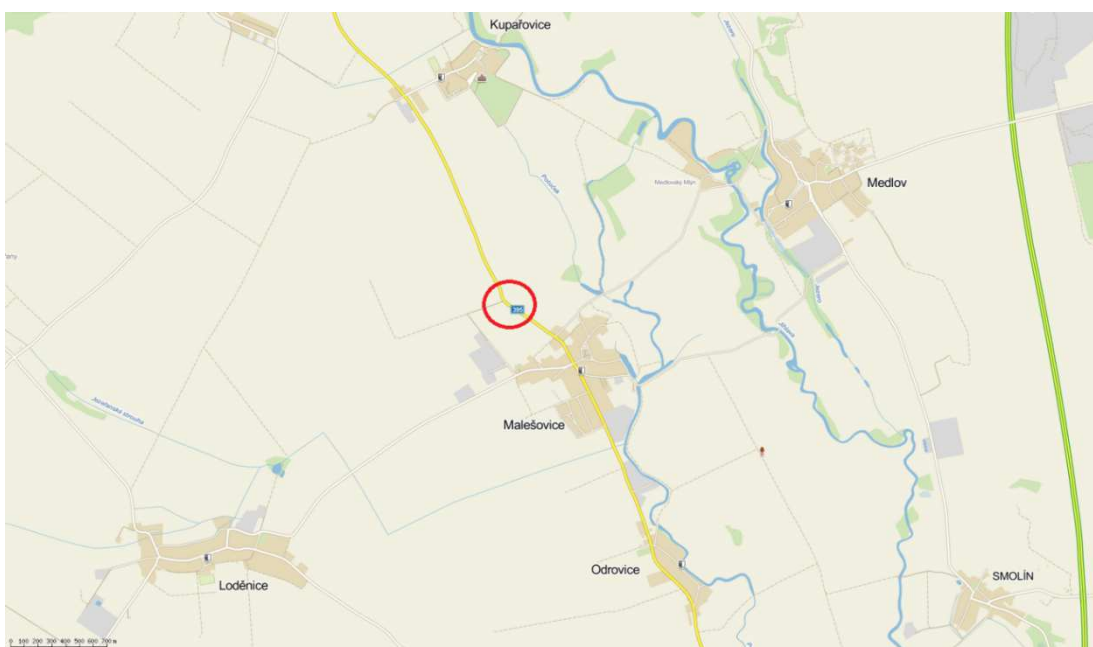
Obrázek 9 Schéma měření Dvorská 2 [10]

Graf 12 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Dvorska 2Graf 13 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Dvorska 2

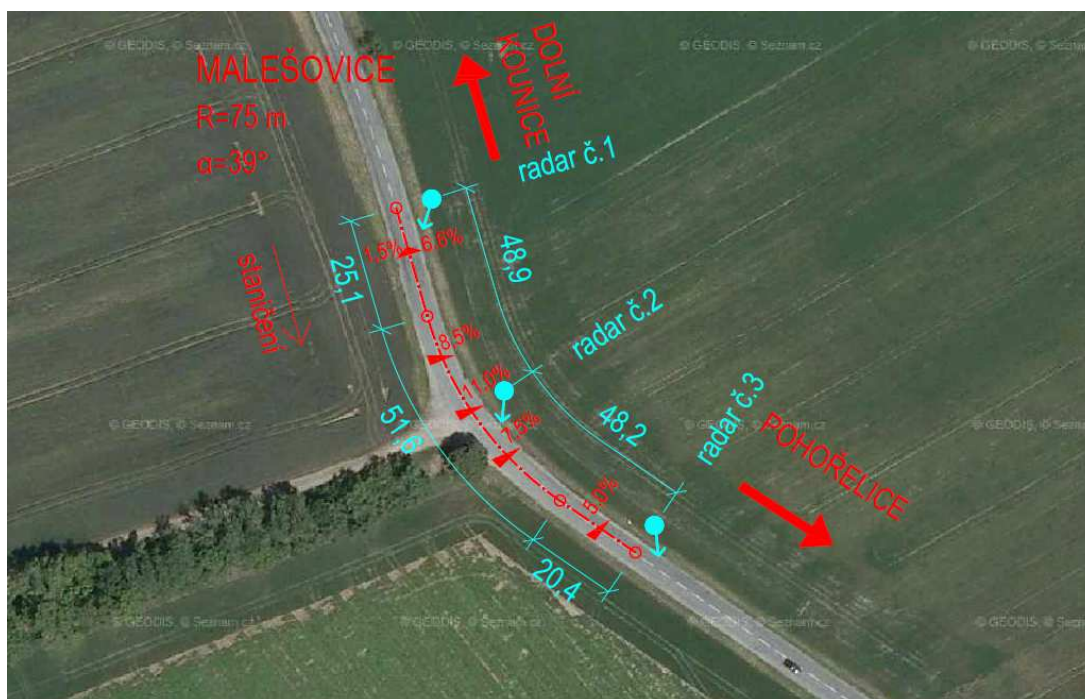
Z grafů je patrné, že minimální v_{85} byla naměřena v hodnotě 35 km/h (graf 12). Nejnižší průměrná rychlost byla naměřena 29 km/h (graf 13). Odůvodnění pro rozdílné hodnoty na konci a na začátku oblouku jsou stejné a to v přítomnosti dlouhého přímého úseku před obloukem (bráno ve směru staničení).

4.3 Měření Malešovice

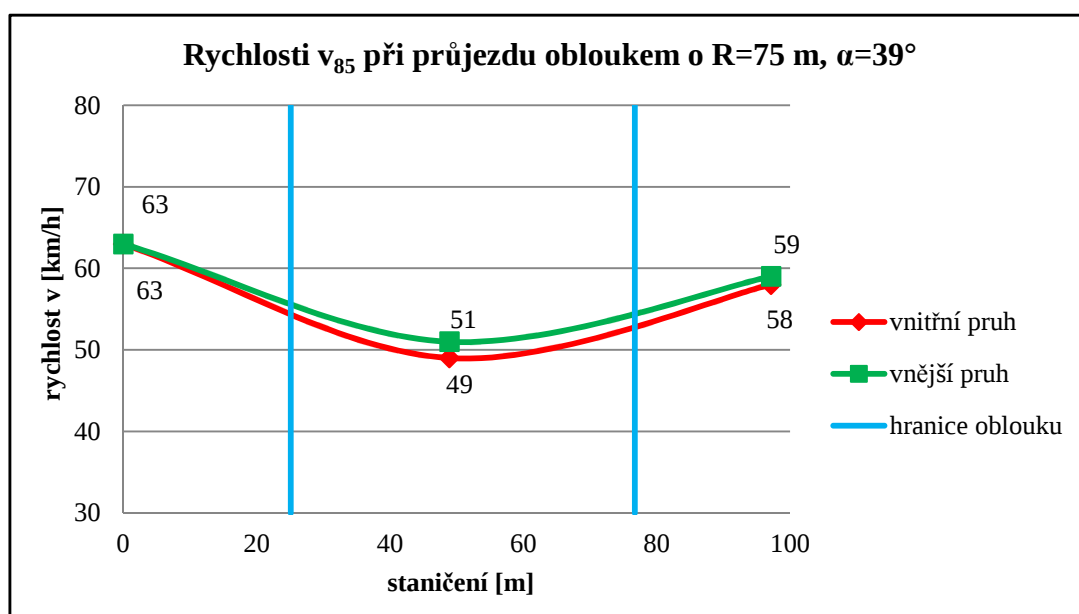
Měření proběhlo blízko obce Malešovice (obrázek 10) ve směrovém oblouku o poloměru $R=75$ m a délky 51,6 m. Měření bylo provedeno třemi radary, kdy dva byly umístěny mimo oblouk a jeden byl umístěn uprostřed oblouku (obrázek 11). Měřilo se jednu hodinu a celkem bylo zachyceno 68 vozidel. Udávaná intenzita je 1142 voz/den. Příčný sklon v místě radaru s nejnižší hodnotou v_{85} byl v dostředném sklonu o velikosti 6,5 %.



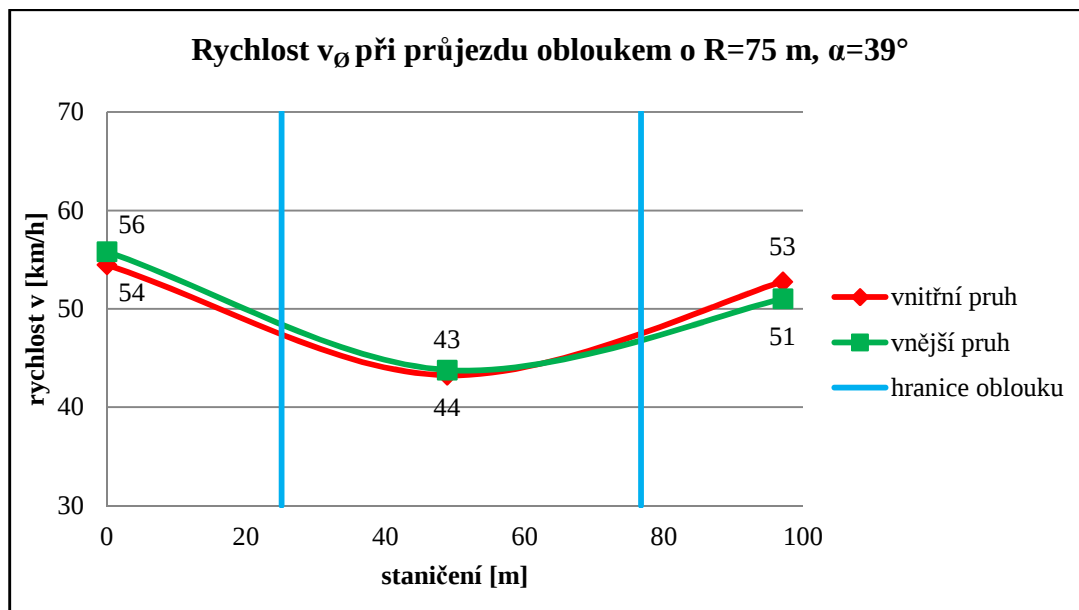
Obrázek 10 Situace měření u obce Malešovice [10]



Obrázek 11 Schéma měření u obce Malešovice [10]



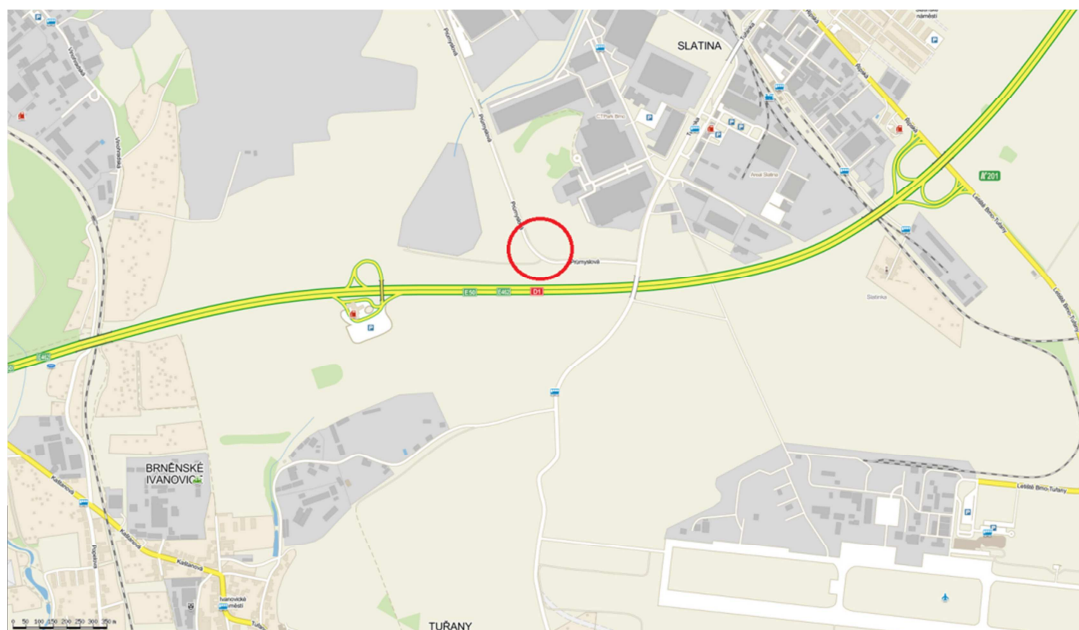
Graf 14 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Malešovice

Graf 15 Vývoj v_θ při průjezdu obloukem u měření Malešovice

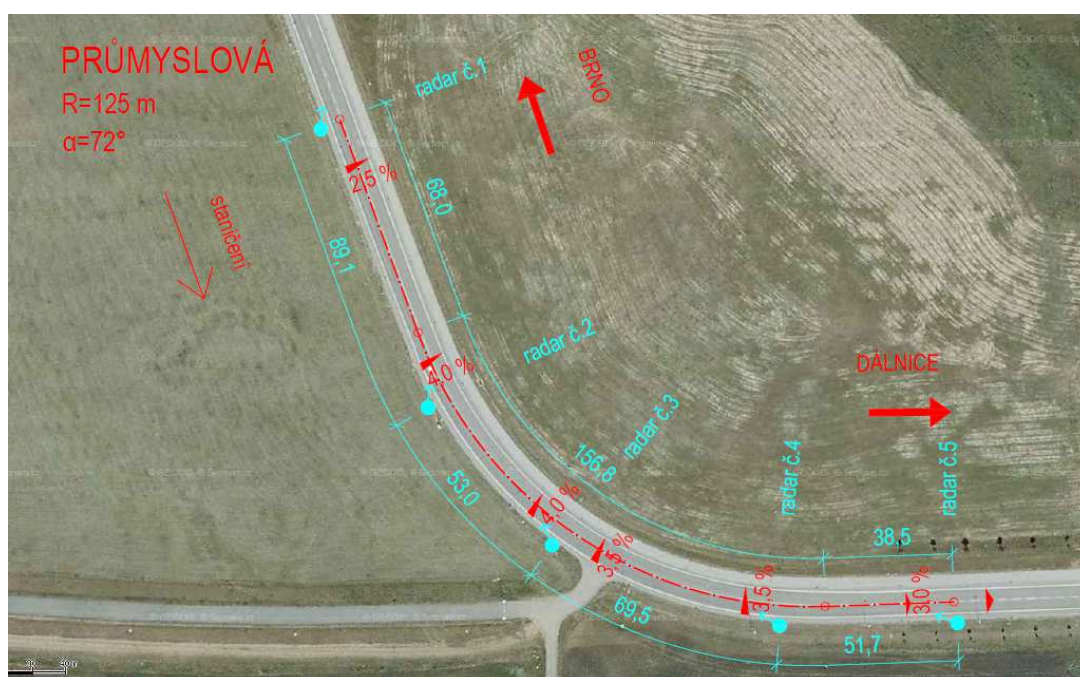
Z vyhodnocení vyplývá, že v_{85} v pomalejším vnitřním jízdním pruhu byla 49 km/h (graf 14). Průměrná rychlost byla naměřena 43 km/h (graf 15).

4.4 Měření Průmyslová

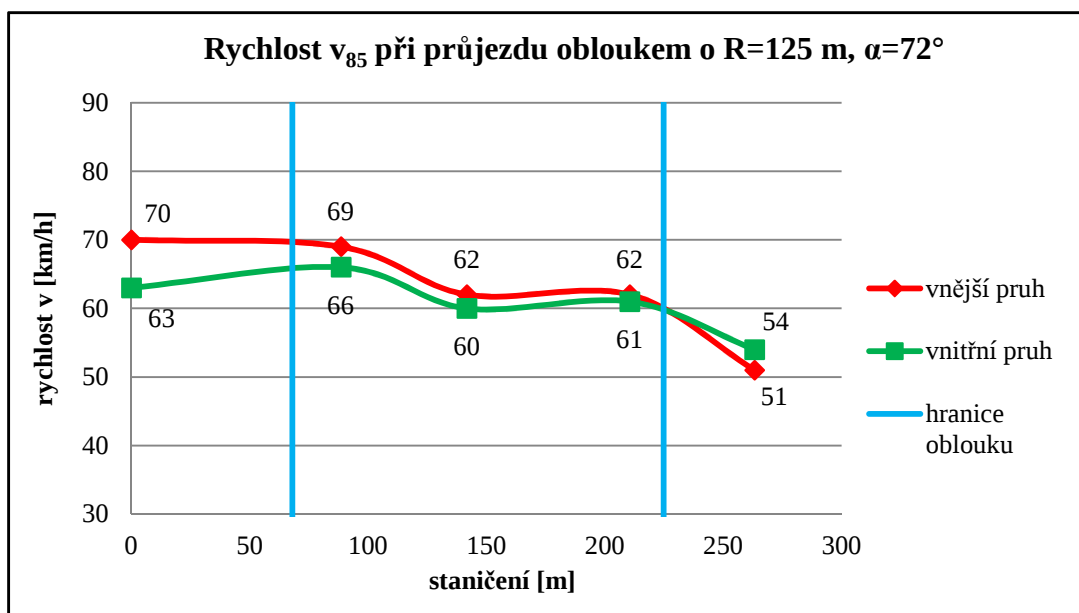
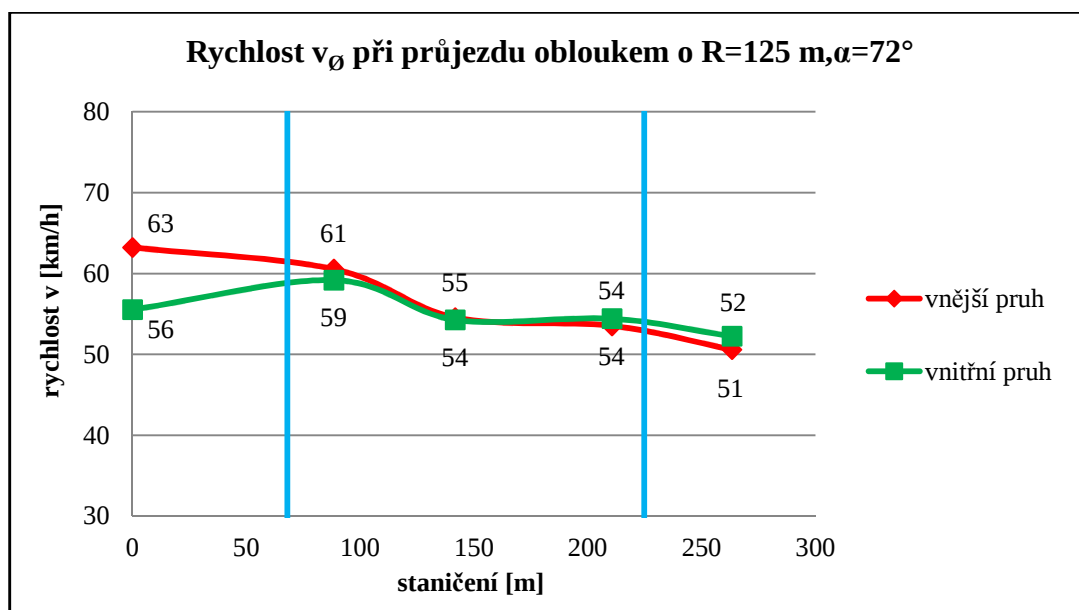
Další měření proběhlo ve směrovém oblouku na ulici Průmyslová u Brna (obrázek 12). Velikost poloměru je $R=125$ m. Délka oblouku je 157 m. Měření bylo zaznamenáno pěti radary, kdy jeden byl umístěn před zatáčku, tři byly umístěny do oblouku a pátý byl umístěn za oblouk (obrázek 13). Měření probíhalo 50 min, celkem bylo naměřeno 442 vozidel. Byla zde velká intenzita, při vyhodnocování byla ovšem vyfiltrována vozidla jedoucí v těsné blízkosti za sebou. Z toho zbyl vzorek 261 aut. Změny v_{85} i průměrné rychlosti byly ovšem změněny maximálně o 2 km/h, proto u jiných směrových oblouků, kde intenzita nedosahovala zdaleka takových hodnot, nebyla redukce provedena. Příčný sklon byl u radaru s nejnižšími hodnotami dostředný o velikosti 3,5 %.



