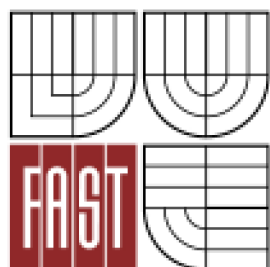




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

OPTIMALIZACE NÁVRHOVÝCH PARAMETRŮ VÝŠKOVÉHO ŘEŠENÍ

OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF VERTICAL ALIGNMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN MAHDAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN SMĚLÝ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jan Mahdal
Název	Optimalizace návrhových parametrů výškového řešení
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Martin Smělý
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

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

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

Podklady a literatura

Zákony, vyhlášky a ostatní předpisy platné v ČR v době vypracovávání bakalářské práce.

Zejména pak tyto:

Zákon 361/2001 Sb. v platném znění.

Zákon 13/1997 Sb. v platném znění.

Vyhláška 104/1997 Sb. v platném znění.

ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací (leden 2006)

ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na silničních komunikacích (listopad 2007)

A další předpisy související s navrhováním pozemních komunikací

Zásady pro vypracování

Tato bakalářská práce je zvolena na základě objevených nesrovnalostí, při porovnání české a slovenské normy pro navrhování místních komunikací.

Práce se bude zaměřovat na prozkoumání a zhodnocení jednotlivých parametrů, které slouží k navržení a výpočtu výškového řešení. Student se pokusí nalézt základní odchylky v obou normách, které vedou k odlišným výsledkům, následně zkusím navrhnout řešení, které by mělo výsledky obou norem sjednotit. V práci zároveň popíše důvody těchto odchýlných řešení včetně jejich výhod a nevýhod.

Bakalářská práce bude obsahovat všechny náležitosti předepsané Vysokým učením technickým v Brně.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

01 Podrobný popis výškových parametrů uvedených v České normě

02 Podrobný popis výškových parametrů uvedených ve Slovenské normě

03 Porovnání výškových parametrů v těchto normách

04 Zhodnocení výškového řešení na stávající části silniční sítě v ČR ve vztahu k dodržení platných norem

05 Návrh úpravy výškových parametrů norem ve vztahu ke stávajícími vozovému parku v ČR

.....
Ing. Martin Smělý
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Práce se zaměřuje na zmapování dosavadního postupu při výpočtu parametrů pro výškové řešení intravilánových a extravilánových komunikací, včetně ověření platné metodiky a následného porovnání s provedenými výpočty. Práce si klade za cíl poukázat na možné chybné postupy ve výpočtech uvedených v normách a vysvětlit jejich nevhodnosti pro potřeby návrhu. Výsledkem práce je nejen optimalizace metodiky výpočtu zejména pro výškové vypuklé zakružovací oblouky, ale také úprava tabulky nejmenších poloměrů těchto výškových oblouků.

Klíčová slova

délka rozhledu pro zastavení, poloměry výškových vypuklých oblouků pro zastavení, nejmenší viditelná překážka, výška oka řidiče, řešerše norem

Abstract

The thesis is focused on mapping the up-to-date progress of urban and rural roads vertical alignment calculation, including verification of valid methodology and subsequent comparison with calculations already performed. Aim of the thesis is to highlight possible incorrect procedures within the computations listed in standards, and explain their inappropriateness concerning particular designs. The study should result not just in the optimization of computing methodology (especially for crest vertical curves), but also in adjustment of the table containing the smallest radiuses of these vertical curves.

Keywords

stopping sight distance, radiuses of crest vertical curves for stopping, the smallest height of visible object, an eye height of driver, research of standards

Bibliografická citace VŠKP

MAHDAL, Jan. *Optimalizace návrhových parametrů výškového řešení*. Brno, 2011. 53 s., 17 s. příl. Bakalářské práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Martin Smělý.

Prohlášení:

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

V Brně dne 15.5.2012

.....
podpis autora

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinovi Smělému za odborné vedení, Mgr. Janu Martínkovi Ph.D. za odborné konzultace, Doc. Ing. Ivaně Mahdalové Ph.D. za podnět k mé bakalářské práci a všem lidem z mého blízkého okolí za podporu.