Obrázek 12 Situace měření na ulici Průmyslová [10]



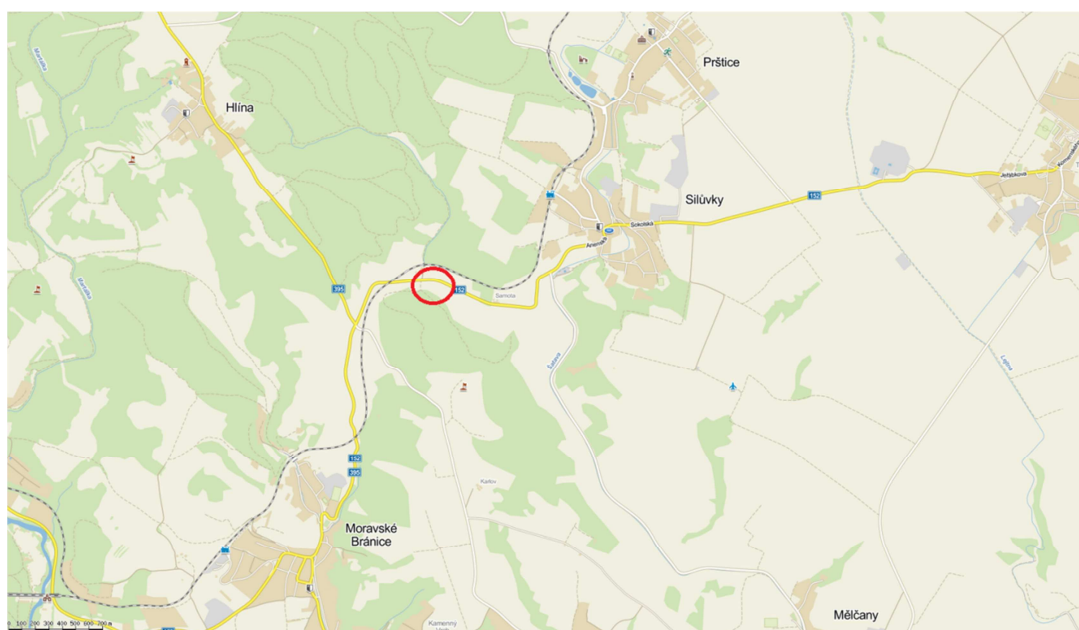
Obrázek 13 Schéma měření na ulici Průmyslová [10]

Graf 16 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření PrůmyslováGraf 17 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Průmyslová

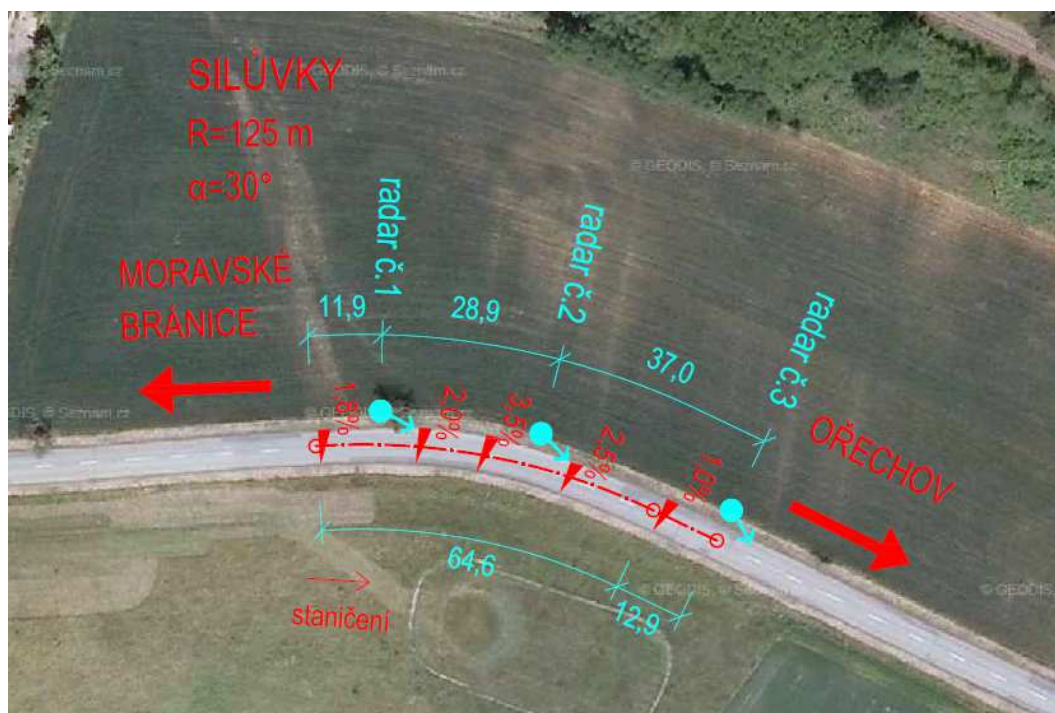
Z výsledků je patrné, že nejnižší rychlost v_{85} byla 60 km/h (graf 16). Průměrná rychlost byla naměřena 54 km/h (graf 17). Zde nižší hodnoty na konci oblouku oproti začátku oblouku (bráno dle staničení) ukazují na to, že za obloukem byla v nedaleké vzdálenosti křižovatka, tudíž auta jedoucí od ní nedostatečně zrychlila a auta blížící se ke křižovatce neměla potřebu zrychlovat.

4.5 Měření Silůvky

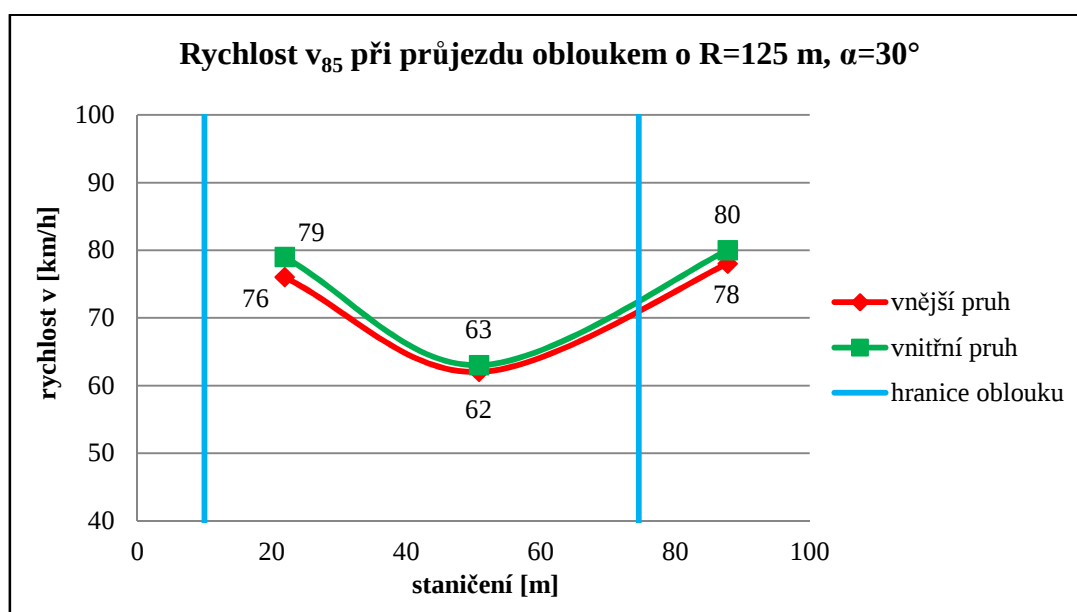
Měření probíhalo ve směrovém oblouku o $R=125$ m poblíž obce Silůvky (obrázek 14). Měření bylo zaznamenáno třemi radary. Jeden byl umístěn na začátek oblouku, další do středu oblouku a poslední za oblouk (obrázek 15). Měření trvalo 50 min, celkem bylo zaznamenáno 126 vozidel, přičemž je intenzita uvedená v hodnotě 2566 voz/den. Příčný sklon u radaru s nejnižšími hodnotami byl naměřen dostředný v hodnotě 2,5 %. Délka oblouku je 65 m.



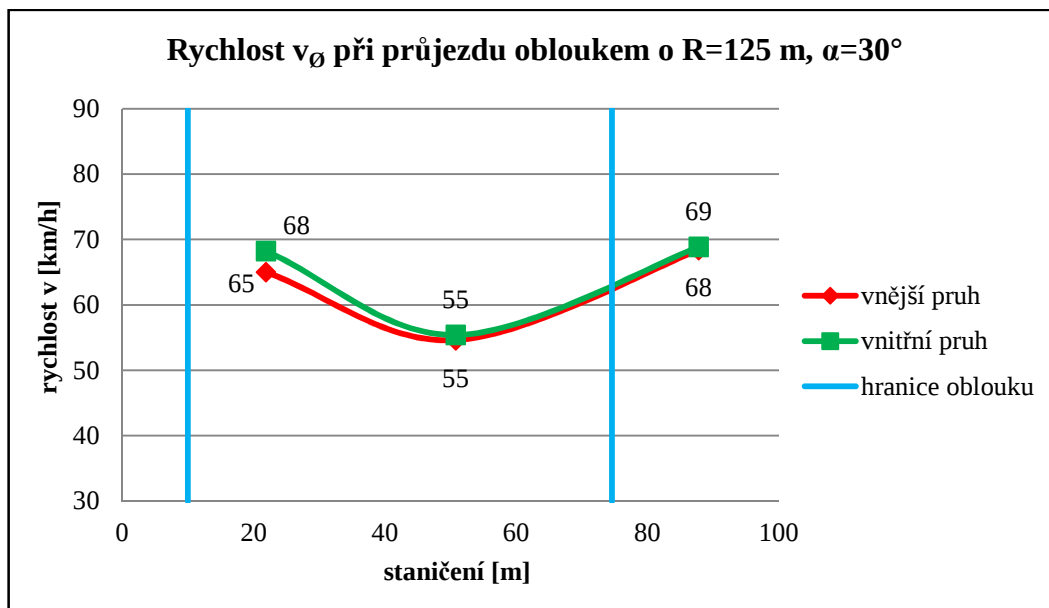
Obrázek 14 Situace měření u obce Silůvky [10]



Obrázek 15 Schéma měření u obce Silůvky [10]



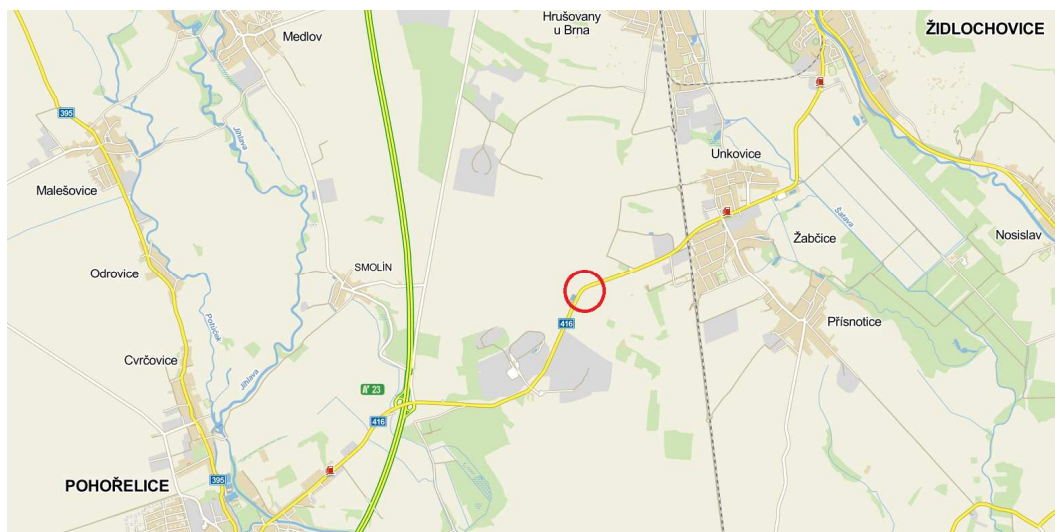
Graf 18 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Silůvky

Graf 19 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Silůvky

Měření jasně ukazuje, že v_{85} je v tomto směrovém oblouku rovna 62 km/h (graf 18). Průměrná rychlost je pak rovna 55 km/h (graf 19). Výrazné rozdíly mezi dvěma radary umístěnými uvnitř oblouku mohou být v tom, že nebyly symetricky umístěny a radar s vyššími hodnotami je více z oblouku, tudíž vozidla nebyla ještě dostatečně zpomalena.

4.6 Měření Unkovice

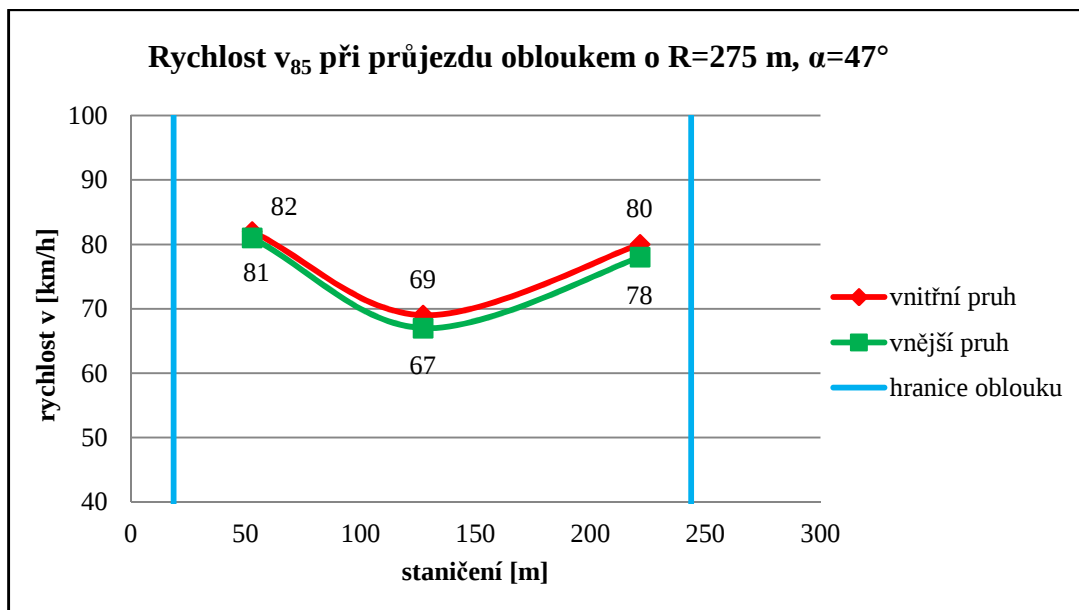
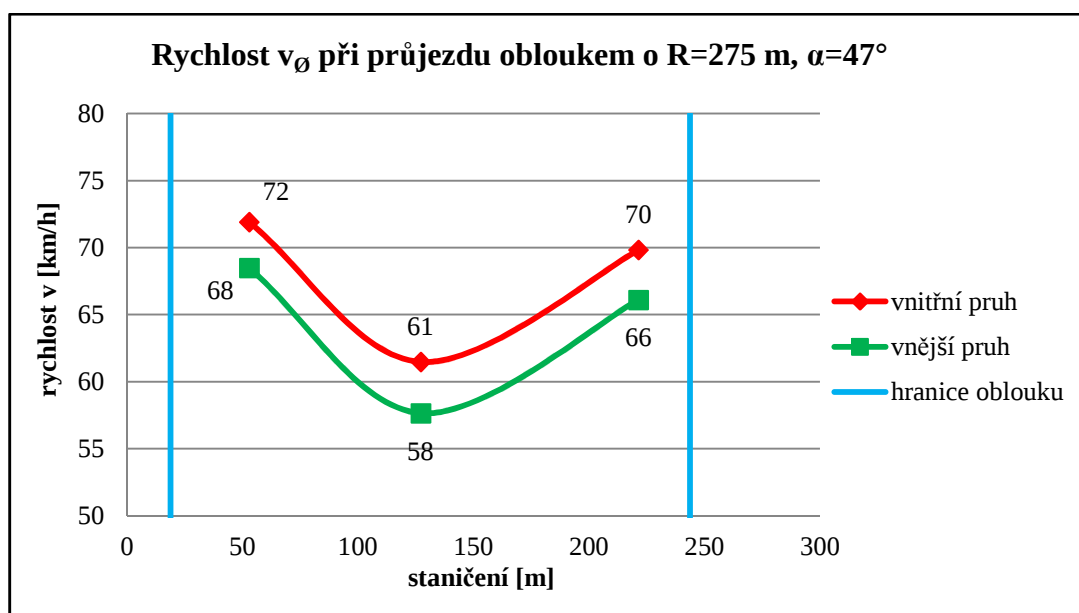
Měření probíhalo ve směrovém oblouku o poloměru $R=275$ m a délce 225 m nedaleko obce Unkovice (obrázek 17). Měřeno bylo třemi radary. Vzhledem k velké délce oblouku a velkému poloměru byly všechny radary umístěny do směrového oblouku (obrázek 16). Intenzita zde dosahuje hodnoty 2006 voz/den. Příčný sklon je v tomto oblouku dostředný a pohybuje se na hranici 3,0 %. Měření probíhalo 50 minut, naměřeno bylo celkem 135 vozidel.



Obrázek 17 Situace měření u obce Unkovice [10]



Obrázek 16 Schéma měření u obce Unkovice [10]

Graf 20 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření UnkoviceGraf 21 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Unkovice

Z výsledků vyplývá, že v_{85} je rovna 67 km/h ve vnějším pruhu (graf 20). Průměrná rychlost byla v tom samém pruhu naměřena v hodnotě 58 km/h (graf 21).

4.7 Vyhodnocení měření

Pro celkové zhodnocení byla použita tabulka 33, ve které jsou uvedeny výsledky měření jednotlivých směrových oblouků a to konkrétně poloměr, příčný sklon, v_{85} , průměrná rychlost a odstředivé zrychlení vypočítané z naměřené rychlosti a poloměru měřených oblouků. Dále je v tabulce také uvedena návrhová rychlost, která vychází z výpočtu normy ČSN 73 6101 v závislosti na poloměru oblouku a příčném sklonu, odstředivé zrychlení vypočítané z této návrhové rychlosti a poloměru oblouku. V tabulce je také uvedena rychlost, kterou v daných poloměrech předpokládá portugalská norma. V úplně posledním sloupci je známá hodnota odstředivého zrychlení $a=0,11g$, kterou jako maximální hodnotu při návrhu doporučeného poloměru směrového oblouku tato norma předpokládá.

Tabulka 33 Srovnání naměřených výsledků s ČSN 73 6101 a Norma de Traçado [1],[6]

místo	R [m]	p [%]	v_{85} [km/h]	$v_{\emptyset}$ [km/h]	a [m/s ²]	ČSN 73 6101		Port.norma	
						v[km/h]	a [m/s ²]	v[km/h]	a [m/s ²]
Dvorska2	75	3,0	35	29	0,128g	27	0,079g	32	0,11g
Dvorska1	75	3,0	38	33	0,151g	27	0,079g	32	
Malešovice	75	6,5	49	43	0,252g	40	0,170g	32	
Průmyslová	125	3,5	60	53	0,227g	38	0,092g	42	
Silůvky	125	2,5	62	54	0,242g	32	0,066g	42	
Unkovice	275	3,0	67	58	0,128g	52	0,079g	62	

Z tabulky 33 vyplývají předpoklady, které jsou důležité zejména pro případné budoucí měření, a to zejména měření stejného oblouku (měření Dvorska) v různých časových podmínkách. Jak je vidět, hodnoty v_{85} , které se berou jako hlavní ukazatel, se liší u dvou různých měření pouze o 3 km/h (7,9 %). Na základě tohoto výsledku lze předpokládat, že další měření stejných směrových oblouků nebude nutné opakovat.

Dále bylo důležité porovnat dva různé směrové oblouky, ale o stejné hodnotě poloměru. Takovéto porovnání je u měření Dvorska 1 a Dvorska 2 s měřením Malešovice. Zde je viditelný větší rozdíl (22,5 %). Ten může být způsoben např. větším dostředným sklonem, který umožní rychlejší průjezd – vycházíme

z rovnice 1.11. Dále tyto podmínky porovnání splňuje měření Průmyslová s měřením Silůvky, kde je již rozdíl rychlostí v_{85} minimální a to v hodnotě 3,2 % (2 km/h).

Další důležitý fakt je vidět při srovnání výsledných rychlostí v_{85} se sloupcem tabulky, ve kterém jsou uvedeny rychlosti, které by podle normy měly být v daných směrových obloucích naměřeny (vycházíme z rovnice 1.12). Jak je vidět, dané rychlosti vypočítané dle ČSN jsou nižší až o 10 km/h, u větších poloměrů jsou rozdíly větší. Největší rozdíl je vidět u měření Silůvky, kde je rozdíl v_{85} s normovou rychlostí 48,4 %. Z toho vyplývá, že návrh dle ČSN nereflektuje následný skutečný stav a chování řidičů v reálném provozu. Je ovšem nutné podotknout, že norma definuje rychlost v_{85} na mokré vozovce, kdežto měření na mokré vozovce neprobíhalo. Zároveň je ale otázka, zda by norma měla uvažovat, že ve směrových obloucích bude mokrá vozovka. Problém zde vyvstává u faktu, že v zákoně č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, je uvedeno, že řidič má jízdu přizpůsobit dopravně technickému stavu vozovky. [8]

Srovnání s předpokládanými rychlostmi v Norma de Traçado vychází lépe, stále ovšem jsou naměřené rychlosti vyšší. Nejlépe vychází srovnání u oblouku Dvorská2, kde je rozdíl rychlostí 3 km/h (9,4 %). Naopak největší rozdíl nastal u měření oblouku Silůvky, kde rozdíl rychlostí činí 20 km/h (47,5 %).

Jako poslední zbývá porovnat naměřená odstředivá zrychlení s předpokládaným, resp. navrženým. Zde jsou rozdíly nejmarkantnější, např. u měření Silůvky je naměřené odstředivé zrychlení téměř 3x vyšší, než je předpoklad ČSN 73 6101 a také o 120 % vyšší než předpoklad portugalské normy. Nejbližší s předpokladem ČSN jsou hodnoty u měření Dvorská2 a Unkovice, kde rozdíl činí 63 % resp. 17 %. I z tohoto srovnání je patrné, že řidiči projíždí oblouky na nižší úrovni komfortu, než předpokládá norma.

5 MĚŘENÍ MOBITESTEM

Další měření probíhalo pomocí přístroje Mobitest. To je zařízení, které je schopno zaznamenávat svou polohu pomocí souřadnic. Mobitest vypočítává svou polohu až podle deseti satelitů, tudíž by se mělo jednat o velmi přesné určení polohy. Dále zaznamenává aktuální rychlost a vzdálenost uraženou mezi každým zápisem dat. Informací, které tento přístroj dokáže zaznamenat, je mnohem více, ale pro další měření a následné vyhodnocení plně dostačuje předcházející výčet. Ovšem důležité je, že zápis všech těchto dat probíhá pětkrát za vteřinu. [9]

5.1 Postup měření

Zařízení bylo umístěno do vozidla, které projelo určitou trasu. Pro měření byly vybrány následující trasy

- a) Rosice – Veselí nad Lužnicí (obrázek 18)

Trasa po silnici I/23. Délka přibližně 144 km. Intenzity na trase od 3 do 5 tisíc vozidel/den.

- b) Pelhřimov – Jindřichův Hradec – Veselí nad Lužnicí (obrázek 19)

Trasa po silnici I/34 a I/23. Délka přibližně 70 km. Intenzity na trase od 3,5 do 5 tisíc vozidel/den.

- c) Pelhřimov – Jindřichův Hradec – České Budějovice (obrázek 20)

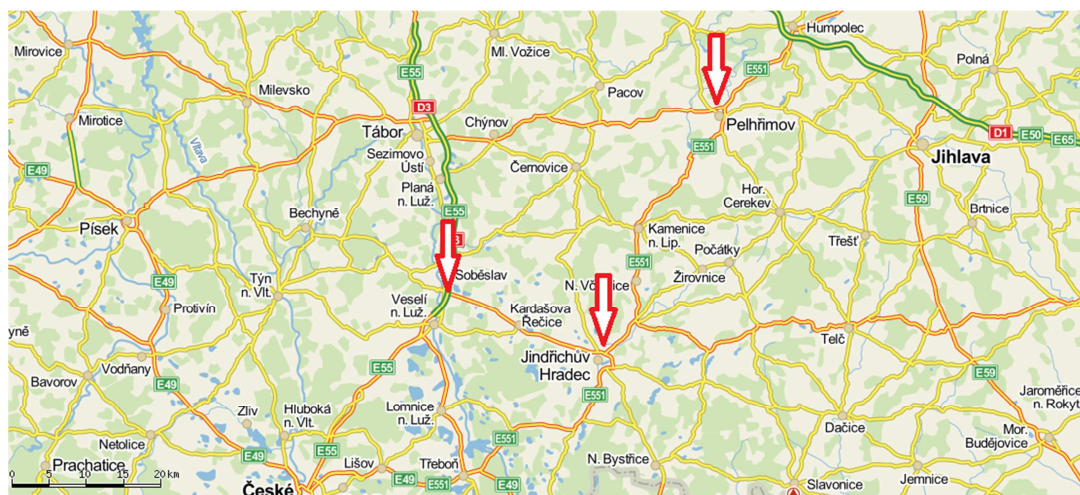
Trasa po silnici I/34. Délka přibližně 94 km. Intenzity na trase od 5 do 7 tisíc vozidel/den.

- d) Pelhřimov – Planá nad Lužnicí (obrázek 21)

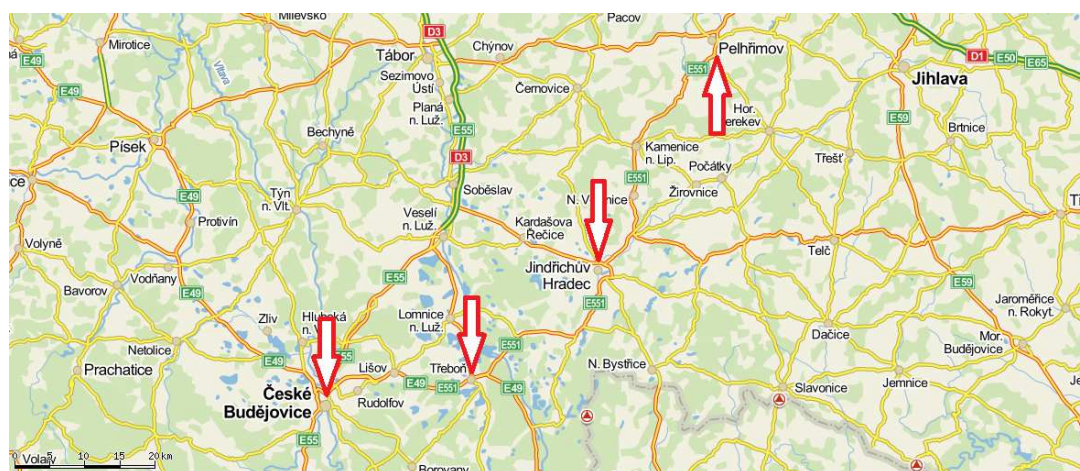
Trasa po silnici I/19 a II/409. Délka trasy přibližně 42 km. Intenzity na trase od 2 do 5,5 tisíc vozidel/den.



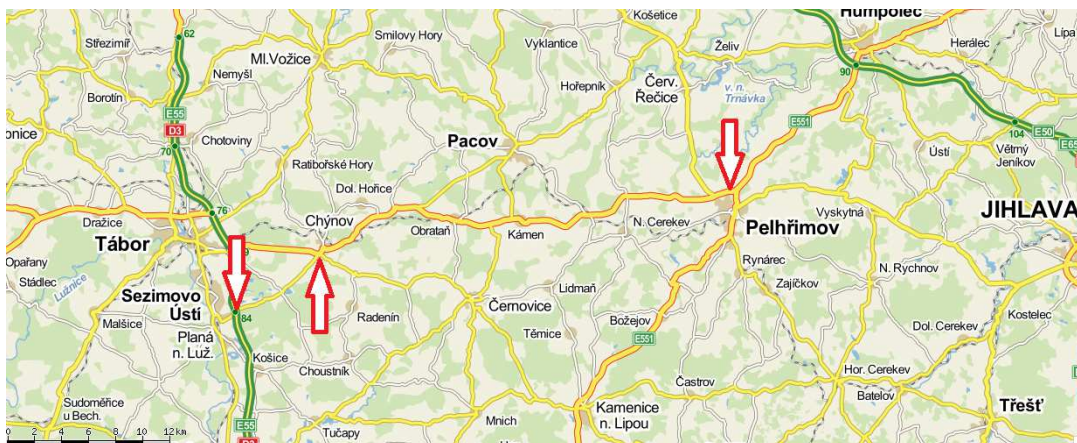
Obrázek 18 Trasa Rosice – Třebíč – Telč – Veselí nad Lužnicí [10]



Obrázek 19 Trasa Pelhřimov – Jindřichův Hradec – Veselí nad Lužnicí [10]



Obrázek 20 Trasa Pelhřimov – Jindřichův Hradec – Třeboň – České Budějovice [10]



Obrázek 21 Trasa Pelhřimov – Chýnov – Planá nad Lužnicí [10]

Celkem bylo najeto a zaznamenáno téměř tisíc kilometrů. Po získání těchto dat bylo nutné provést následující kroky.

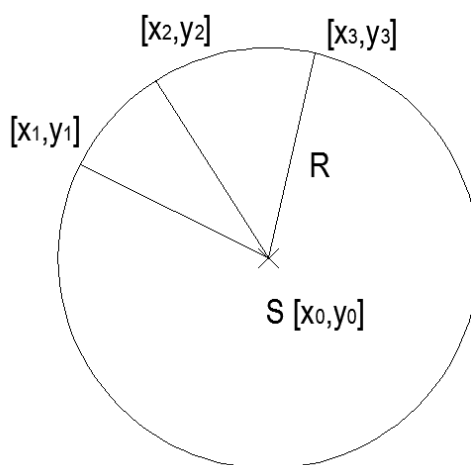
5.1.1 Transformace souřadnic WGS-84 do S-JTSK

Jelikož standartní GPS přístroj zaznamenává svou polohu v souřadnicích WGS-84, bylo nutné pro určité porovnání s mapovými podklady a pro snazší další počítání přetransformovat tyto souřadnice do systému S-JTSK. Vzhledem k široké problematice a k tomu, že tento výpočet není předmětem zkoumání, kterého se týká tato práce, nebude dále tento problém rozebírán. Veškeré informace je možno nalézt v publikaci Transformace souřadnic WGS-84 do systému S-JTSK, autor Doc. Ing. Zdeněk Hrdina, CSc. [11]

5.2 1. vyhodnocení měření

5.2.1 Metodologie

Po přetransformování souřadnic je možné provést výpočet poloměru směřového oblouku. Výpočet vychází z rovnice kružnice (například 5.1) [13], kdy ze známých tří bodů dopočítáme střed kružnice, čímž bude rovnou znám poloměr (obrázek 22).



Obrázek 22 Schéma kruhu a souřadnic počítaných bodů

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = R^2 \quad 5.1$$

$$(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 = R^2 \quad 5.2$$

$$(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = R^2 \quad 5.3$$

Tyto tři rovnice kruhu dále upravíme na tvar:

$$x_1^2 - 2 * x_1 * x_0 + x_0^2 + y_1^2 - 2 * y_1 * y_0 + y_0^2 = R^2 \quad 5.4$$

$$x_2^2 - 2 * x_2 * x_0 + x_0^2 + y_2^2 - 2 * y_2 * y_0 + y_0^2 = R^2 \quad 5.5$$

$$x_3^2 - 2 * x_3 * x_0 + x_0^2 + y_3^2 - 2 * y_3 * y_0 + y_0^2 = R^2 \quad 5.6$$

Po další matematické úpravě (odečtení 5.5 od 5.4 a odečtení 5.6 od 5.5) získáme následující rovnice:

$$x_1^2 - 2 * x_1 * x_0 + y_1^2 - 2 * y_1 * y_0 - x_2^2 + 2 * x_2 * x_0 - y_2^2 + 2 * y_2 * y_0 = 0 \quad 5.7$$

$$x_2^2 - 2 * x_2 * x_0 + y_2^2 - 2 * y_2 * y_0 - x_3^2 + 2 * x_3 * x_0 - y_3^2 + 2 * y_3 * y_0 = 0 \quad 5.8$$

Poté následuje další početní úprava:

$$(2 * x_2 - 2 * x_1) * x_0 + (2 * y_2 - 2 * y_1) * y_0 + x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 = 0 \quad 5.9$$

$$(2 * x_3 - 2 * x_2) * x_0 + (2 * y_3 - 2 * y_2) * y_0 + x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 = 0 \quad 5.10$$

Pro zpřehlednění rovnice zavedeme následující substituce:

$$a = 2 * x_2 - 2 * x_1 \quad 5.11$$

$$b = 2 * y_2 - 2 * y_1 \quad 5.12$$

$$c = x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 \quad 5.13$$

$$d = 2 * x_3 - 2 * x_2 \quad 5.14$$

$$e = 2 * y_3 - 2 * y_2 \quad 5.15$$

$$f = x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2 \quad 5.16$$

Tyto substituce dosadíme a dále upravujeme až na tvar:

$$a * x_0 + b * y_0 + c = 0 \quad 5.17$$

$$d * x_0 + e * y_0 + f = 0 \quad 5.18$$

$$x_0 + \frac{b}{a} * y_0 + \frac{c}{a} = 0 \quad 5.19$$

$$x_0 + \frac{e}{d} * y_0 + \frac{f}{d} = 0 \quad 5.20$$

$$\left(\frac{b}{a} - \frac{e}{d}\right) * y_0 + \frac{c}{a} - \frac{f}{d} = 0 \quad 5.21$$

$$y_0 = \frac{f/d - c/a}{b/a - e/d} \quad 5.22$$

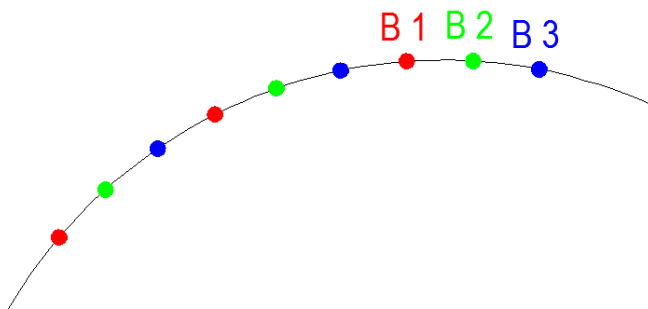
$$x_0 = -\frac{b}{a} * y_0 - \frac{c}{a} \quad 5.23$$

$$R = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad 5.24$$

Když se dosadí vypočítané souřadnice středu kružnice x_0, y_0 (rovnice 5.22 a rovnice 5.23) do rovnice 5.24 (upravená rovnice 5.1), získáme hledaný poloměr.

Vzhledem k tomu, že Mobitest zaznamenává 5 poloh za vteřinu, byly by tři po sobě jdoucí body nepřesné. Proto výpočet výsledného poloměru vychází z následujících předpokladů.

Pro přesnost bylo zvoleno, že poloměr bude počítán ze tří dílčích poloměrů, kde každý poloměr bude počítán ze tří bodů. Neberou se ale body přímo za sebou, nýbrž každý třetí. Schéma je vidět na obrázku 23 – spočítáme poloměr (dle výpočtu, který je uveden výše) pro bod B 1. Výpočet pro tento poloměr je proveden ze tří „červených bodů“. To samé uděláme pro bod B 2, zde jsou ale použity „zelené body“. To samé se provede pro bod B 3, tentokrát použijme „modré body“.



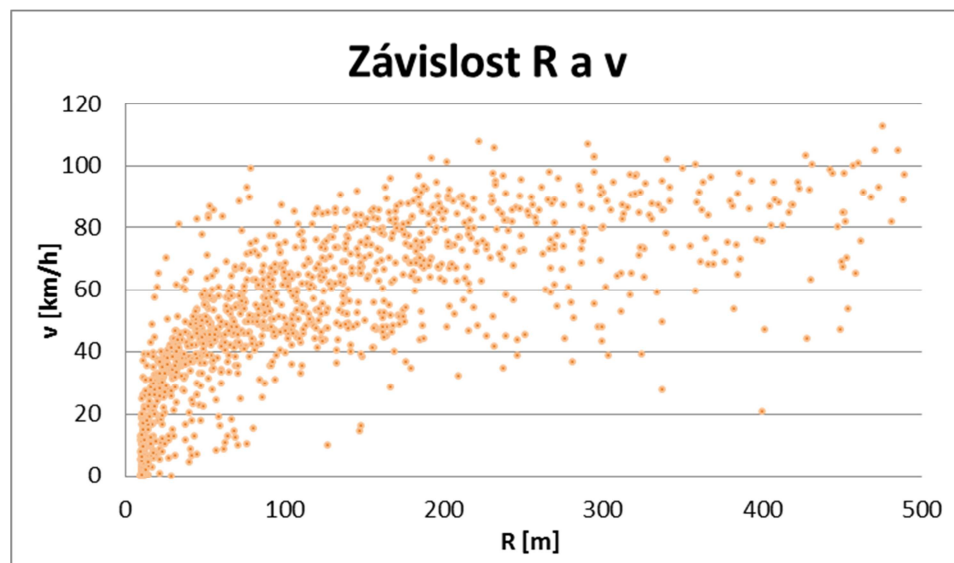
Obrázek 23 Schéma bodů při výpočtu poloměru směrového oblouku

o více jak 10 m, je tento poloměr brán jako neplatný a tudíž se nezapočítává. Při běžné rychlosti (cca 70 km/h), byly body snímány přibližně po vzdálenosti 3,5 m. To znamená, že pro zaznamenání poloměru musel být projet touto rychlostí oblouk o délce minimálně 31,5 m neměnného poloměru. Toto platí pouze pro výše uvedenou rychlost 70 km/h, pro ostatní rychlosti (vyšší i nižší) se tato vzdálenost zvyšuje, respektive snižuje.

5.2.2 Výstup měření

Jako výstup měření byl vyhotoven graf (graf 22), ve kterém jsou vyneseny rychlosti v jednotlivých poloměrech směrových oblouků.

Graf je omezen pro poloměry od 10 do 490 m. Dolní hranice je z důvodu toho, aby se vyselektovaly poloměry 0, které značí přímou. Horní hranice byla zvolená v této hodnotě proto, že při větších poloměrech už řidič nemusí snižovat svou rychlost.



Graf 22 Schéma bodů při výpočtu poloměru směrového oblouku

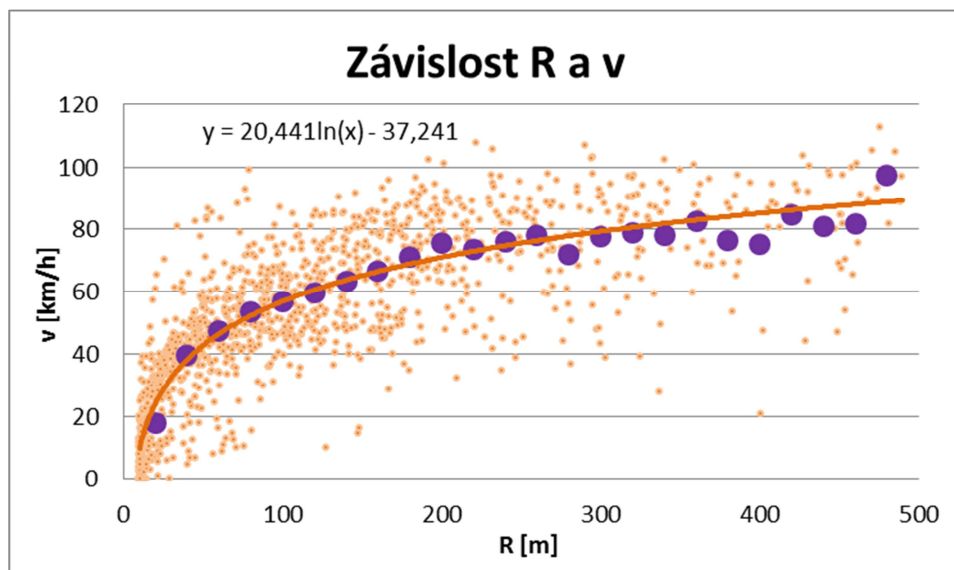
Při dalším vyhodnocování těchto dat byly poloměry rozděleny do dílčích skupin dle velikosti. Jako optimální se jevilo rozdělení poloměrů po 20 m. Poté byla pro každou skupinu poloměrů spočítána průměrná rychlost. Tyto hodnoty jsou přehledně vyobrazeny v tabulce 34. Je zde také uveden počet oblouků spadajících do dané skupiny. Celkem bylo spočítáno 1 261 směrových oblouků.

Tabulka 34 Průměrné rychlosti pro skupiny poloměrů.

R [m]	v_{prům} [km/h]	počet oblouků	R [m]	v_{prům} [km/h]	počet oblouků
10 - 30	18	259	250 - 270	78	21
30 - 50	40	142	270 - 290	72	24
50 - 70	47	116	290 - 310	78	21
70 - 90	53	94	310 - 330	79	24
90 - 110	57	88	330 - 350	78	14
110 - 130	60	72	350 - 370	82	14
130 - 150	63	70	370 - 390	77	11
150 - 170	67	65	390 - 410	75	10
170 - 190	71	65	410 - 430	85	9
190 - 210	76	46	430 - 450	81	8
210 - 230	74	33	450 - 470	82	13
230 - 250	76	35	470 - 490	98	7

Dále byly tyto hodnoty také zobrazeny v grafu 23 s jednotlivými rychlostmi v závislosti na poloměru.

V grafu 23 jsou tedy vyobrazeny jednotlivé rychlosti v závislosti na velikosti směrového oblouku. Dále jsou zde zobrazeny průměrné rychlosti, spadající do jednotlivých skupin velikostí poloměrů. Hodnoty jsou vyobrazeny v místě střední hodnoty velikostí poloměrů směrových oblouků.



Graf 23 Závislost rychlosti na poloměru oblouku (s průměrnými hodnotami)

Dále bylo vhodné najít funkci popisující již vypočítanou průměrnou rychlost. Po delším zkoumání byla vybrána logaritmická křivka, která nejlépe popisuje onu průměrnou rychlost. Jak je vidět v grafu, menší rozdíly začínají být až u vyšších poloměrů, to je ale způsobeno tím, že v těchto hodnotách je již menší množství směrových oblouků, tudíž jsou zde průměrné hodnoty méně přesné. Jak je patrné z grafu, tato závislost je popsána následující funkcí (rovnice 5.25).

$$y = 20,441 * \ln(x) - 37,241 \quad 5.25$$

Výsledné hodnoty mohou být ovlivněny průjezdem obcí, kde je maximální dovolená rychlost 50 km/h. Další omezení mohou být při jízdě za pomalým vozidlem nebo jiná rychlostní omezení na pozemních komunikacích. Tato omezení mohou ovlivnit výsledný graf tím, že budou nižší hodnoty u poloměrů, kde by za jiných okolností byly rychlosti vyšší. To by ale v celkovém množství směrových oblouků, které byly projety, nemělo hrát výraznou roli.