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Přehled dosavadních norem a změn.....	12
2.1	Norma pro projektování silnic a dálnic z roku 2000.....	12
2.1.1	Délky rozhledu pro zastavení.....	12
2.1.2	Délky rozhledu pro předjíždění.....	14
2.1.3	Poloměry vypuklých výškových oblouků.....	14
2.1.4	Poloměry vydutých výškových oblouků.....	15
2.2	Norma pro projektování místních komunikací z roku 1986.....	16
2.2.1	Délky rozhledu pro zastavení.....	16
2.2.2	Délky rozhledu pro předjíždění.....	17
2.2.3	Poloměry vypuklých výškových oblouků.....	18
2.2.4	Poloměry vydutých výškových oblouků.....	18
2.3	Norma pro projektování silnic a dálnic z roku 2004.....	19
2.3.1	Délky rozhledu pro zastavení.....	19
2.3.2	Délky rozhledu pro předjíždění.....	21
2.3.3	Poloměry vypuklých výškových oblouků.....	22
2.3.4	Poloměry vydutých výškových oblouků.....	24
2.4	Norma pro projektování místních komunikací z roku 2006.....	25
2.4.1	Délky rozhledu pro zastavení.....	25
2.4.2	Délky rozhledu pro předjíždění.....	27
2.4.3	Poloměry vypuklých výškových oblouků.....	28
2.4.4	Poloměry vydutých výškových oblouků.....	28
2.5	Souhrn přehledu norem.....	29
3.	Sestavení a aplikace soustav tabulek.....	30
3.1	Popis tabulek.....	30
3.2	Zhodnocení vypočtených hodnot.....	31
3.2.1	Soustavy tabulek pro neaktuální normy z let 1986 a 2000.....	31
3.2.2	Soustava tabulek pro ČSN 73 6101, 2004 (A), (B).....	32
3.2.3	Soustava tabulek pro ČSN 73 6110, 2006 a Z1, 2010.....	36
4.	Vybrané vstupní a výstupní hodnoty.....	37
4.1	Délka rozhledu pro zastavení.....	37
4.2	Výška nejmenší viditelné překážky.....	38
4.3	Poloměry výškových vydutých oblouků a jejich zaokrouhlení.....	38
4.3.1	Idealizovaný příklad.....	39
5.	Návrh nové metodiky pro výškové vypuklé oblouky.....	41

5.1	Analytické vyjádření geometrických prvků výškových oblouků	41
5.2	Kritická vzdálenost L_{cr}	42
5.3	Tvorba početního programu	45
5.3.1	Základní příprava výpočtů	45
5.3.2	Vstupní hodnoty	46
5.3.3	Postup výpočtu	46
5.4	Tabulky minimálních poloměrů výškových vypuklých oblouků	47
6.	Závěr.....	49
7.	Seznam použitých zdrojů	50
8.	Seznam použitých zkratk a symbolů	51
9.	Seznam příloh.....	53

1. Úvod

V roce 2011 byla na Slovensku vydána vysokoškolská učebnice s názvem „Mestské komunikácie - Zásady navrhovania“ [1], ve které jsou v kapitole 5. „Parametry místních komunikací“ uvedeny hodnoty nejmenších dovolených poloměrů vypuklých výškových oblouků místních komunikací podle ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací [9], vydané v roce 2006, viz *Tab. 1.1* a podle STN 73 6110: Projektovanie miestnych komunikácií [11], která vyšla v roce 2004, viz *Tab. 1.2*.

Tab. 1.1 Dovolené poloměry vypuklých výškových oblouků R_v místních komunikací v ČR podle [9]

R_v v m	Návrhová rychlost v km/h							
	100	80	70	60	50	40	30	20
Pro zastavení	7 500	4 000	3 200	1 800	1 000	450	200	100
Pro předjíždění	--	--	25 000	20 000	--	--	--	--

Tab. 1.2 Dovolené poloměry vypuklých výškových oblouků R_v místních komunikací v SR podle [11]

R_v v m	Návrhová rychlost v km/h					
	80	70	60	50	40	30
Pro zastavení	4 500	2 500	1 200	600	300	200
Pro předjíždění	21 000	15 000	10 000	6 000	3 400	1 500

I přes to že je metodika výpočtu poloměrů pro zastavení v české i slovenské normě téměř totožná, v tabulkových hodnotách jsou velké rozdíly. Pokud by rozdíly tabulkových hodnot měly přibližně stejnou vzestupnou respektive sestupnou tendenci, dalo by se usuzovat pouze na dosazování jiných hodnoty parametrů. Ale jak je patrné například z návrhových rychlostí 80 km/h a 70 km/h, jednou jsou poloměry větší v české normě a jednou zase ve slovenské. Z toho jsem vyvodil předběžnou úvahu, že v jedné z norem muselo dojít k početní chybě, nebo v průběhu tvorby změn a oprav norem tvůrci přehlédli některé návaznosti anebo došlo k tiskové chybě. Dál jsem se tedy rozhodl zaměřit pouze na české normy z důvodů lepší dostupnosti a zkontrolovat přesnost výkladu, případně na základě zjištěných nesrovnalostí navrhnout nápravu.