5.3 2. vyhodnocení měření

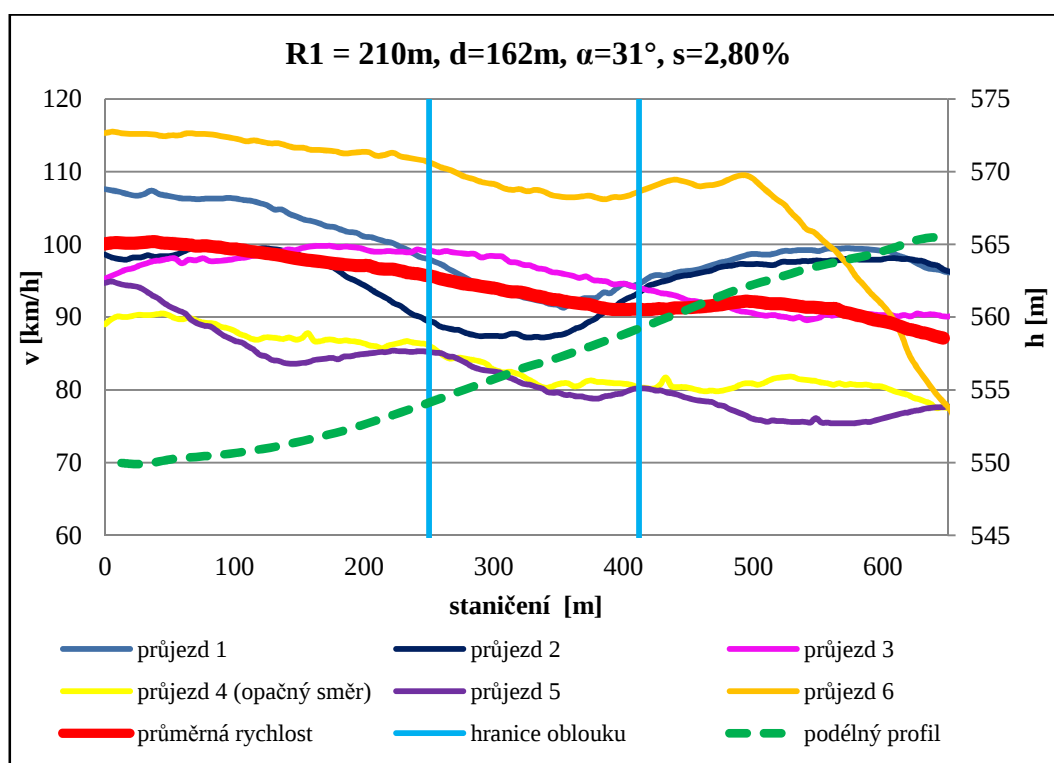
Při tomto vyhodnocení byly nejprve vybrány směrové oblouky na měřené trase. Vybrány byly takové oblouky, kde byl předpoklad co nejmenšího ovlivnění dosažené rychlosti okolními prvky. Jako nejdůležitější bylo považováno, aby před a za obloukem následoval přímý úsek a nedošlo tak vlivem sousedního oblouku ke snížení rychlosti. Toto byl také největší problém, protože reálna trasa je nejčastěji složená z oblouků s krátkými přímými úseky. Navzdory tomu se podařilo najít několik vhodných směrových oblouků.

Poté byl spočítán poloměr oblouku a to ze známých souřadnic a následným proložením bodů ve výpočetním softwaru. Tento poloměr byl následně ověřen pomocí ortofotomapy. Pro vykreslení průběhu rychlosti a podélného profilu byl zvolen úsek 250 m před a za obloukem. Podélný profil byl vynesena na základě výškových souřadnic, které mobitest také zaznamenává. Všechny grafy s výsledky jsou uvedeny v následující kapitole.

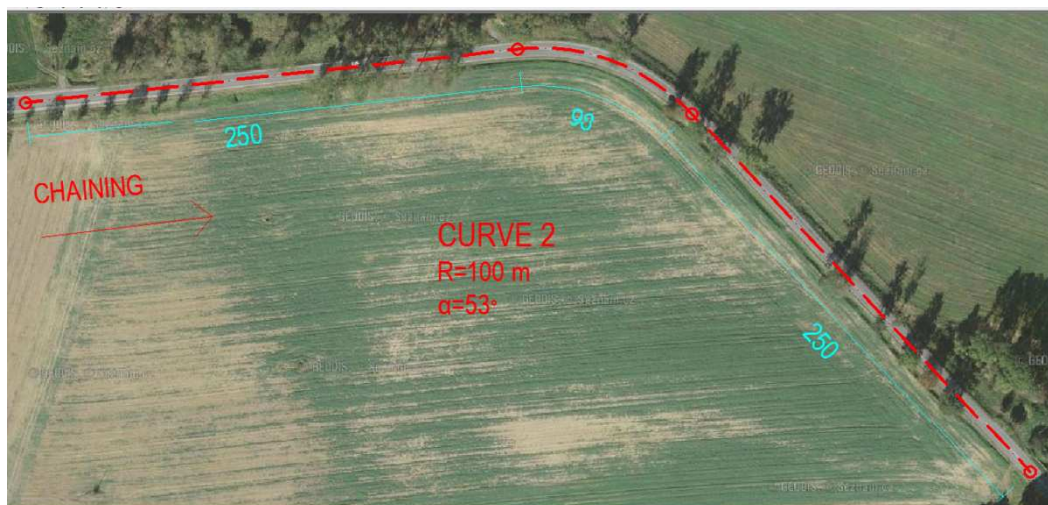
5.3.1 Zpracování grafů



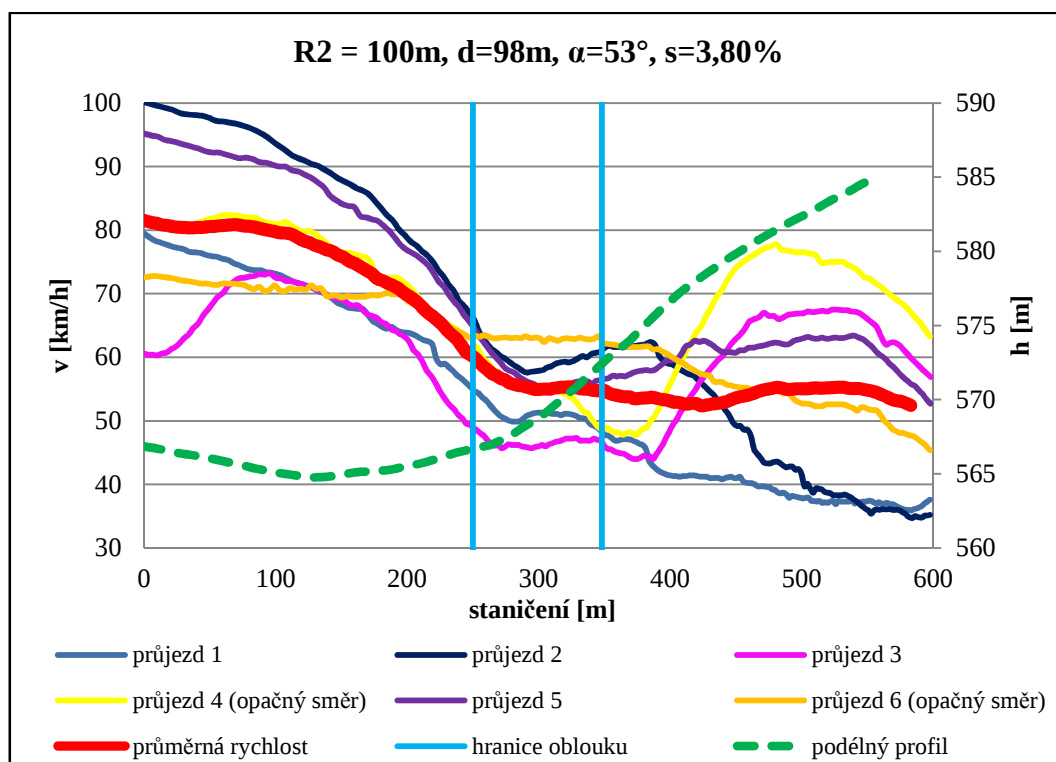
Obrázek 24 Schéma směrového oblouku č. 1 [10]



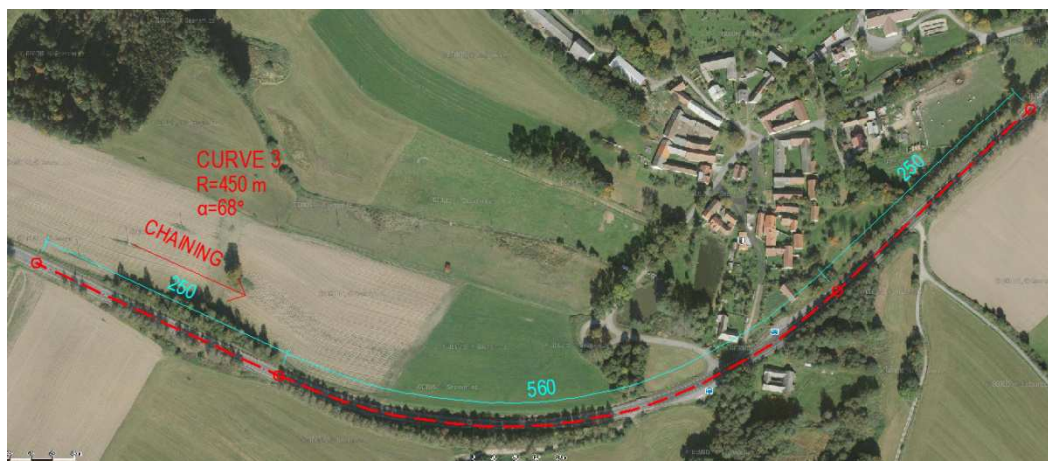
Graf 24 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 1



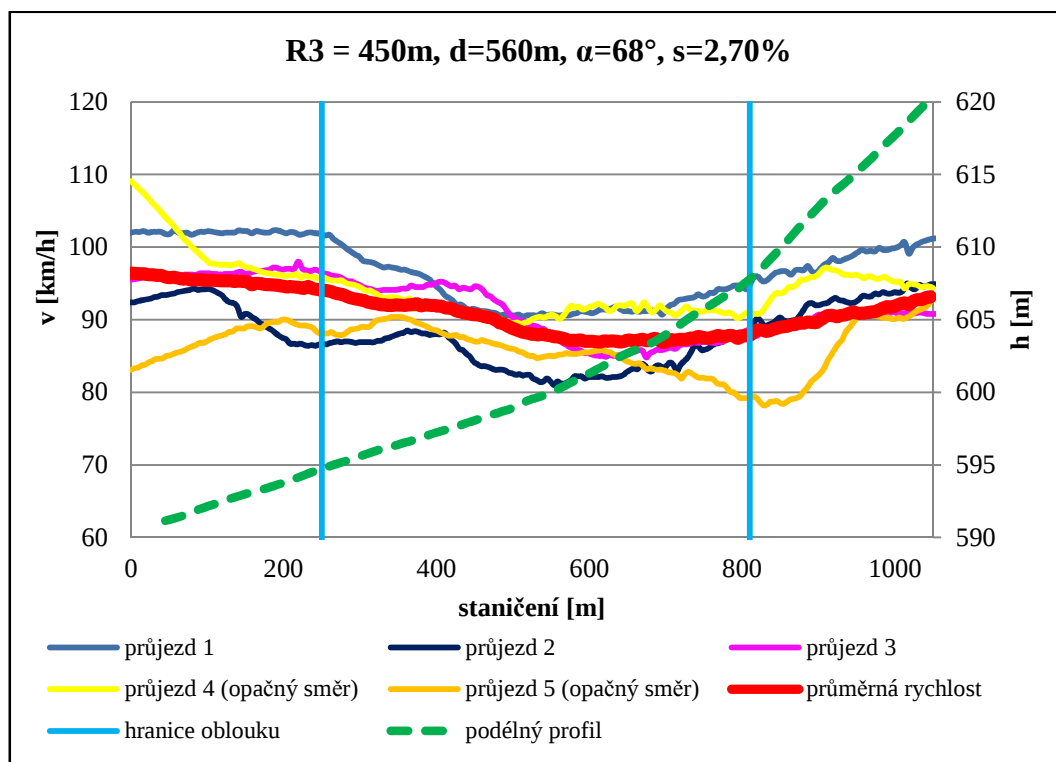
Obrázek 25 Schéma směrového oblouku č. 2 [10]



Graf 25 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 2



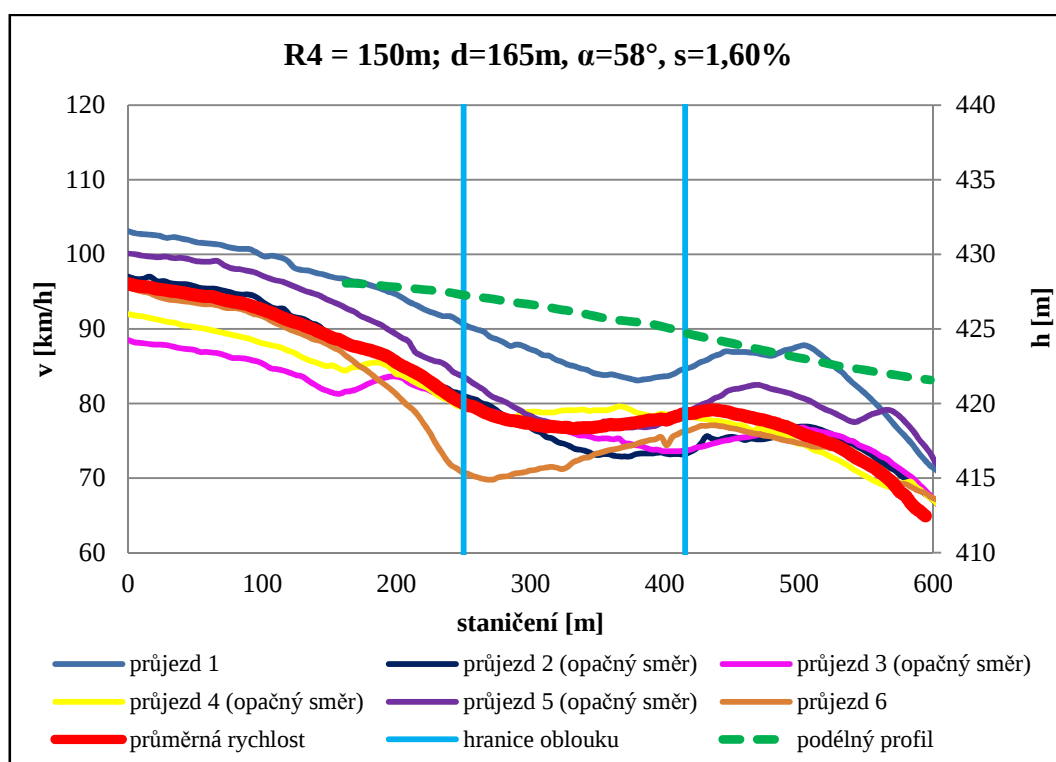
Obrázek 26 Schéma směrového oblouku č. 3 [10]



Graf 26 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 3



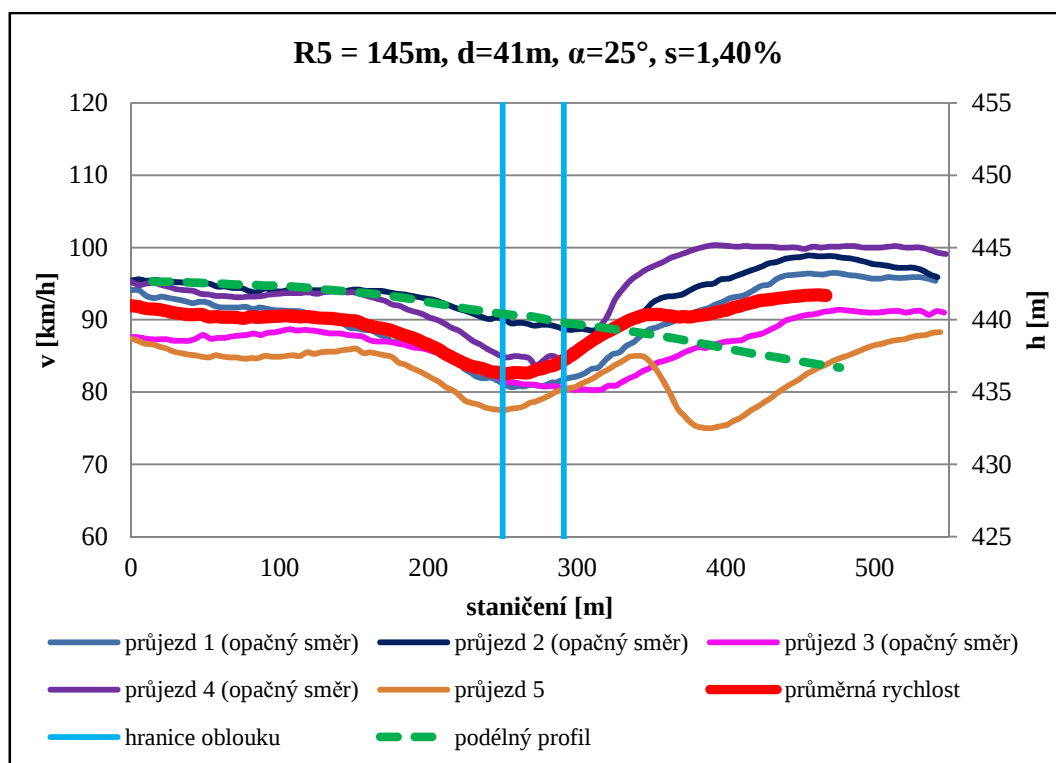
Obrázek 27 Schéma směrového oblouku č. 4 [10]



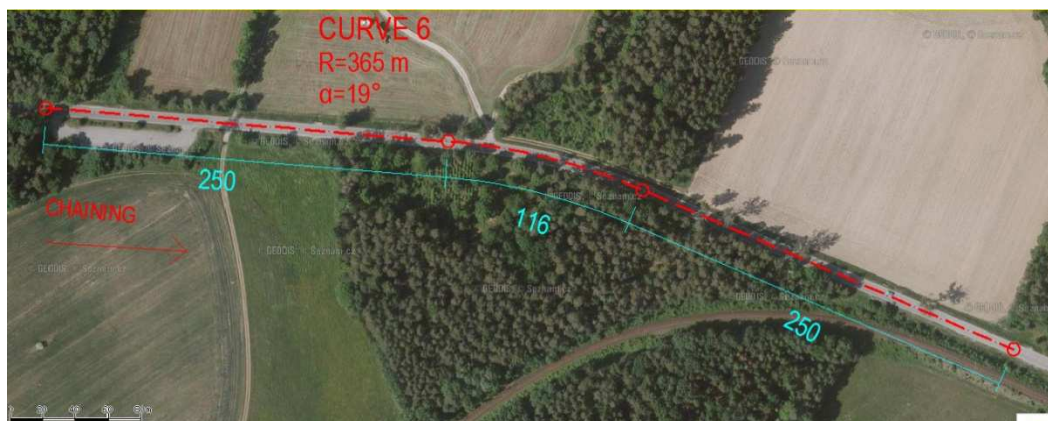
Graf 27 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 4



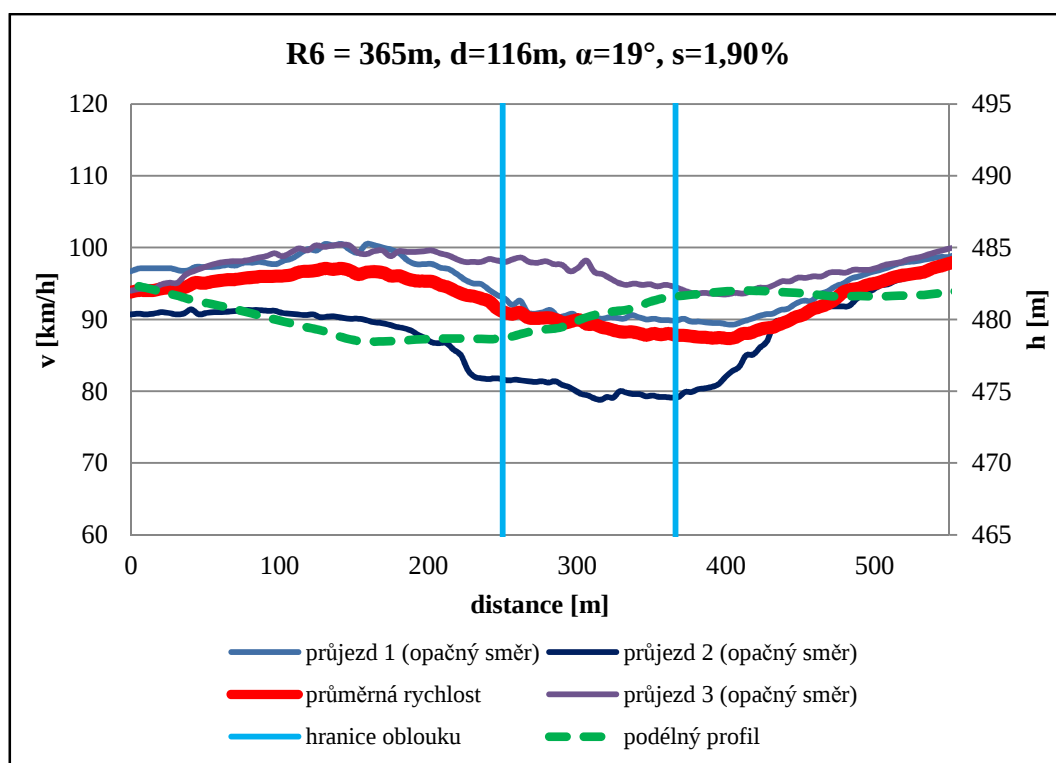
Obrázek 28 Schéma směrového oblouku č. 5 [10]