Norma ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, která byla mnohokrát doplněna změnami, se pro výpočet poloměrů vypuklých oblouků odkazuje na právě aktuální normu ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, která také byla mnohokrát pozměněna.

Proto v následujícím textu uvedu, pro přehlednost a možné nalezení chyb či nepřesností, výklady jednotlivých norem a změn, jak pro projektování silnic a dálnic, tak i pro projektování místních komunikací.

2. Přehled dosavadních norem a změn

2.1 Norma pro projektování silnic a dálnic z roku 2000

V lednu roku 2000 vešla v platnost ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2000 [2], která nahradila do té doby platnou normu z roku 1985. Pro názornost z ní vyberu pouze články, které se úzce týkají tématu výškových oblouků.

2.1.1 Délky rozhledu pro zastavení

Norma uvádí tabulku délek rozhledu pro zastavení D_z , pro různé návrhové rychlosti a podélné sklony silniční komunikace, viz *Tab. 2.1*.

Tab. 2.1 Délky rozhledu pro zastavení D_z podle [2]

Podélný sklon jízdniho pásu v ‰		D_z v m při návrhové rychlosti v_n v km/h								
		120	100	80	70	60	50	40	30	25 až 20
klesání	- 9	-	-	-	-	-	≤5	30	20	15
	- 8	-	-	-	-	60	≤5			
	- 7	-	-	-	-	60	≤5			
	- 6	-	-	110	80	60	≤5			
	- 5	-	-	100	80	60	≤5			
	- 4,5	-	160	100	80	60	≤0			
	- 4	220	160	100	75	60	≤0			
	- 3	220	160	100	75	55	≤0			
	- 2	210	160	100	75	55	≤0			
- 1	210	150	100	75	55	≤0				
0		200	150	100	75	55	≤0	30	20	15
stoupání	1	200	150	100	75	55	≤0	30	20	15
	2	190	140	90	70	55	≤0			
	3	190	140	90	70	55	≤0			
	4	190	140	90	70	55	≤0			
	4,5	-	140	90	70	55	≤0			
	5	-	-	90	70	55	≤0			
	6	-	-	90	70	50	≤0			
	7	-	-	-	-	50	≤0			
	8	-	-	-	-	50	≤0			
9	-	-	-	-	-	≤0				

*¹) Způsob výpočtu viz příloha B.

Metodika výpočtu pro hodnoty obsažené v *Tab. 2.1* je shrnuta v normě v příloze B. Příloha B se dále dělí na dva stupně výpočtu. Jeden popisuje základní délku rozhledu pro

zastavení D'_z (2.1), s prvním členem pro výpočet dráhy projeté vozidlem za dobu postřehu a reakce řidiče (uvažuje se hodnota 1,5 s) a druhým členem pro výpočet dráhy potřebné k úplnému zastavení vozidla. K rovnici je připsaná poznámka že se v plné hodnotě zajišťuje pouze tehdy, pokud se závada nebo nízká překážka předpokládá na konci jejich dohledu. Druhý stupeň popisuje výpočet výsledné délky rozhledu pro zastavení D_z (2.2), který je rozšířen o redukční součinitel, vyjádřený relativním poměrem průměrné výšky oka řidiče a nejmenší viditelné překážky, a o bezpečnostní odstup od překážky. Vzorec (2.2) je v normě uveden v upravené formě, pro přehlednost jej nechávám neupravený.

$$D'_z = \frac{1,5v_n}{3,6} + \frac{v_n^2}{2g_n \cdot 3,6^2 (f_v \pm 0,01s)} \quad (2.1)$$

kde v_n je návrhová rychlost v km/h
 g_n normální tíhové zrychlení; $g_n \cong 9,81 \text{ m/s}^2$
 f_v výpočtový součinitel brzdného tření na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky v hodnotě 1,6 mm podle Tab. 2.2
 s Podélný sklon jízdního pásu v %

$$D_z = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \left[\frac{1,5v_n}{3,6} + \frac{v_n^2}{2g_n \cdot 3,6^2 (f_v \pm 0,01s)} \right] + b_v \quad (2.2)$$

kde h_1 je průměrná výška oka řidiče v hodnotě 1,2 m
 h_2 průměrná výška nejmenší viditelné překážky v m podle Tab. 2.2
 b_v bezpečnostní odstup vozidla od překážky v m, rovný zaokrouhlení výsledku na nejbližší vyšších 10 m při $v_n \geq 80 \text{ km/h}$ a na nejbližší vyšších 5 m při $v_n < 80 \text{ km/h}$.

Tab. 2.2 Výpočtové prvky délky rozhledu pro zastavení podle [2]

v_n km/h	120	100	80	70	50	50	40	30	25	20
f_v	0,31	0,38	0,43	0,46	0,51	0,56	0,62	*)		
h_2 m	0,10	0,00								

*) Hodnoty f_v pro $v_n < 40 \text{ km/h}$ byly pro výpočet hodnot tabulky 9 stanoveny přibližně extrapoací.

Z tabulky Tab. 2.2 vyplývá, že redukční součinitel je uplatněn pouze v jednom případě, a to pro rychlost 120 km/h. V ostatních případech je za h_2 dosazena hodnota 0,00 m a redukční součinitel je po vydělení roven jedné a tedy neupravuje výslednou délku rozhledu pro zastavení.

2.1.2 Délky rozhledu pro předjíždění

Tato norma uvádí také hodnoty délek rozhledu pro předjíždění, viz *Tab. 2.3*, je třeba však upozornit, že už neuvádí žádnou metodiku pro jejich výpočet, proto není zcela zřejmé, jestli k těmto hodnotám autoři došli výpočtem, anebo například převzetím z jiné zahraniční normy.

Tab. 2.3 Délky rozhledu pro předjíždění D_p podle [2]

Návrhová rychlost v km/h	100	80	70	60	50	40
Délka rozhledu v m	590	440	370	300	240	180

2.1.3 Poloměry vypuklých výškových oblouků

V dalším textu se norma zaměřuje na lomy podélných sklonů, které se zaoblují parabolickými oblouky druhého stupně se svislou osou a jsou určeny poloměrem oskulační kružnice ve vrcholu paraboly. Poloměry vypuklých výškových oblouků R_v jsou v *Tab. 2.4* uvedeny jako doporučené pro zastavení, dovolené pro zastavení a dovolené pro předjíždění.

Tab. 2.4 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků R_v podle [2]

R_v v m	při návrhové rychlosti v km/h					
	120	100	80	70	60	50
nejmenší doporučený pro zastavení	12 000	10 000	5 000	4 000	2 500	1 500
nejmenší dovolený pro zastavení	11 000	6 000 ^{**)}	3 000 ^{***)}	2 500	1 500	1 000
nejmenší dovolený pro předjíždění	-	38 000	21 000	15 000	10 000	6 000

^{*)} Způsob výpočtu nejmenších dovolených hodnot R_v je uveden v příloze G.
^{**)} Platí jen do rozdílu podélných sklonů $|s_1 - s_2| \leq 2,5\%$, jinak je nutno dodržet hodnotu doporučenou.
^{***)} Platí jen do rozdílu $|s_1 - s_2| \leq 3,3\%$, jinak je nutno dodržet hodnotu doporučenou.

Nejmenší dovolené poloměry vypuklých výškových oblouků se vypočítají podle vzorce (2.3). Zde je třeba zmínit, že není z rovnice možno zjistit, jestli takto spočítané výsledky byly dosazeny do tabulky nejmenších vypuklých výškových oblouků *Tab. 2.4* jako doporučené pro zastavení nebo dovolené pro zastavení. Dál je z téže rovnice patrné, že poloměry vypočítává pomocí stejných hodnot h_1 a h_2 , které už jsou jednou zahrnuty v rovnici pro výpočet výsledné délky rozhledu pro zastavení (2.2) jako redukční součinitel. Především,

že v ČSN 73 6101:Projektování silnic a dálnic, 2004 [3] bylo od toho redukčního součinitele při výpočtu celkové délky rozhledu pro zastavení upuštěno, viz (2.5) v podkapitole 2.3.1.

$$R_v = \frac{D_{z(p)}^2}{2(h_1 + 2\sqrt{h_1 h_2} + h_2)} \quad (2.3)$$

kde $D_{z(p)}$ je délka rozhledu v m

a) D_z pro zastavení viz *Tab. 2.1*, v nejmenším dovoleném klesání;

b) D_p pro předjíždění viz *Tab. 2.3*

h_1 výška řidičova oka nad jízdním pásem (uvažuje se hodnota $h_1 = 1,20$ m)

h_2 výška v m

a) nejmenší viditelná překážka ve vzdálenosti D_z na jízdním pásu podle *Tab. 2.2*.
nebo

b) zorného paprsku dopadajícího na vozidlo přijíždějící ve vzdálenosti

D_p protisměru (uvažuje se hodnota $h_2 = 1,20$ m)

Pro doplnění je třeba zmínit, že je v normě řečeno, že nejmenší doporučené hodnoty poloměrů vypuklých výškových oblouků pro zastavení, zde podle *Tab. 2.4*, jsou na mezinárodních dálnicích a silnicích považovány za nejmenší dovolené.