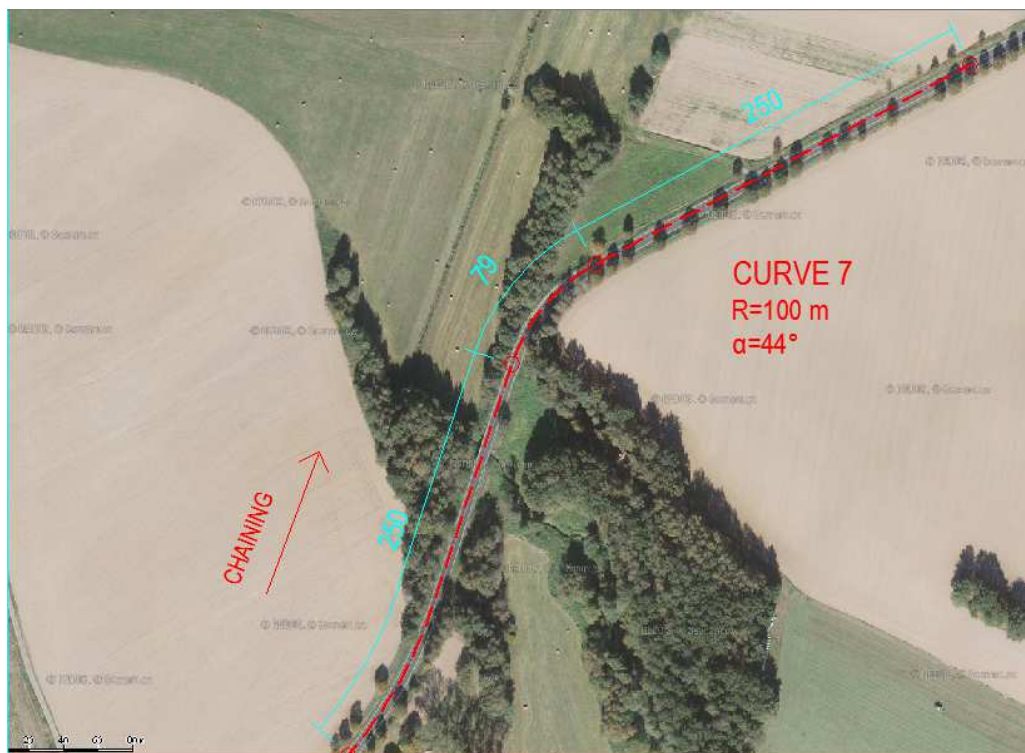
Graf 28 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 5



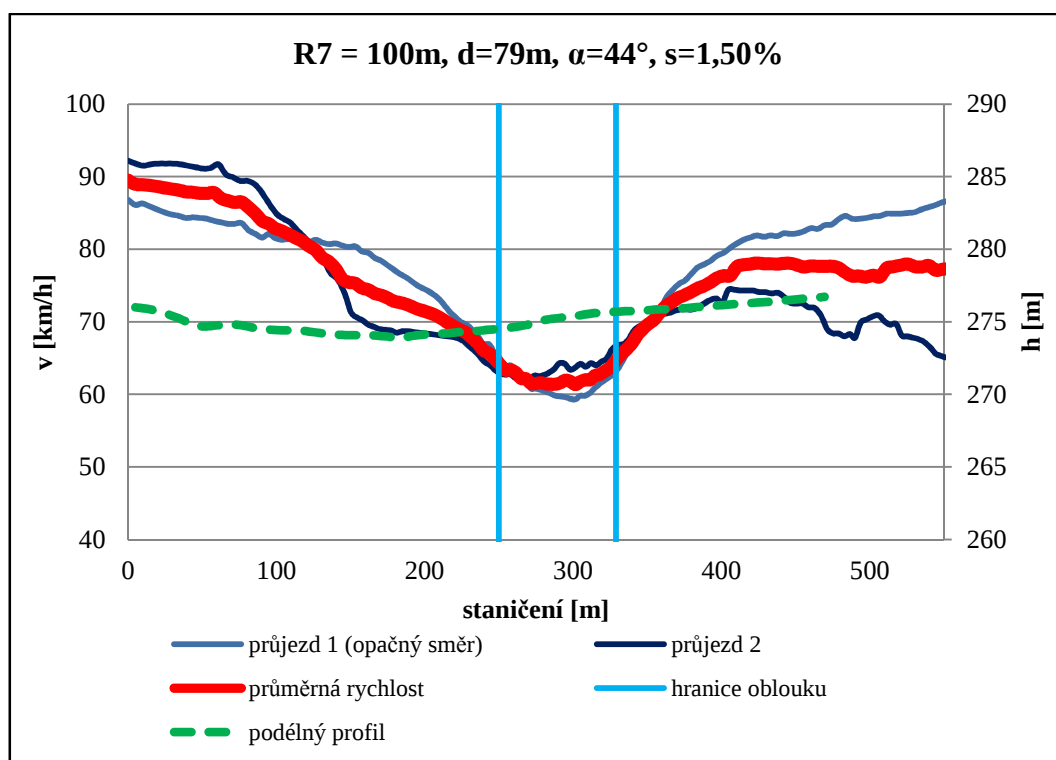
Obrázek 29 Schéma směrového oblouku č. 6 [10]



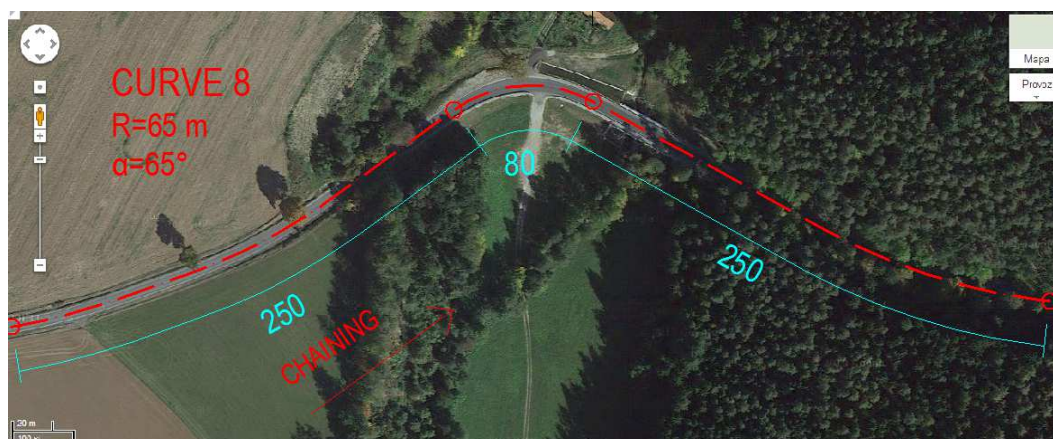
Graf 29 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 6



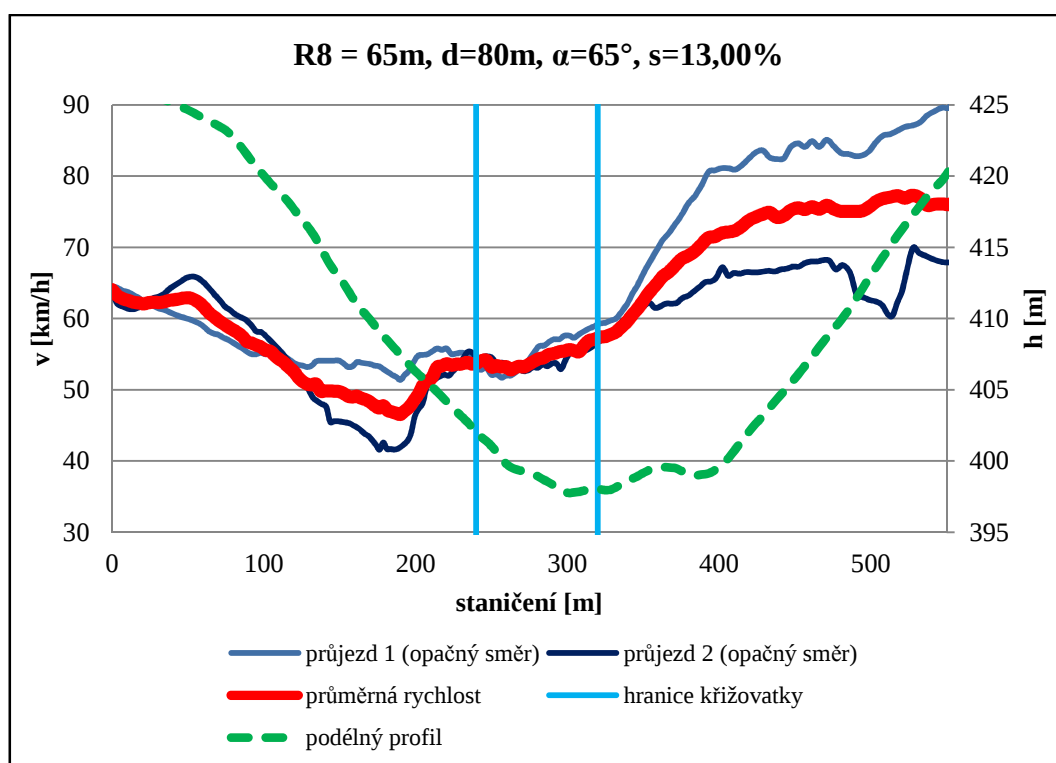
Obrázek 30 Schéma směrového oblouku č. 7 [10]



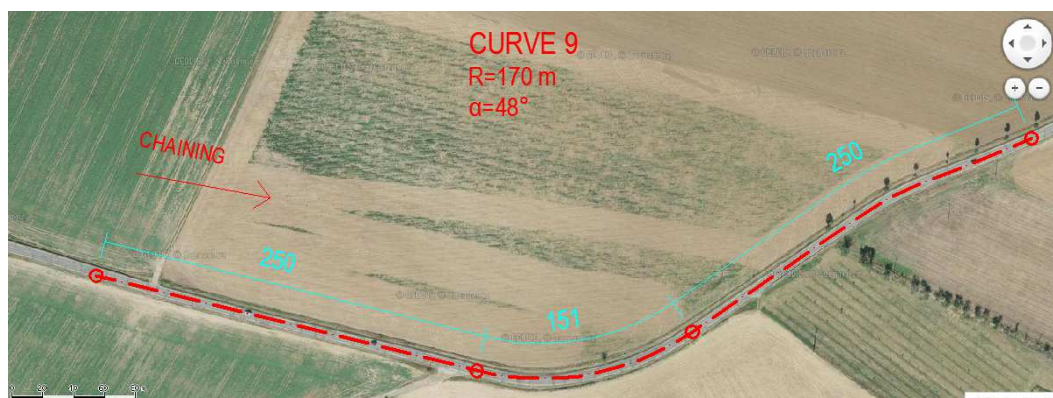
Graf 30 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 7



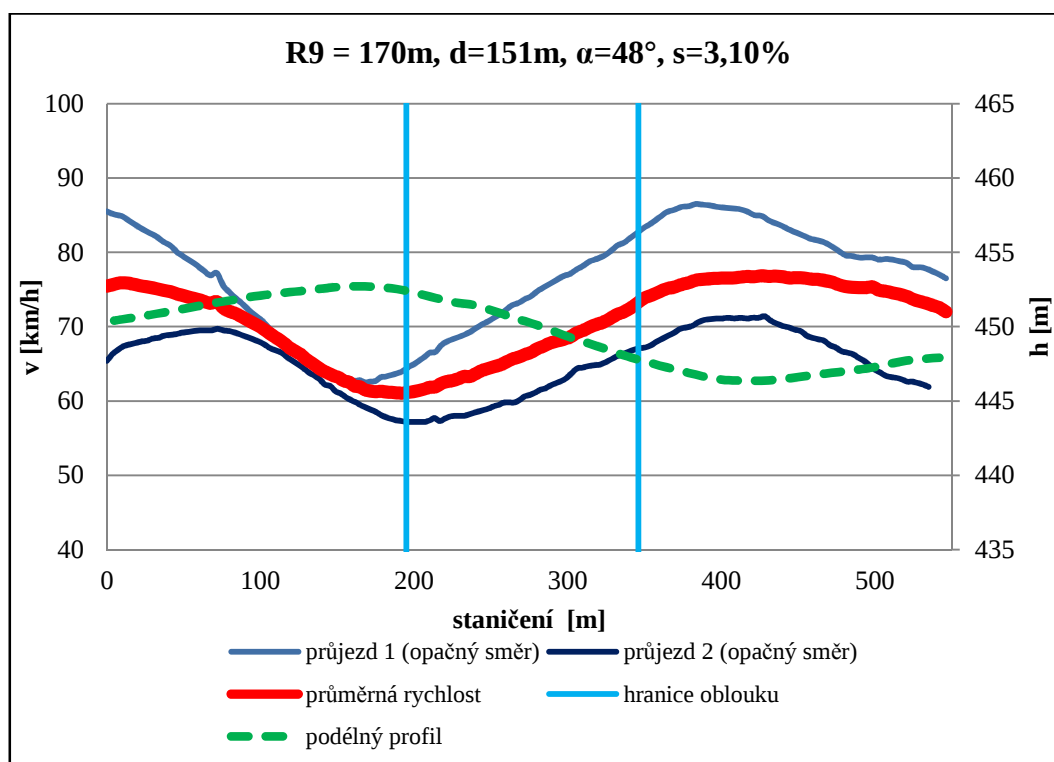
Obrázek 31 Schéma směrového oblouku č. 8 [12]



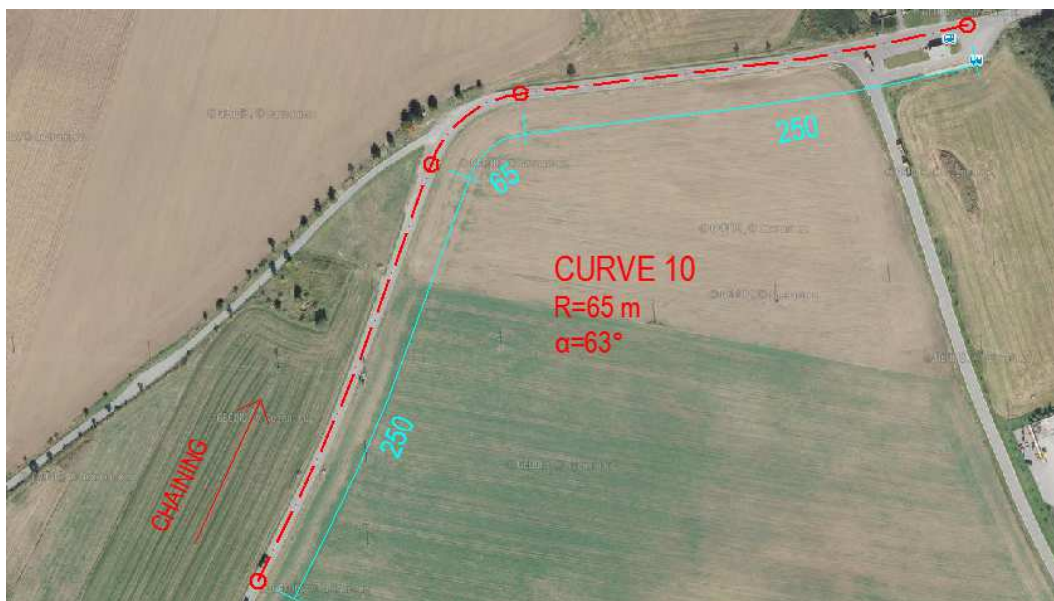
Graf 31 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 8



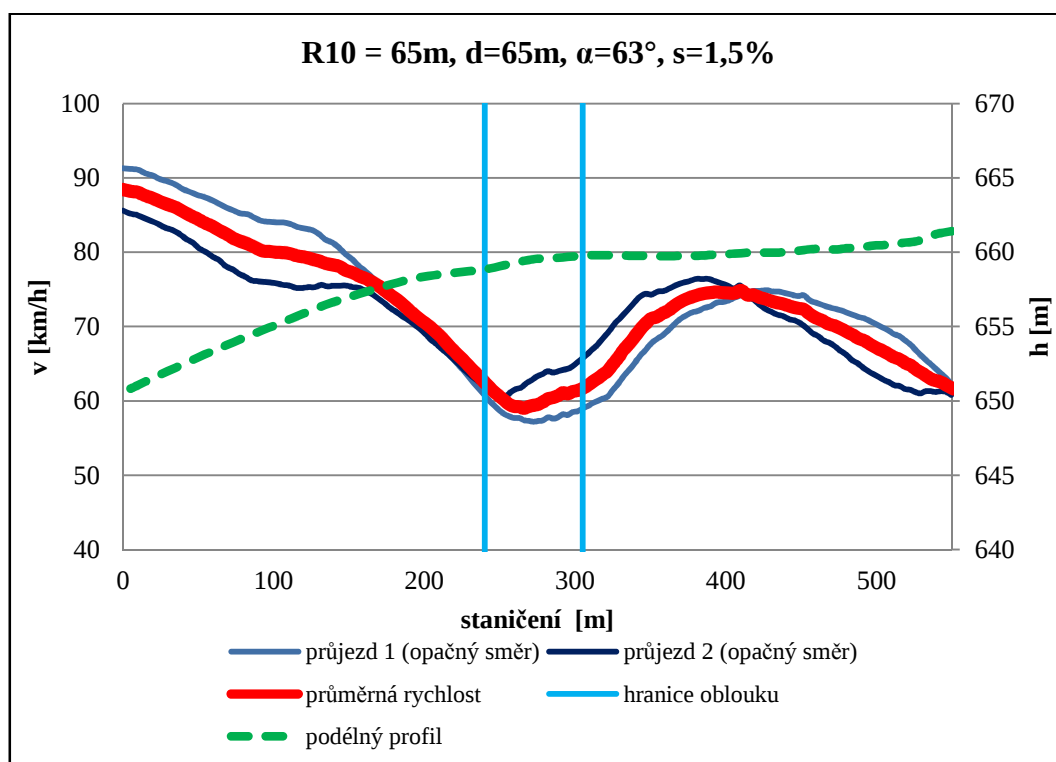
Obrázek 32 Schéma směrového oblouku č. 9 [10]



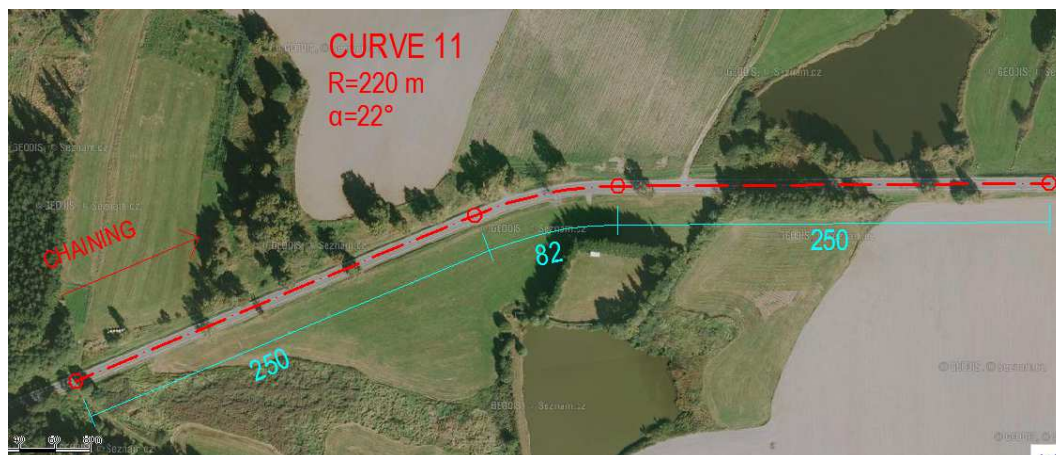
Graf 32 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 9



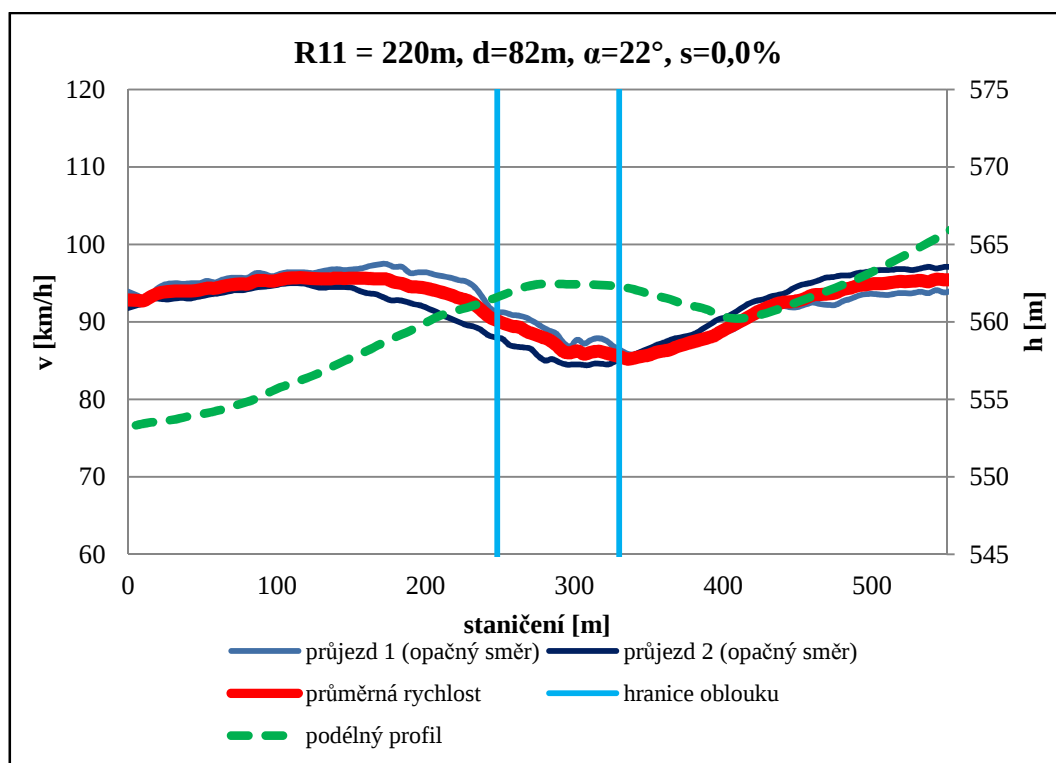
Obrázek 33 Schéma směrového oblouku č. 10 [10]



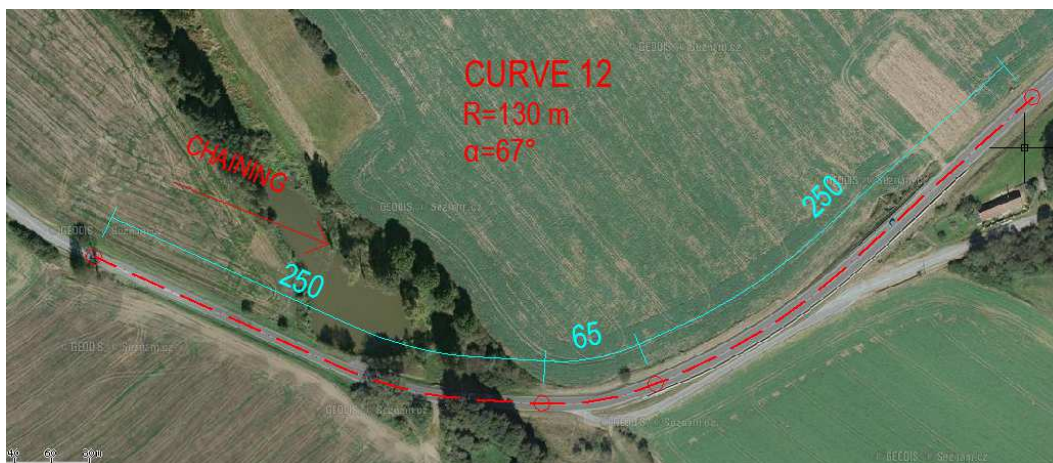
Graf 33 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 10



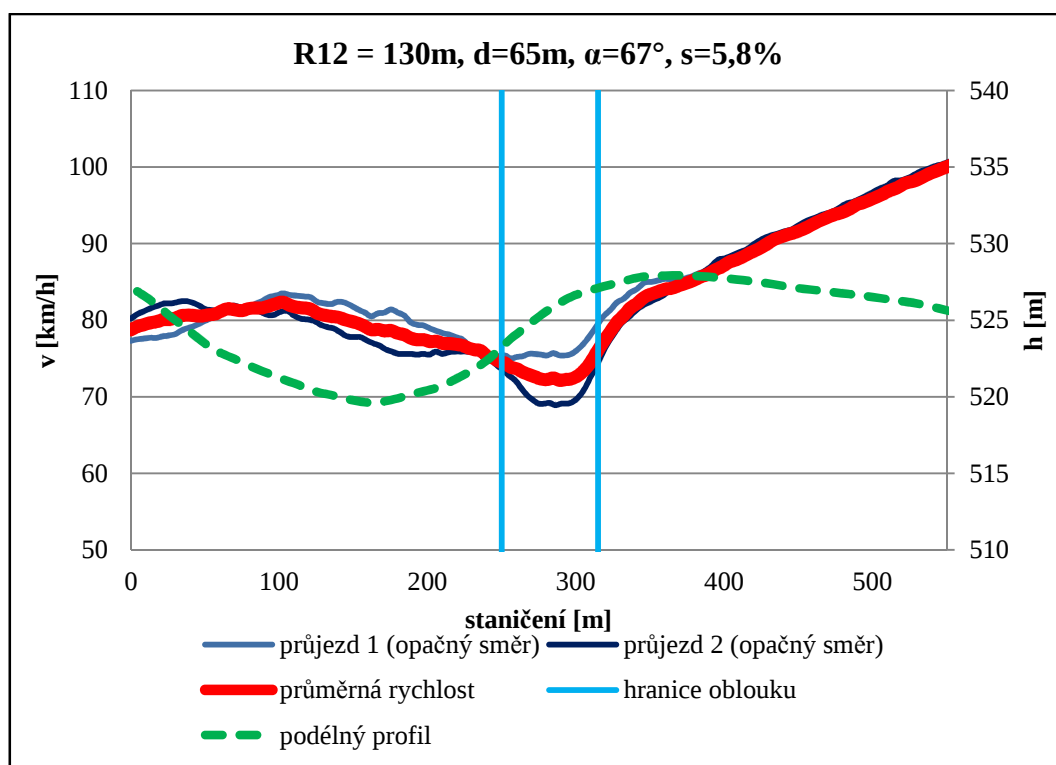
Obrázek 34 Schéma směrového oblouku č. 11 [10]



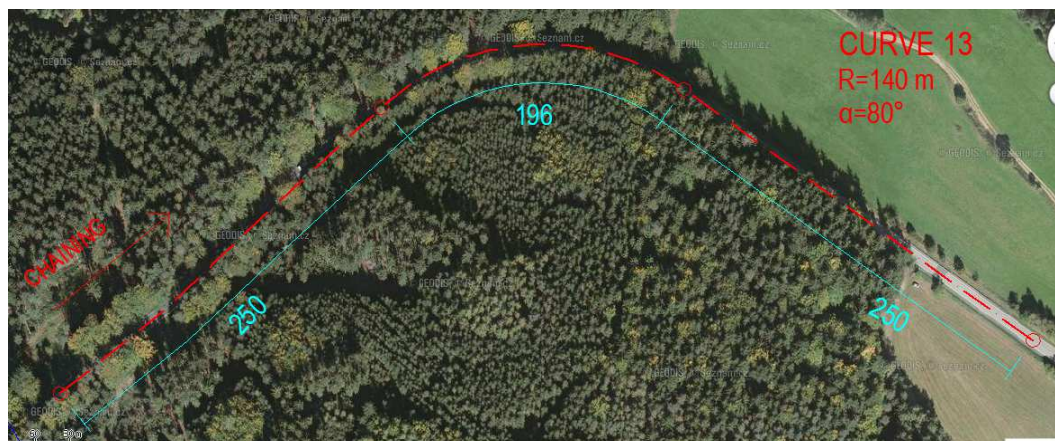
Graf 34 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 11



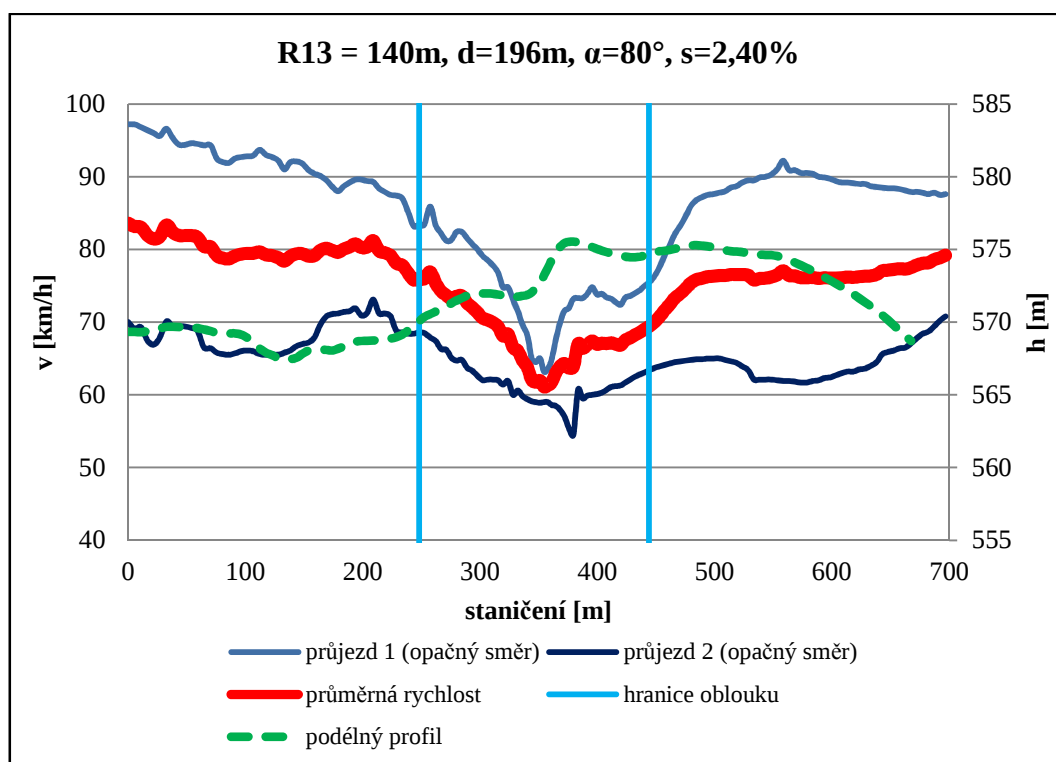
Obrázek 35 Schéma směrového oblouku č. 12 [10]



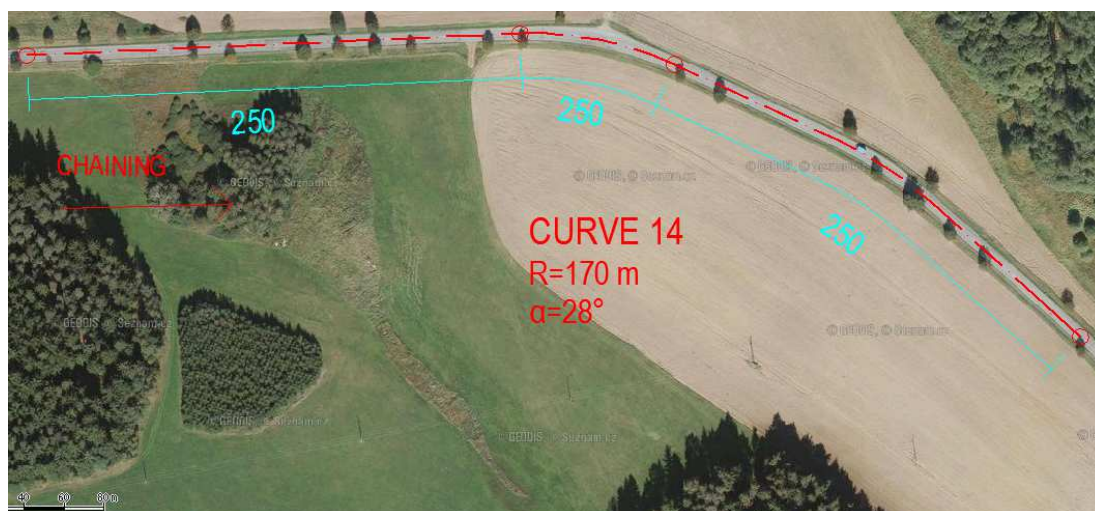
Graf 35 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 12



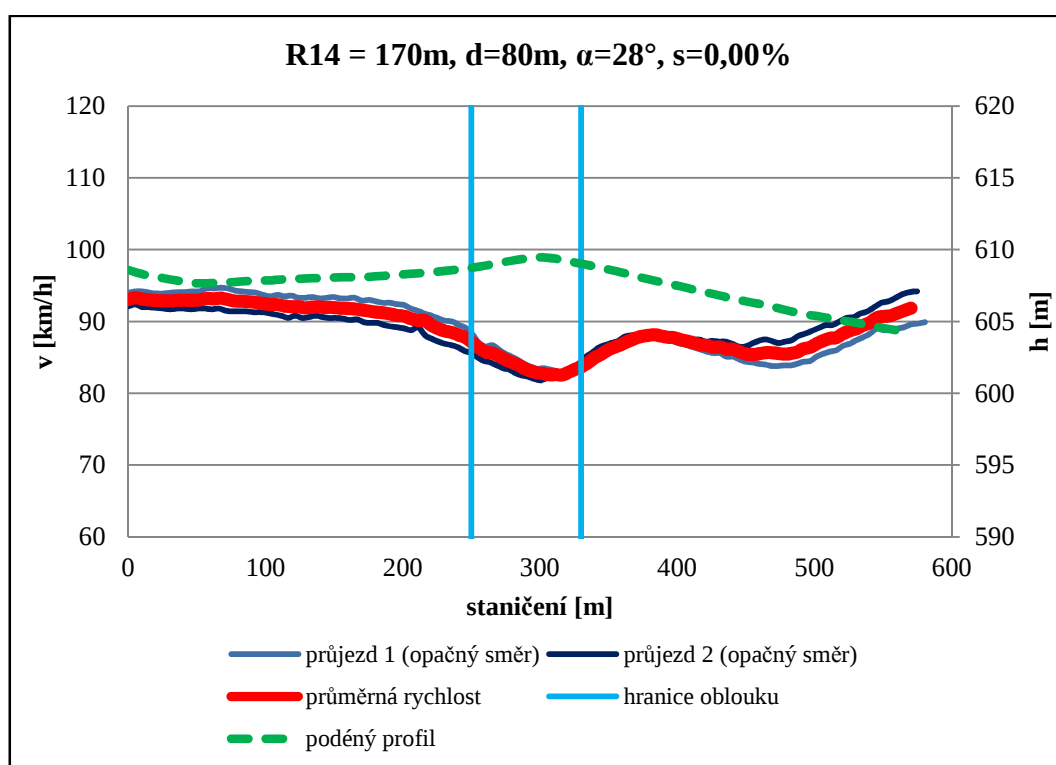
Obrázek 36 Schéma směrového oblouku č. 13 [10]



Graf 36 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 13



Obrázek 37 Schéma směrového oblouku č. 14 [10]



Graf 37 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 14

Všechny tyto grafy byly zpracovány dle postupu, který je popsán výše. Většinou byly vybrány vhodné směrové oblouky, ovšem u některých mají na rychlost vliv i jiné parametry než jen poloměr. Jako největší nevýhoda tohoto zpracování je, že některé směrové oblouky byly měřeny pouze dvakrát, ovšem i přesto jsou

výsledky odpovídající a pro tuto práci dostačující.

5.3.2 Výstup z měření

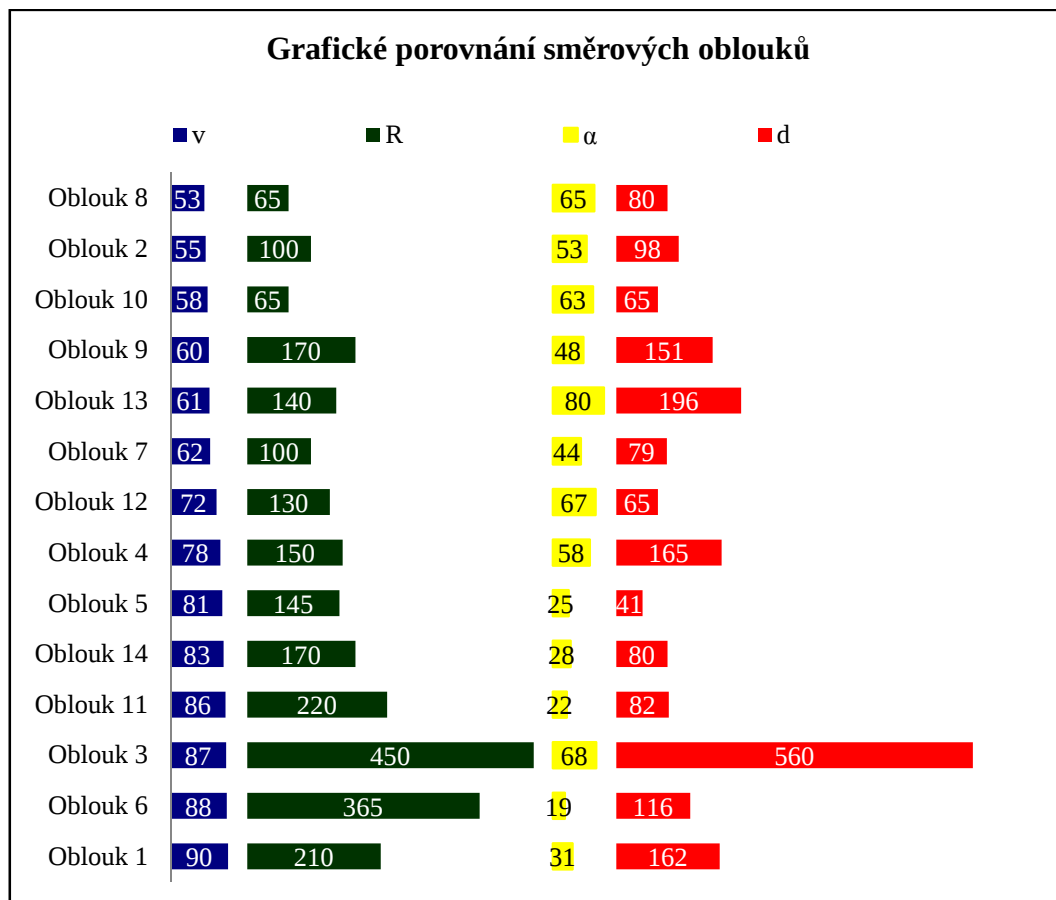
V tabulce 35 je uveden souhrn výsledků z tohoto měření. Hodnoty jsou seřazeny podle poloměrů od nejmenšího k největšímu. V tabulce je také uvedeno, jaké rychlosti a odstředivé zrychlení předpokládají obě normy pro tyto poloměry. Rychlost, kterou v daném poloměru předpokládá ČSN, byla určena na základě interpolace mezi dvěma nejbližšími poloměry (a k nim příslušným návrhovým rychlostem) v maximálním přípustném příčném sklonu, který udává norma (např. tabulka 7). To znamená, že např. pro oblouk č. 2 (poloměr 100 m), byly z normy vybrány poloměry 70 m (příčný sklon 7 %, návrhová rychlost 40 km/h) a poloměr 110 m (příčný sklon 7 %, návrhová rychlost 50 km/h) a následně byla mezi těmito hodnotami určena rychlost interpolací pro poloměr 100 m. Portugalské rychlosti jsou uvedeny pro minimální poloměry (příčný sklon se uvažuje 7 %). Výpočet těchto rychlostí je stejný jako v případě ČSN.

Zde je ještě vhodné dodat, že předpoklady rychlostí z normy se uvádějí pro maximální příčný sklon, který je v portugalské normě 7 %, v české normě je také 7 % pro návrhové rychlosti do 50 km/h včetně, 6,5 % pro návrhovou rychlost 60 km/h a dále už jen 6 %. Dle zkušeností z měření stacionárními, kde byl příčný sklon měřen, se nechá konstatovat, že tento maximální příčný sklon nebude ve všech obloucích dosažen. Jak je ale vidět na výsledcích, ani předpokládané rychlosti s tímto maximálním příčným sklonem u většiny porovnání nedosahují hodnot, které byly získané měřením.