2.1.4 Poloměry vydatých výškových oblouků

Nejmenší dovolené a doporučené poloměry vydatých výškových oblouků jsou uvedeny v *Tab. 2.5* a doplněny metodikou výpočtu podle rov (2.4).

Tab. 2.5 Nejmenší poloměry vydatých výškových oblouků podle [2]

R_v v m	při návrhové rychlosti v km/h					
	120	100	80	70	60	50
nejmenší doporučený	6 000	4 200	3 000	2 000	1 500	1 200
nejmenší dovolený	5 000	3 400	2 100	1 500	1 000	700

*¹ Způsob výpočtu nejmenších dovolených hodnot R_v je uveden v příloze H.

$$R_u = \frac{D_z^2}{2(h_s + D_z \tan \alpha')} \quad (2.4)$$

kde D_z je délka rozhledu pro zastavení s největším dovoleným klesáním v m podle *Tab. 2.1*
 h_s výška světlometu nad jízdním pásem (uvažuje se hodnota $h_s = 0,75$ m)
 α' úhel mezi horním okrajovým paprskem světelného kužele světlometu a jeho osou (uvažuje se hodnota $\alpha' = 1^\circ$)

Ani při výpočtu nejmenších poloměrů vydutých výškových oblouků není zřejmé, pro který řádek tabulky *Tab. 2.5* byly hodnoty vypočteny. Dále je v normě i pro vyduté oblouky napsáno, že nejmenší doporučené hodnoty vydutých výškových oblouků podle *Tab. 2.5*, se na mezinárodních dálnicích a silnicích považují za nejmenší dovolené.

2.2 Norma pro projektování místních komunikací z roku 1986

ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 1986 [6], uvádím záměrně až po normě pro projektování silnic a dálnic z roku 2000, protože změna ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací Z1, 1995 [7] zasahuje mnou zkoumanou problematiku pouze tak, že mění minimální podélný sklon místních komunikací z hodnoty 0,3 % na hodnotu 0,5%, což pro konečné výpočty nic nemění a změna ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací Z2, 2003 [8] upravila největší podélné sklony u jednotlivých funkčních skupin, čímž také nijak nezasáhla do výpočtů výškových oblouků, proto tuto normu uvažuji v jejím znění za platnou a odkazující se k metodice z ČSN 73 6101 [2] z roku 2000.

2.2.1 Délky rozhledu pro zastavení

V normě ČSN 73 6110 [6] z roku 1986 je uvedena tabulka délek rozhledu pro zastavení, zde je uvedena jako *Tab. 2.6*, která se v hodnotách liší od ČSN 73 6101 [2] z roku 2000 z důvodu započítávané odlišné reakční doby. Do rovnice (2.1) se tedy v prvním členu, místo hodnoty postřehu a reakční doby 1,5 s, musí uvažovat hodnota upravená pro místní komunikace 1,0 s. Kromě návrhových rychlostí se pak tabulka odlišuje tím, že hodnoty v řádcích pro stoupání a klesání v hodnotě ± 9 % připouští pro všechny další větší resp. menší sklony.

Tab. 2.6 Délky rozhledu pro zastavení D_z v m podle [6]

Podélný sklon jízdniho pásu v %		Návrhová rychlost v_n v km/h					
		100	80	70	60	50	40 30 25 až 20
klesání	≥ - 9	–	–	–	–	35	25 20 15
	- 8	–	–	–	50	35	
	- 7	–	–	–	50	35	
	- 6	–	100	70	50	35	
	- 5	–	90	70	50	35	
	- 4,5	150	90	70	50	35	
	- 4	150	90	70	50	35	
	- 3	140	90	65	50	35	
	- 2	140	90	65	50	35	
	- 1	140	90	65	45	35	
	0	140	90	65	45	35	
stoupání	1	130	80	65	45	35	
	2	130	80	65	45	35	
	3	130	80	60	45	35	
	4	130	80	60	45	35	
	4,5	120	80	60	45	35	
	5	–	80	60	45	30	
	6	–	80	60	45	30	
	7	–	–	–	45	30	
	8	–	–	–	45	30	
	≥ 9	–	–	–	–	30	

Poznámka: Způsob výpočtu podle ČSN 73 6101 při době postřehu a reakce 1,0 s.