Tabulka 35 Výsledky zpracovaných oblouků [1],[6]

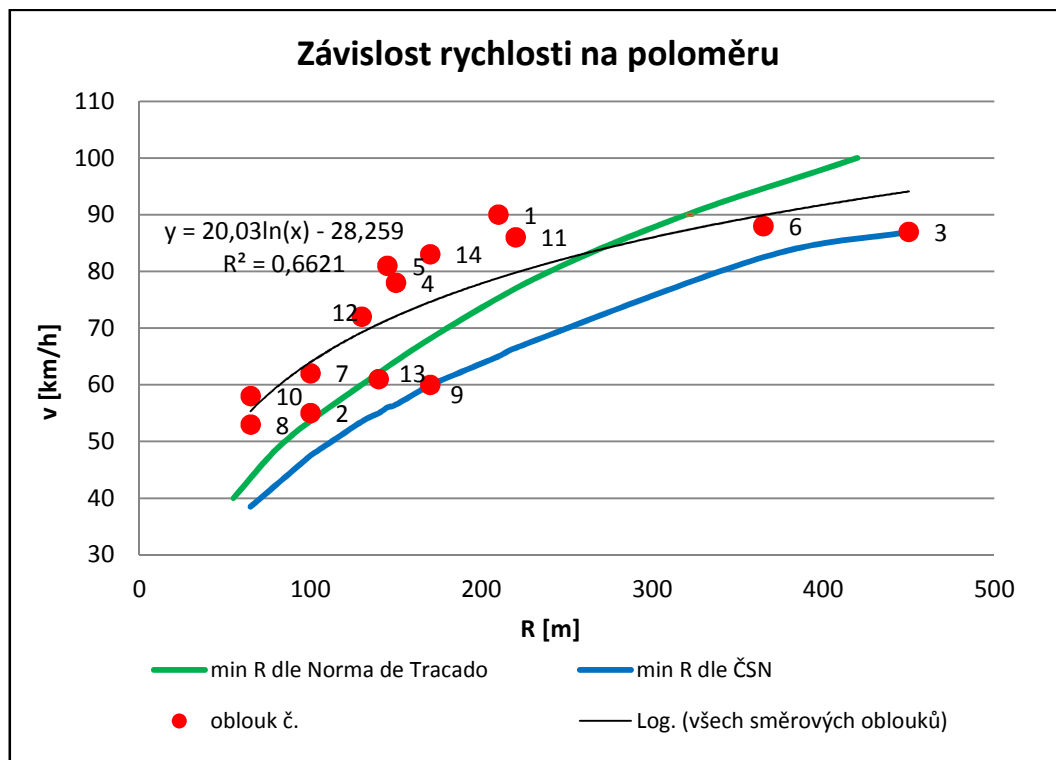
Oblouk č.	R [m]	d [m]	α [°]	s [%]	v_0 [km/h]	a [m/s ²]	ČSN 73 6101		Norma de Tracado	
							v [km/h]	a [m/s ²]	v [km/h]	a [m/s ²]
10	65	65	63	1,5	58	0,407g	38,5	0,179g	43,5	0,229g
8	65	80	65	13,0	53	0,340g	38,5	0,179g	43,5	0,229g
7	100	79	44	1,5	62	0,302g	47,5	0,177g	53,5	0,225g
2	100	98	53	3,8	55	0,238g	47,5	0,177g	53,5	0,225g
12	130	65	67	5,8	72	0,314g	53,5	0,173g	60,0	0,218g
13	140	196	80	2,4	61	0,209g	55,0	0,170g	62,0	0,216g
5	145	41	25	1,4	81	0,356g	56,0	0,170g	63,0	0,215g
4	150	165	58	1,6	78	0,319g	56,5	0,167g	64,0	0,215g
9	170	151	48	3,1	60	0,167g	60,0	0,167g	68,0	0,214g
14	170	80	28	0,0	83	0,319g	60,0	0,167g	68,0	0,214g
1	210	162	31	2,8	90	0,303g	65,0	0,158g	75,0	0,211g
11	220	82	22	0,0	86	0,264g	66,5	0,158g	76,5	0,209g
6	365	116	19	1,9	88	0,167g	82,5	0,147g	94,5	0,192g
3	450	560	68	2,7	87	0,132g	87,0	0,132g	102,0	0,182g

V grafu 38 jsou seřazené zjištěné hodnoty o směrových obloucích podle rychlosti. Zde jde o to zjistit, zda mají i nějaké jiné parametry než poloměr vliv na rychlost ve směrovém oblouku. Z grafu je patrné, že vyšších rychlostí je dosahováno u větších poloměrů. U větších poloměrů je tento předpoklad zkreslený maximální dovolenou rychlostí 90 km/h. Dále je také v grafu vidět, že při větším poloměru je vrcholový úhel α nižší.



Graf 38 Grafické porovnání směrových oblouků

Závislost rychlosti na poloměru je graficky znázorněna v grafu 39 na další straně. V grafu jsou také vykresleny průběhy rychlostí, které pro tyto poloměry předpokládá norma. Zelená křivka značí minimální poloměry, které určuje portugalská norma a modrá značí minimální poloměry dle české normy. Na první pohled je zřejmé, že naměřené hodnoty rychlostí jsou většinou vyšší než předpoklady norem.

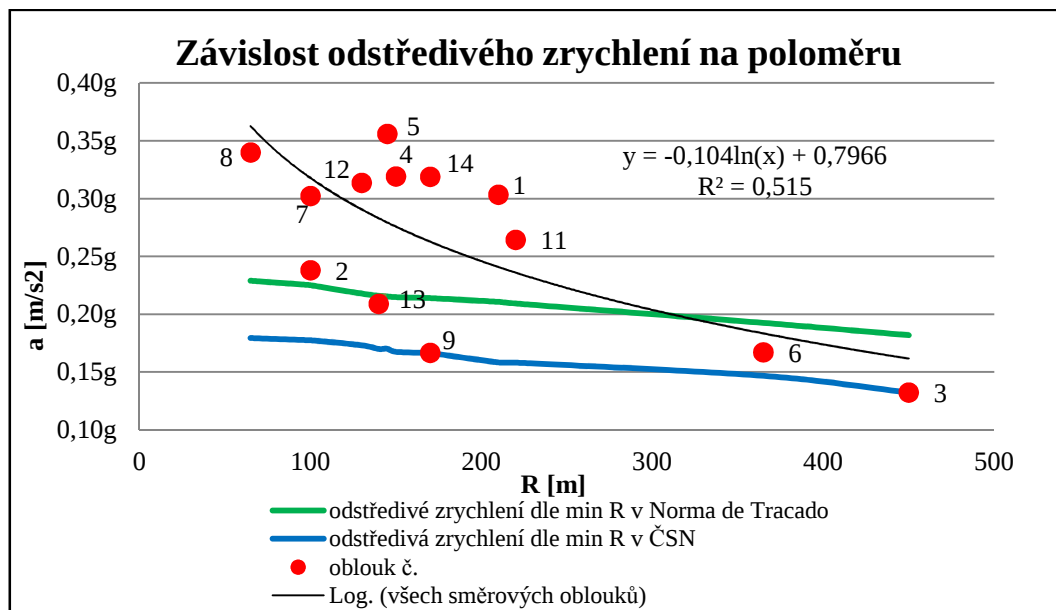


Graf 39 Závislost rychlosti na poloměru (Mobitest2) [1],[6]

Pro další zpracování jsou naměřené rychlosti proloženy logaritmickou křivkou stejně jako ve vyhodnocení 1. Tato křivka se nechá popsat následující rovnicí 5.26.

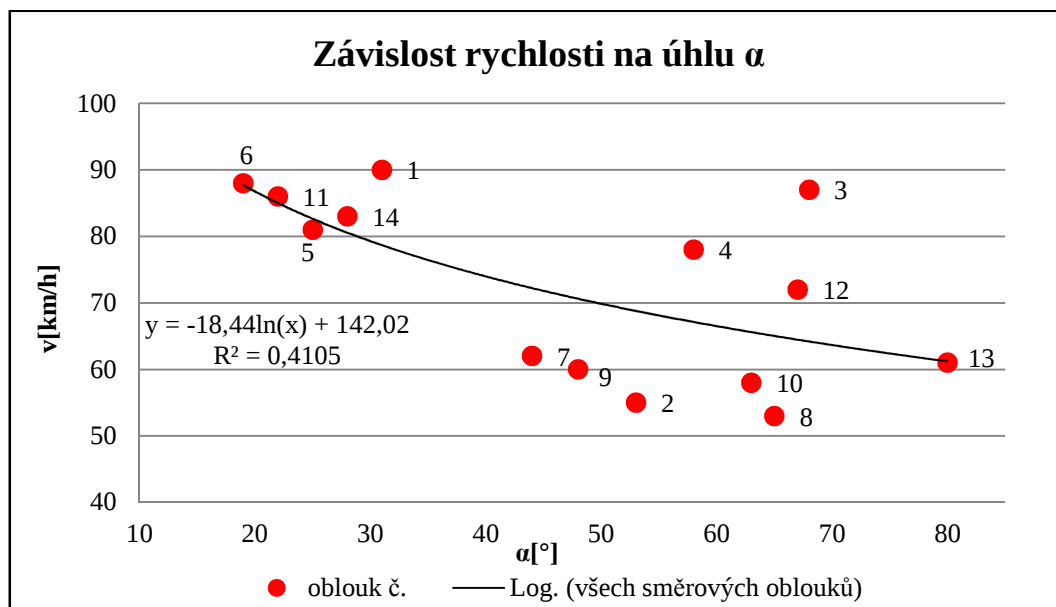
$$y = 20,03 * \ln x - 28,259 \quad 5.26$$

Dále je zde uveden graf 40, který uvádí závislost odstředivého zrychlení na velikosti poloměru. Graf čerpá hodnoty uvedené v tabulce 35. Opět je možné vidět, že směrové oblouky byly projížďeny na menší hranici komfortu, než předpokládají normy při použití jejich limitních hodnot.

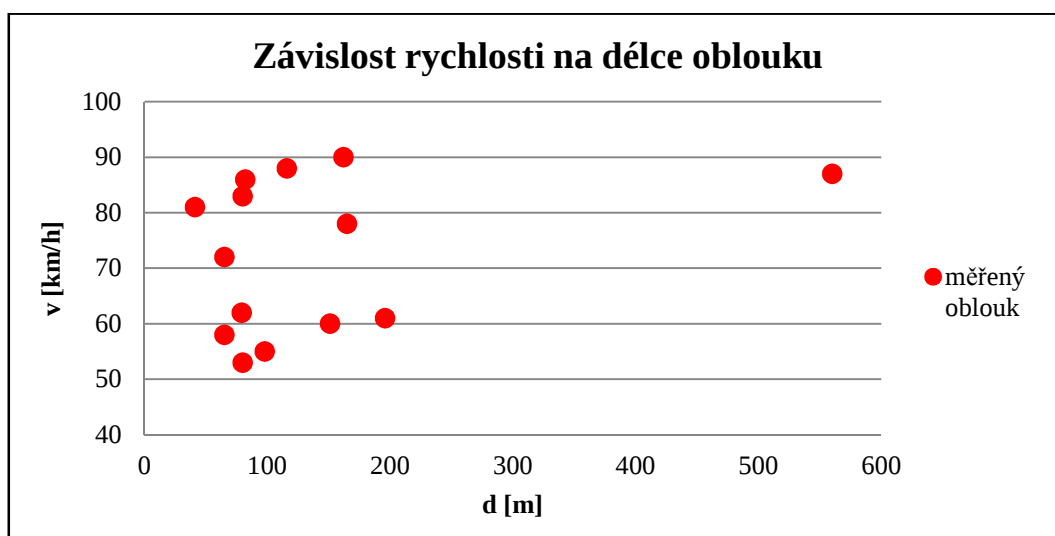


Graf 40 Závislost odstředivého zrychlení na poloměru (Mobitest2) [1],[6]

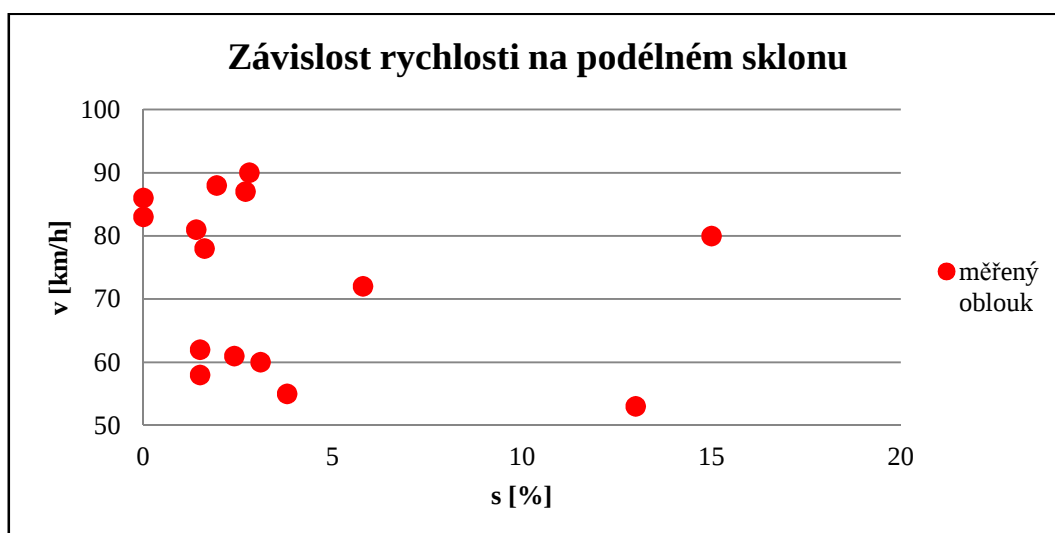
Graf 41 vykresluje závislost rychlosti na velikosti úhlu α . Je možné zaznamenat, že rychlost je nižší, když je α větší. Jak ovšem ukazuje graf 38 výše, vyšší hodnota úhlu α je zejména u menších poloměrů, proto tento úhel zřejmě nebude mít tak velký vliv na rychlost, než jak by se na první pohled zdálo.


Graf 41 Závislost rychlosti na úhlu α

Pro ilustraci jsou zde uvedeny také grafy 42 a 43, kde je možno vidět závislost rychlosti na délce oblouku, resp. na podélném sklonu. Na první pohled je zřejmé, že zde není globální přímá provázanost. Na druhou stranu tyto parametry rychlost ovlivňují v každém konkrétním oblouku. Je jasné, že se v obloucích s velkým podélným sklonem nebude ve stoupajícím pruhu dosahovat takových rychlostí, jakých by se dosahovalo v tom samém oblouku s menším podélným sklonem. To lze vidět v tabulce 35, kde u směrových oblouků o stejném poloměru dosahují tyto parametry větších hodnot tam, kde se naměřila nižší rychlost.



Graf 42 Závislost rychlosti na délce oblouku



Graf 43 Závislost rychlosti na podélném sklonu

6 ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

Jako finální zhodnocení bude vytvořeno několik grafů či tabulek. Nejprve jsou výsledky interpretovány pomocí následující tabulky 36, která srovnává měření směrových oblouků pomocí radarů, výsledný graf závislosti rychlosti na velikosti poloměru směrového oblouku z globálního vyhodnocení dat z mobitestu, kde byly hodnoty proloženy křivkou (graf 23). Ta byla popsána rovnicí 5.25, do které byly aplikovány poloměry oblouků, které byly měřeny pomocí radarů a výsledné rychlosti zaznamenány do tabulky 36. Stejně je také doplněna rychlost z vyhodnocení 2 z dat Mobitestu a to konkrétně dle rovnice 5.26. Dále je také uvedena rychlost, kterou předpokládá pro dané poloměry ČSN 73 6101. Předpoklady portugalské normy jsou tentokrát uvedeny dva – první je předpoklad pro poloměry doporučené, které se dopočítaly na základě rovnice 2.5. Jako druhé jsou uvedeny rychlosti, které byly spočítány na základě rovnice 2.4, což je rovnice pro vypočtení minimální poloměru směrového oblouku. V tabulce jsou pro srovnání také vypočítána odstředivá zrychlení, která náleží vždy příslušné rychlosti průjezdu směrovým obloukem.

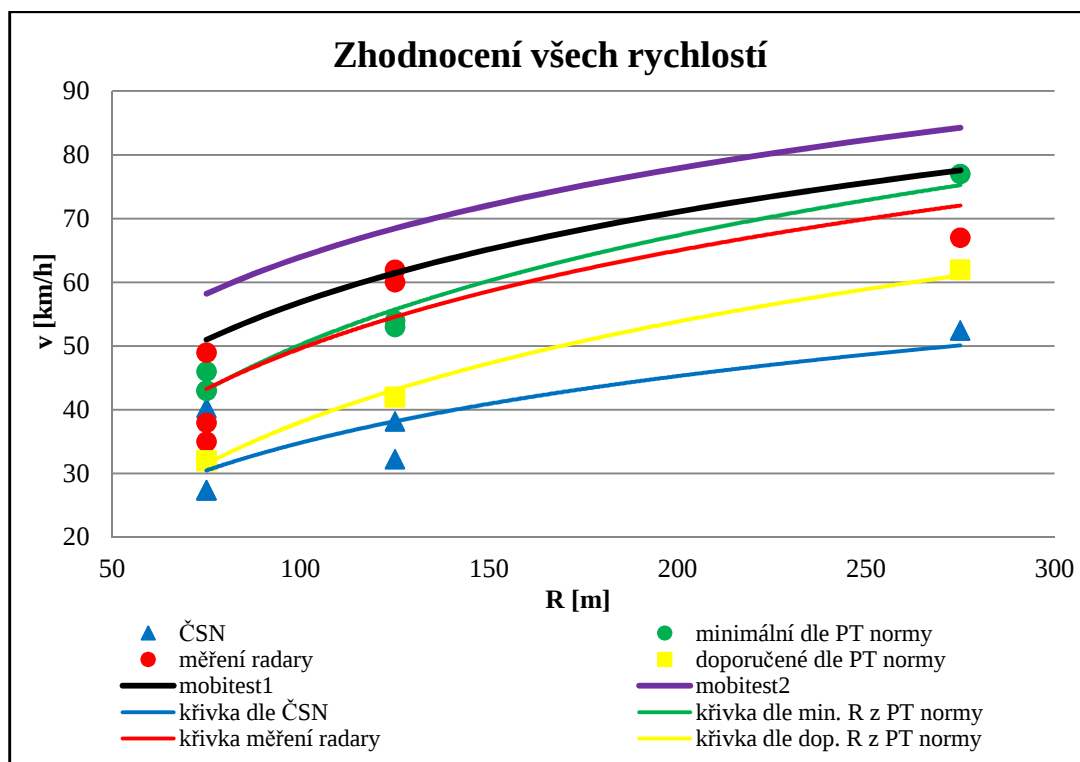
V tabulce je důležité zaměřit se na srovnání těch sloupců, kde jsou uvedeny předpoklady rychlostí z norem se všemi naměřenými rychlostmi. Obecně lze říci, že zejména v menších hodnotách poloměrů jsou naměřené rychlosti mnohem vyšší, než jsou předpoklady normy. U větších poloměrů se tento rozdíl zmenšuje. Nejhuře se jeví česká norma, která má nejmarkantnější rozdíly rychlostí.

Tabulka 36 Srovnání naměřených výsledků [1],[6]

místo	R [m]	p [%]	v ₈₅ [km/h]	a [m/s ²]	mobitest 1		mobitest 2		ČSN 73 6101		Norma de Tracado			
					v [km/h]	a [m/s ²]	v [km/h]	a [m/s ²]	v [km/h]	a [m/s ²]	doporučené		minimální	
											v [km/h]	a [m/s ²]	v [km/h]	a [m/s ²]
Dvorská2	75	3,0	35	0,128g	51	0,273g	58	0,357g	27	0,079g	32	0,11g	43	0,194g
Dvorská1	75	3,0	38	0,151g	51	0,273g	58	0,357g	27	0,079g	32		43	0,194g
Malešovice	75	6,5	49	0,252g	51	0,273g	58	0,357g	40	0,170g	32		46	0,222g
Průmyslová	125	3,5	60	0,227g	61	0,238g	69	0,297g	38	0,092g	42		54	0,183g
Silůvky	125	2,5	62	0,242g	61	0,238g	69	0,297g	32	0,066g	42		53	0,177g
Unkovice	275	3,0	67	0,128g	78	0,172g	85	0,205g	52	0,079g	62		77	0,170g

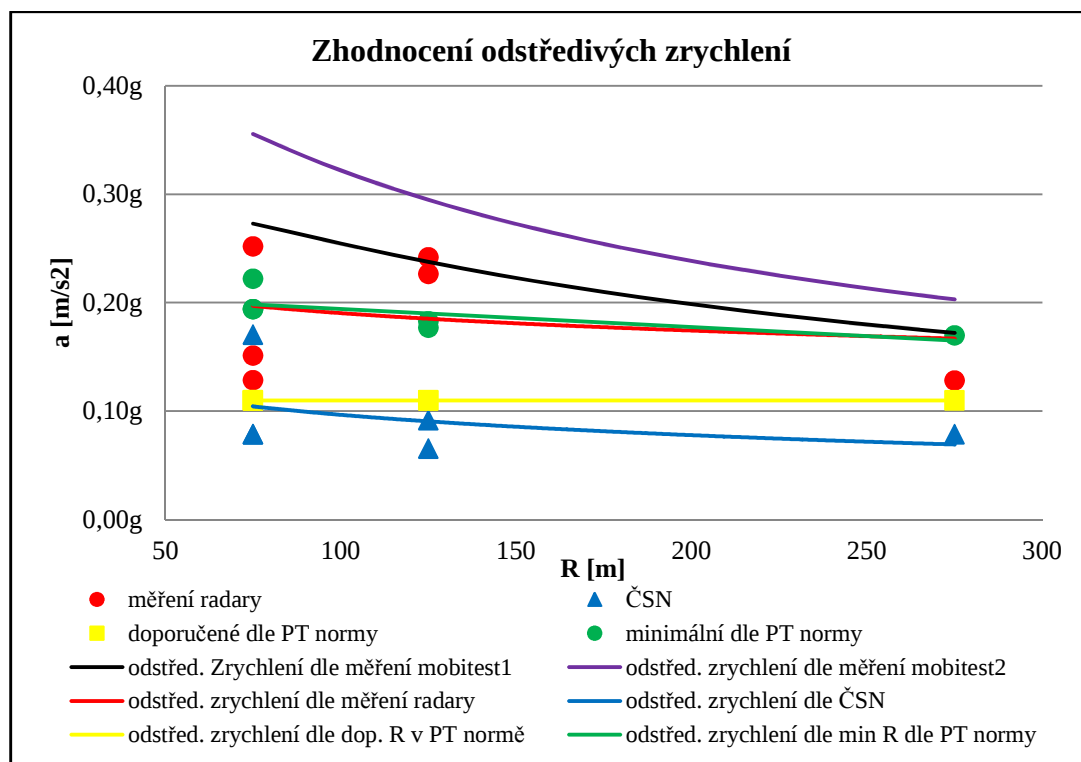
Vyhodnocení 2 z měření Mobistem má u všech poloměrů vyšší hodnoty rychlosti, než vyhodnocení 1. To je způsobeno zřejmě tím, že při vyhodnocení 1 se uvažovaly oblouky včetně intravilánu, kdežto při vyhodnocení 2 byly vybrány pouze oblouky z extravilánu. Dále všechny rozdíly mezi měřením Mobistem a měřením pomocí stacionárních radarů jsou nejspíše způsobeny tím, že data s Mobistem najížděl pouze jeden řidič. U měření stacionárními radary byla data měřena na více řidičích, kteří mají různou míru komfortu na projíždění směrových oblouků.

Jako další je zde uveden graf 44, kde jsou výše uvedené hodnoty z tabulky převedeny do grafické podoby, zejména jde opět o porovnání rychlostí na základě poloměru. Měření radary je zde zobrazeno červenými značkami, které jsou dále proloženy logaritmickou křivkou (červená křivka), aby byl vidět celý předpoklad vývoje této rychlosti. Dále jsou v grafu vyobrazeny předpoklady rychlosti dle české normy (modré značky), předpoklady rychlosti dle minimálního poloměru v portugalské normě (zelené značky) a předpoklady rychlosti dle doporučeného poloměru v portugalské normě (žluté značky). Tyto body jsou následně také proloženy logaritmickou křivkou (barva křivky odpovídá barvě bodů). Předpokládané rychlosti pro hodnoty, které vyplývají z měření Mobitest 1 (černá křivka) a Mobitest 2 (fialová křivka), jsou v grafu znázorněny dle výsledné rovnice 5.25, resp. rovnice 5.26. Opět je zde jednoznačně vidět, že modrá křivka, která značí předpoklad české normy, je nejvzdálenější od reálných hodnot změřených v provozu. Naopak nejbližší jsou hodnoty naměřené stacionárními radary (červená křivka) s minimálními poloměry uvedené v portugalské normě (zelená křivka).



Graf 44 Zhodnocení rychlostí [1],[6]

Jako poslední je zde graf 45, kde je vyobrazeno odstředivé zrychlení, které vychází z naměřených nebo předpokládaných rychlostí a daného poloměru. Princip vyhotovení grafu je stejný jako v případě grafu 44, kdy jsou zobrazeny jednotlivé změřené nebo předpokládané hodnoty (viz. legenda grafu 45). Tyto body jsou dále opět proloženy logaritmickou křivkou (vždy v barvě shodné se značkami). Modrá a fialová křivka značí předpoklady vyhodnocení 1 a vyhodnocení 2 z naměřených dat Mobitestem. Z grafu je patrné, že směrové oblouky se nechají dobře projíždět kolem hodnoty $0,25g$. Opět je patrné, že nejkomfortnější poloměry směrových oblouků jsou dle ČSN. Křivka proložená body odstředivého zrychlení z měření radary je téměř totožná s křivkou dle bodů z minimálních poloměrů z portugalské normy. Ovšem když vezmeme v potaz konkrétní jednotlivá měření, jsou minimální oblouky v portugalské normě přece jen komfortnější.



Graf 45 Zhodnocení odstředivých zrychlení [1],[6]

ZÁVĚR

V práci byly nejprve rozebrány některé prvky z normy ČSN 73 6101 a její přístup k navrhování těchto prvků. Největší pozornost byla věnována navrhování směrových oblouků. Už samotný rozbor ukázal, že tento postup nebude zcela správný, nebude plně reflektovat požadavky a hlavně reálné chování řidičů.

Rozbor stejných prvků byl proveden také dle Norma de Traçado, což je hlavní předpis pro navrhování pozemních komunikací v Portugalsku. Zde byla také největší pozornost věnována směrovým obloukům. Tento návrhový parametr byl vybrán také proto, že v přístupu návrhu tohoto prvku se normy nejvíce rozcházejí. Ukázalo se, že česká norma upravuje základní fyzikální vzorec pro bezpečnost proti usmyknutí ve směrovém oblouku na formu, která omezuje vliv součinitele bočního tření a zároveň dává velký vliv příčnému sklonu na výsledný poloměr. To se při porovnání s portugalskou normou (kapitola 3.4) a následným zjištěním při měření v terénu ukázalo jako nesprávné. Příčný sklon byl v reálu velice proměnný a to i pouze na pár metrech o několik procent. Jak také dokazuje rozbor fyzikálního vzorce 1.11, vliv příčného sklonu není tak významný jak uvádí ČSN.

Dále byla měřena třemi různými metodami skutečná rychlost řidičů v různých poloměrech na pozemních komunikacích. První metoda byla měření rychlosti průjezdu pomocí stacionárních radarů (kapitola 4). Celkem bylo změřeno pět různých směrových oblouků o třech různých poloměrech. To mělo porovnat, zda různé směrové oblouky, ale o stejných poloměrech, budou dosahovat podobných výsledků. Oblouky byly měřeny třemi až pěti radary tak, aby se nechal vynést graf průběhu rychlosti pomocí v_{85} a průměrné rychlosti. Výsledky byly očekávané a to tak, že rychlosti převyšovaly předpoklady normy ČSN. Rozdíly dosahovaly až 10 km/h, u měření Silůvky byl tento rozdíl dokonce 30 km/h (48 %).

Druhá metoda byla měření pomocí přístroje Mobitest (kapitola 5), který byl umístěn v automobilu a který zaznamenává pětkrát za vteřinu svoji polohu včetně aktuální rychlosti. Z těchto údajů byla provedena dvě vyhodnocení. Nejdříve globální, kdy byla v potaz brána data z celé trasy a byly tudíž vypočteny poloměry všech směrových oblouků a následně vynesena graf závislosti rychlosti na poloměru

směrového oblouku. Pro druhé vyhodnocení bylo vybráno 14 oblouků, kde byl detailně popsán průběh rychlosti obloukem, zjištěn podélný sklon a další návrhové prvky oblouku. Toto měření je svými výsledky ještě více vzdálené předpokladům normy, než měření stacionárními radary. To je způsobené zřejmě tím, že Mobitest byl umístěn pouze ve voze jednoho řidiče, kdežto měření radary probíhalo na vzorku více řidičů s odlišným vnímáním komfortu průjezdu oblouky. Průměrný rozdíl mezi naměřenými rychlostmi u vyhodnocení 2 a předpoklady normy byl naměřen 14,3 km/h, což činí rozdíl 27 %. Zde je ovšem nutné podotknout, že předpoklady normy jsou zde brány v maximálním přípustném příčném sklonu (např. podle tabulky 7) a nechá se předpokládat, že tento sklon zřejmě nebude ve všech změřených směrových obloucích.

Porovnávána nebyla pouze přímá závislost rychlosti na poloměru směrového oblouku, nýbrž také odstředivé zrychlení, které působí na vozidlo a jeho posádku při průjezdu obloukem. Tento parametr má představovat komfort pro řidiče a byl vybrán vzhledem k tomu, že portugalská norma tento parametr používá pro návrh doporučených poloměrů. Dle grafu 45, který shrnuje a porovnává naměřené hodnoty, se zdá jako reálná hodnota 0,25g odstředivého zrychlení pro průjezd směrovým obloukem. Toto odstředivé zrychlení by mělo stále zachovat komfort projíždějícím a zároveň by také splňovala podmínku bezpečnosti proti usmyknutí.

Všechny naměřené rychlosti i odstředivé zrychlení získané měřením jsou celkově vzdáleny od předpokladů normy. V normě by tedy bylo vhodné nastavit nižší úroveň komfortu pro průjezd směrovým obloukem, s čímž také souvisí zlepšení provázanosti návrhové rychlosti směrem ke skutečné rychlosti, kterou se po navržené komunikaci jezdí. V neposlední řadě také zmírnit v normě vliv příčného sklonu na výsledný minimální poloměr směrového oblouku. Ovšem tyto úpravy nelze udělat odděleně. V návaznosti by se musely upravit všechny ostatní prvky, které se váží na návrhovou (směrodatnou) rychlost.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Síly působící na vozidlo při průjezdu směrovým obloukem [4]	15
Obrázek 2 Závislost tření na rychlosti [5].....	19
Obrázek 3 Velikost poloměru směrového oblouku v závislosti na délce předcházející přímé [1]	20
Obrázek 4 Určení poloměru oblouku v závislosti na sousedním oblouku [6]	31
Obrázek 5 Ukázka měření 1	51
Obrázek 6 Ukázka měření 2	52
Obrázek 8 Situace měření u obce Dvorská [10].....	53
Obrázek 7 Schéma měření Dvorská 1[10]	53
Obrázek 9 Schéma měření Dvorská 2 [10]	55
Obrázek 10 Situace měření u obce Malešovice [10].....	57
Obrázek 11 Schéma měření u obce Malešovice [10].....	58
Obrázek 12 Situace měření na ulici Průmyslová [10].....	60
Obrázek 13 Schéma měření na ulici Průmyslová [10].....	60
Obrázek 14 Situace měření u obce Silůvky [10].....	62
Obrázek 15 Schéma měření u obce Silůvky [10].....	63
Obrázek 16 Schéma měření u obce Unkovice [10].....	65
Obrázek 17 Situace měření u obce Unkovice [10].....	65
Obrázek 18 Trasa Rosice – Třebíč – Telč – Veselí nad Lužnicí [10]	70
Obrázek 19 Trasa Pelhřimov – Jindřichův Hradec – Veselí nad Lužnicí [10]	70
Obrázek 20 Trasa Pelhřimov – Jindřichův Hradec – Třeboň – České Budějovice [10]	70
Obrázek 21 Trasa Pelhřimov – Chýnov – Planá nad Lužnicí [10]	71
Obrázek 22 Schéma kruhu a souřadnic počítaných bodů	72

Obrázek 23 Schéma bodů při výpočtu poloměru směrového oblouku	75
Obrázek 24 Schéma směrového oblouku č. 1 [10]	80
Obrázek 25 Schéma směrového oblouku č. 2 [10]	81
Obrázek 26 Schéma směrového oblouku č. 3 [10]	82
Obrázek 27 Schéma směrového oblouku č. 4 [10]	83
Obrázek 28 Schéma směrového oblouku č. 5 [10]	84
Obrázek 29 Schéma směrového oblouku č. 6 [10]	85
Obrázek 30 Schéma směrového oblouku č. 7 [10]	86
Obrázek 31 Schéma směrového oblouku č. 8 [12]	87
Obrázek 32 Schéma směrového oblouku č. 9 [10]	88
Obrázek 33 Schéma směrového oblouku č. 10 [10]	89
Obrázek 34 Schéma směrového oblouku č. 11 [10]	90
Obrázek 35 Schéma směrového oblouku č. 12 [10]	91
Obrázek 36 Schéma směrového oblouku č. 13 [10]	92
Obrázek 37 Schéma směrového oblouku č. 14 [10]	93

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Srovnání rozhledových vzdáleností pro zastavení [1],[6]	36
Graf 2 Srovnání koeficientů tření [1],[6]	37
Graf 3 Srovnání rozhledových vzdáleností pro předjíždění [1],[6]	38
Graf 4 Srovnání minimálních poloměrů ($p=7\%$) a součinitele bočního tření [1],[6]	40
Graf 5 Srovnání minimálních poloměrů ($p=7\%$) a odstředivých zrychlení [1],[6] ..	41
Graf 6 Srovnání doporučených poloměrů ($p=5\%$) a součinitele bočního tření [1],[6]	42
Graf 7 Porovnání minimálních poloměrů pro 5% příčného sklonu a odstředivých zrychlení [1],[6].....	43
Graf 8 Srovnání vrcholových výškových oblouků [3],[6]	48
Graf 9 Srovnání údolnicových výškových oblouků [1],[6]	49
Graf 10 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Dvorská 1.....	54
Graf 11 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Dvorská 1	54
Graf 12 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Dvorská 2.....	56
Graf 13 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Dvorská 2	56
Graf 14 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Malešovice.....	58
Graf 15 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Malešovice	59
Graf 16 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Průmyslová	61
Graf 17 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Průmyslová.....	61
Graf 18 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Silůvky.....	63
Graf 19 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Silůvky	64
Graf 20 Vývoj v_{85} při průjezdu obloukem u měření Unkovice.....	66
Graf 21 Vývoj v_0 při průjezdu obloukem u měření Unkovice	66
Graf 22 Schéma bodů při výpočtu poloměru směrového oblouku	76

Graf 23 Závislost rychlosti na poloměru oblouku (s průměrnými hodnotami)	78
Graf 24 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 1.....	80
Graf 25 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 2.....	81
Graf 26 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 3.....	82
Graf 27 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 4.....	83
Graf 28 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 5.....	84
Graf 29 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 6.....	85
Graf 30 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 7.....	86
Graf 31 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 8.....	87
Graf 32 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 9.....	88
Graf 33 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 10.....	89
Graf 34 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 11.....	90
Graf 35 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 12.....	91
Graf 36 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 13.....	92
Graf 37 Průběh rychlosti ve směrovém oblouku č. 14.....	93
Graf 38 Grafické porovnání směrových oblouků.....	96
Graf 39 Závislost rychlosti na poloměru (Mobitest2) [1],[6]	97
Graf 40 Závislost odstředivého zrychlení na poloměru (Mobitest2) [1],[6].....	98
Graf 41 Závislost rychlosti na úhlu α	98
Graf 42 Závislost rychlosti na délce oblouku	99
Graf 43 Závislost rychlosti na podélném sklonu.....	99
Graf 44 Zhodnocení rychlostí [1],[6]	103
Graf 45 Zhodnocení odstředivých zrychlení [1],[6]	104

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Návrhové rychlosti podle druhu území a největší dovolené podélné sklony (s) návrhových kategorií silnic a dálnic ^{*)} [2].....	10
Tabulka 2 Směrodatná rychlost pro směrově nerozdělené silnice [3]	11
Tabulka 3 Součinitel brzdného tření na mokré vozovce [1]	12
Tabulka 4 Rozhled pro zastavení [1]	13
Tabulka 5 Rozdíl mezi $v_{n(s)}$ a rychlostí předjížděného vozidla [1]	14
Tabulka 6 Rozhledové vzdálenosti pro předjíždění D_p [1]	14
Tabulka 7 Nejmenší dovolené poloměry směrových kružnicových oblouků (a k nim příslušné koeficienty tření dosazované při výpočtu) ve vztahu k uvažované rychlosti a dostřednému sklonu ^{*)} [1]	18
Tabulka 8 Největší dovolené výsledné sklony (m) podle druhu území a použité návrhové kategorie silnice nebo dálnice [2].....	21
Tabulka 9 Nejmenší viditelné překážky na vzdálenost D_z [1]	22
Tabulka 10 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků [3].....	22
Tabulka 11 Nejmenší poloměry vydutých výškových oblouků [1].....	23
Tabulka 12 Návrhová rychlost dle kategorie silnice [6]	24
Tabulka 13 Dopravní rychlost v závislosti na návrhové rychlosti [6]	25
Tabulka 14 Návrhové prvky a jejich nutnost posouzení na návrhovou či dopravní rychlost [6]	25
Tabulka 15 Koeficienty tření [6].....	26
Tabulka 16 Minimální rozhledové vzdálenosti [6]	27
Tabulka 17 Minimální a maximální délky mezipřímé [6]	28
Tabulka 18 Součinitel bočního tření [6].....	29
Tabulka 19 Minimální poloměr a odstředivé zrychlení [6]	30

Tabulka 20 Normální minimální poloměry a odpovídající odstředivé zrychlení [6].	31
Tabulka 21 Maximální podélný sklon [6].....	32
Tabulka 22 Absolutní minimální a normální minimální poloměry vrcholových oblouků [7].....	33
Tabulka 23 Minimální poloměry údolnicových oblouků [7].....	34
Tabulka 24 Srovnání rozhledových vzdáleností pro zastavení. [1],[6].....	36
Tabulka 25 Srovnání koeficientů tření [1],[6].....	37
Tabulka 26 Srovnání rozhledových vzdáleností pro předjíždění [1],[6].....	38
Tabulka 27 Min R (pro $p=7\%$), součinitel bočního tření a odstředivé zrychlení [1],[6].....	40
Tabulka 28 Doporučené R (pro $p=5\%$) a odstředivé zrychlení [1],[6].....	42
Tabulka 29 Minimální poloměry dle ČSN 73 6101, součinitel bočního tření a odstředivé zrychlení [1].....	45
Tabulka 30 Porovnání vlivu příčného sklonu na poloměr oblouku dle norem [1],[6].....	46
Tabulka 31 Srovnání vrcholových výškových oblouků [3],[6].....	48
Tabulka 32 Srovnání údolnicových výškových oblouků [1],[6].....	49
Tabulka 33 Srovnání naměřených výsledků s ČSN 73 6101 a Norma de Traçado [1],[6].....	67
Tabulka 34 Průměrné rychlosti pro skupiny poloměrů.....	77
Tabulka 35 Výsledky zpracovaných oblouků [1],[6].....	95
Tabulka 36 Srovnání naměřených výsledků [1],[6].....	101

SEZNAM LITERATURY

- [1] ČSN 73 6101. *Projektování silnic a dálnic*. PRAHA: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
- [2] ČSN 73 6101 ZMĚNA Z2. *Projektování silnic a dálnic*. PRAHA: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2013.
- [3] ČSN 73 6101 ZMĚNA Z1. *Projektování silnic a dálnic*. PRAHA: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2009.
- [4] Ing. HOLCNER, Petr. *Pozemní komunikace I.: Směrové řešení pozemních komunikací, modul BM01 - M02*. BRNO, 2005.
- [5] Vala, M., Tesař, M., *Teorie a konstrukce silničních vozidel I.*, Univerzita Pardubice, Pardubice, 2002
- [6] Revisão da NORMA DE TRAÇADO, InIR pela empresa ENGIVIA, novembro de 2010
- [7] NORMA DE TRAÇADO, Junta Autônoma das Estradas, 1990
- [8] Česká republika. Zákon o provozu na pozemních komunikacích. In: 361/2000. 2000, 98/2000. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [9] MGE data. *Mobitest.cz* [online]. [cit. 2013-11-12]. Dostupné z: www.mobitest.cz
- [10] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [11] Doc. Ing. HRDINA, Zdeněk ,CSc. *Transformace souřadnic ze systému WGS-84 do systému S-JTSK*. PRAHA, 1997.
- [12] *Google.cz* [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: maps.google.cz
- [13] Kružnice. *Matematika-online-a.kvalitne.cz* [online]. [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: <http://matematika-online-a.kvalitne.cz/kruznice.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a – odstředivé zrychlení [m/s^2]

b_{v1} – bezpečnostní odstup

b_{v2} – bezpečnostní odstup předjíždějícího vozidla od vozidla v protisměru v m

C – odstředivá síla [N]

PT – Portugalsko

d – délka oblouku [m]

D_z – délka pro zastavení [m]

D_p – rozhled pro předjíždění [m]

DD – rozhled pro učinění rozhodnutí [m]

DP – rozhled pro zastavení [m]

DU – Rozhled pro předjíždění [m]

f – koeficient tření [-]

f_i – součinitel smykového tření [-]

f_t – součinitel bočního tření [-]

f_v – součinitel brzdného tření na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky
v hodnotě 1,6 mm podle tabulky 3 [-]

g – tíhové zrychlení [m/s]

h_s – výšku světlometu nad jízdním pásem [m]

h_1 – výška řidičova oka nad jízdním pásem

h_2 – výška nejmenší viditelné překážky nebo výška zorného paprsku dopadajícího na
vozidlo přijíždějící ze vzdálenosti D_p protisměru

i – podélný profil [%/100]

j – počet dílčích úseků na uvažované části silnice

K – křivolakost v gradech/km

l – délka části silnice v km

l_i – délka dílčího úseku i v km

m – výsledný sklon [%]

p – příčný sklon [%]

PT – Portugalsko

Q – tíha [N]

R – poloměr [m]

R_u – minimální poloměr údolnicového výškového oblouku [m]

R_v – minimální poloměr výškového vypuklého oblouku [m]

s – podélná sklon v %

s_e – příčný sklon v oblouku

S-JTSK – jednotná trigonometrická síť katastrální

v – rychlost [m/s]

v_0 – průměrná rychlost [km/h]

v_{85} – rychlost, kterou nepřekročí 85 % řidičů [km/h]

$v_{n(s)}$ – návrhová rychlost (směrodatná rychlost) [km/h]

VT – dopravní rychlost [km/h]

WGS 84 – World Geodetic System 1984

Δv - uvažovaný rozdíl rychlosti vozidla předjíždějícího návrhovou (směrodatnou) rychlostí a rychlosti předjížděného vozidla

α – úhel odklonu vozovky od vodorovné plochy [°]

α' – úhel mezi horním okrajovým paprskem světelného kužele světlometu a jeho osou

γ_i – úhlová změna v situaci na dílčím úseku v gradech