2.2.2 Délky rozhledu pro předjíždění

Délky rozhledu pro předjíždění jsou v této normě totožně jako v ČSN 73 6101 [2], viz Tab. 2.3, s tím rozdílem, že je tabulka rozšířena o hodnotu pro návrhovou rychlost 30 km/h, viz Tab. 2.7. Stejně jako v předchozí normě, ani tato pro tabulku neuvádí žádný odkaz na metodiku výpočtu.

Tab. 2.7 Délky rozhledu pro předjíždění v m podle [6]

Návrhová rychlost v km/h	100	80	70	60	50	40	30
Délka rozhledu v m	590	440	370	300	240	180	120

2.2.3 Poloměry vypuklých výškových oblouků

ČSN 73 6110 [6] uvádí tabulku pouze dovolených poloměrů vypuklých oblouků, viz Tab. 2.8, na rozdíl od normy ČSN 73 6101 [2], která uvádí i poloměry doporučené. Tabulka dále odkazuje na způsob výpočtu podle [2], přičemž délky rozhledu pro zastavení vkládá do výpočtu z tabulky obsažené v [6], viz Tab. 2.6.

Tab. 2.8 Nejmenší dovolené poloměry vypuklých výškových oblouků R_v podle [6]

R_v v m	Návrhová rychlost v km/h						
	100	80	70	60	50	40	30
pro zastavení	10 000	4 500	2 500	1 200	600	300	200
pro předjíždění	–	21 000	15 000	10 000	6 000	3 400	1 500
Poznámka: Způsob výpočtu podle metodiky v ČSN 73 6101.							

Když jsem se zaměřil na Tab. 2.8, zjistil jsem, že právě tato tabulka svými hodnotami odpovídá tabulce ze slovenské normy STN 73 6110 [11] z roku 2004, viz Tab. 1.2, jejíž nesrovnalost s tabulkou z ČSN 73 6110 [9] z roku 2006 byla hlavním podnětem pro tuto bakalářskou práci. Je tedy zřejmé, že slovenská norma, ze které bylo ve vysokoškolské učebnici Mestské komunikácie – Zásady navrhovania [1] citováno, je ve znění českých již neplatných norem. Stále ale není zřejmé, proč se podle metodiky některé hodnoty poloměrů snížily a některé naopak zvýšily. Na tuto problematiku se více zaměřím v podkapitole 3.2.

2.2.4 Poloměry vydutých výškových oblouků

Z ČSN 73 6110 [6] z roku 1986 je tabulka vydutých oblouků, zde viz Tab. 2.9, a i tato se odkazuje na metodiku výpočtu podle normy na projektování silnic a dálnic z roku 2000.

Tab. 2.9 Nejmenší dovolené poloměry vydatých výškových oblouků R_v podle [6].

R_v v m	Návrhová rychlost v km/h							
	100	80	70	60	50	40	30	$\frac{20}{25}$
	3400	2100	1300	800	500	300	200	110
Poznámka: Způsob výpočtu podle metodiky v ČSN 73 6101.								

2.3 Norma pro projektování silnic a dálnic z roku 2004

V nové normě ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2004 [3] dochází k zásadní změně, která má vliv na výpočet poloměrů vypuklých výškových oblouků. V normě je v předmluvě mimo jiné napsáno, že průměrná výška oka řidiče nad vozovkou uvažovaná pro výpočty rozhledu byla změněna z 1,20 m na 1,00 m. Na tomto místě připomínám, jak jsem již uváděl v podkapitole 2.1.3, že v této normě bylo při výpočtu délky rozhledu pro zastavení upuštěno od redukčního součinitele, do kterého vstupovala hodnota výšky oka řidiče, jak je zřejmé z porovnání rovnic (2.2) a (2.5). Proto by mělo v normě být napsáno, že je průměrná výška oka řidiče nad vozovkou uvažována pro výpočty nejmenších poloměrů výškových oblouků. Norma dále zavádí mimo návrhové rychlosti i rychlost směrodatnou, proto se s ní v tabulkách a výpočtech pro tuto problematiku setkáváme, ale nijak výpočty neovlivňuje. Pro doplnění ještě musím zmínit, že oprava normy z roku 2005 ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic OPRAVA 1, 2005 [4] do problematiky rozhledů a velikosti poloměrů výškových oblouků nijak nezasáhla.

2.3.1 Délky rozhledu pro zastavení

Tabulka pro délky rozhledu pro zastavení z ČSN 73 6101 [3] z roku 2004 viz Tab. 2.10 doznala oproti tabulce z ČSN 73 6101 [2] z roku 2000, viz Tab. 2.1 jistých změn. Délka rozhledu pro zastavení pro rychlosti 40, 30 a 25 až 20 km/h se nyní uvažuje až do sklonu 12%. Druhou změnu oproti Tab. 2.1 jsem našel ve sloupci 80 km/h a řádku -5%. V tabulce v normě z roku 2000 je v této buňce udána hodnota 100 m. Vzhledem k tomu, že metodika výpočtu se změnila pouze vypuštěním redukčního součinitele, který ovlivňoval pouze hodnoty pro návrhovou rychlost 120 km/h, jedná se buď o tiskovou chybu, nebo o rozdíl v zaokrouhlení ve členu zohledňující bezpečnostní odstup vozidla od překážky.

Tab. 2.10 Délky rozhledu pro zastavení D_z podle [3]

Podélný sklon jízdniho pásu v %		D_z v m při návrhové/směrodatné rychlosti v_p/v_s v 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			
stoupání	0	240	200	170	150	120	100	75	55	40			
	1	240	200	170	150	120	100	75	55	40			
	2	230	190	160	140	120	90	70	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				

^{*)} Způsob výpočtu viz přílohu B.
^{**)} Platí pro stoupání a klesání do 12 %.

Metodika výpočtu z ČSN 73 6101 [3] z roku 2004 uvádí opět výpočet pro základní délku rozhledu pro zastavení, která je totožná s rovnicí (2.1), proto jí zde neuvádím. Dále uvádí rovnici pro výpočet výsledné délky rozhledu pro zastavení (2.5), která je skoro stejná, pouze se upustilo od redukčního součinitele, vyjádřeného relativním poměrem průměrné výšky oka řidiče a nejmenší viditelnou překážkou, a k bezpečnostnímu odstupu přidává index I pro odlišení od bezpečnostního odstupu u délky rozhledu pro předjíždění. Tuto rovnici opět uvádím v neupraveném tvaru oproti normě.

$$D_z = \frac{1,5v_{n(s)}}{3,6} + \frac{v_{n(s)}^2}{2g_n \cdot 3,6^2 (f_v \pm 0,01s)} + b_{v1} \quad (2.5)$$

- kde $v_{n(s)}$ je návrhová/směrodatná rychlost v km/h
 g_n normální tíhové zrychlení; $g_n \cong 9,81 \text{ m/s}^2$
 f_v výpočtový součinitel brzdného tření na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky v hodnotě 1,6 mm podle *Tab. 2.11*
 s Podélný sklon jízdního pásu v %
 b_{v1} bezpečnostní odstup vozidla od překážky v m, rovný zaokrouhlení výsledku na nejbližší vyšších 10 m při $v_n \geq 80 \text{ km/h}$ a na nejbližší vyšších 5 m při $v_n < 80 \text{ km/h}$.

Výpočtový součinitel brzdného tření se odkazuje na *Tab. 2.11*, která je oproti původní normě z roku 2000 rozšířená o rychlost 130 km/h a rychlosti 25 a 20 km/h byly odebrány. Z tabulky se taky odstranily hodnoty průměrné výšky nejmenší viditelné překážky, které byly přesunuty do metodiky výpočtu pro vypuklé výškové oblouky, viz podkapitola 2.3.3.

Tab. 2.11 Výpočtové prvky délky rozhledu pro zastavení podle [3]

$v_{n(s)}$ (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

2.3.2 Délky rozhledu pro předjíždění

Délky rozhledu pro předjíždění z ČSN 73 6101 [3] z roku 2004 viz *Tab. 2.12* zaznamenaly oproti ČSN 73 6101 [2] z roku 2000 větší změny v řádech desítek metrů a byly doplněny v příloze o metodiku výpočtu podle rovnice pro základní délku rozhledu pro předjíždění D'_p (2.6) a podle rovnice pro výslednou délku rozhledu pro předjíždění D_p (2.7).

Tab. 2.12 Délky rozhledu pro předjíždění D_p podle [3]

Návrhová/směrodatná rychlost v km/h	90	80	70	60	50	40
Délka rozhledu v m	550	500	450	400	300	200
*) Způsob výpočtu viz přílohu B						

$$D_p' = \frac{1,112v_{n(s)}^2 + 32v_{n(s)}}{\Delta v} \quad (2.6)$$

kde v_n je návrhová/směrodatná rychlost v km/h
 Δv uvažovaný rozdíl rychlosti vozidla předjíždějícího návrhovou/směrodatnou rychlostí a rychlostí předjížděného vozidla podle *Tab. 2.13*.

$$D_p = D_p' + b_{v2} \quad (2.7)$$

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

Tab. 2.13 Rozdíl mezi $v_{n(s)}$ a rychlosti předjížděného vozidla podle [3]

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

2.3.3 Poloměry vypuklých výškových oblouků

ČSN 73 6101 [3] vypouští z tabulky Nejmenších poloměrů vypuklých výškových oblouků doporučené hodnoty poloměrů pro zastavení a stanovuje pouze poloměry dovolené jak pro zastavení, tak pro předjíždění, viz *Tab. 2.14*. Hodnoty nejmenších dovolených poloměrů pro zastavení se zdají být téměř jako zprůměrované hodnoty dovolených a doporučených poloměrů z ČSN 73 6101 [2] z roku 2000, zde z tabulky *Tab. 2.4*. Délky rozhledů pro zastavení zůstaly prakticky nezměněné, ale do metodiky výpočtu pro vypuklé výškové oblouky vstupuje změněná hodnota výšky oka řidiče 1,0 m a taky tabulka nejmenších viditelných překážek doznala změn, viz *Tab. 2.16*. Ale přesto se zdá být divné, že hodnota dovoleného poloměru pro návrhovou rychlost 120 km/h z tabulky *Tab. 2.14* je totožná s hodnotou doporučenou z tabulky *Tab. 2.4* a hodnota dovoleného poloměru pro návrhovou rychlost 50 km/h z tabulky *Tab. 2.14* už je naopak totožná s hodnotou dovolenou z tabulky *Tab. 2.4*.

Tab. 2.14 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků R_v podle [3]

R_v v m	při návrhové rychlosti (v_n) / směrodatné rychlosti (v_s) 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 dovolený pro předjíždění	-	-	-	-	37 000	31 000	25 000	20 000	11 000	5 000

^{*)} Způsob výpočtu nejmenších dovolených hodnot R_v je uveden v příloze G.

Nejmenší dovolené poloměry pro předjíždění jsou v tabulce Tab. 2.14 zvětšeny oproti předešlé normě v některých případech až o 10 000 m. Avšak tabulka byla v roce 2009 upravena změnou normy ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic ZMĚNA Z1, 2009 [5] tak, že dovolené hodnoty pro předjíždění byly označené jako hodnoty doporučené, viz Tab. 2.15 a k tabulce byl přidán dovětek, že předjíždění je umožněné i u menších poloměrů vypuklých výškových oblouků, ale je třeba prokázat délky rozhledu pro předjíždění. Tím norma říká, že hodnoty jsou předdimenzovány a umožňuje projektantům pružněji postupovat při návrhu výškových řešení. Podobně k tomu přistupuje i norma ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006 [9], viz podkapitola 2.4.3.

Tab. 2.15 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků R_v podle [5]

R_v 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	5 000

^{*)} Způsob výpočtu nejmenších dovolených hodnot R_v je uveden v příloze G.
^{***)} Předjíždění 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 11 a přílohy B.

Metodika výpočtu poloměrů vypuklých výškových oblouků (2.8) se oproti předešlé normě nezměnila, pouze byl upraven parametr výšky oka řidiče, který do výpočtu vstupuje a parametry nejmenších viditelných překážek a délky rozhledu se odkazují na upravené tabulky.

$$R_v = \frac{D_{z(p)}^2}{2(h_1 + 2\sqrt{h_1 h_2} + h_2)} \quad (2.8)$$

kde $D_{z(p)}$ je délka rozhledu v m

a) D_z pro zastavení viz *Tab. 2.10*, v nejmenším dovoleném klesání;

b) D_p pro předjíždění viz *Tab. 2.12*

h_1 výška řidičova oka nad jízdním pásem (uvažuje se hodnota $h_1 = 1,00$ m)

h_2 výška v m

a) nejmenší viditelná překážka ve vzdálenosti D_z na jízdním páse podle *Tab. 2.16*.
nebo

b) zorného paprsku dopadajícího na vozidlo přijíždějící ve vzdálenosti D_p
v protisměru (uvažuje se hodnota $h_2 = 1,00$ m)

Tab. 2.16 Nejmenší viditelné překážky na vzdálenost D_z podle [3]

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

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

2.3.4 Poloměry vydutých výškových oblouků

Metodika výpočtu a všechny parametry dosazované do rovnic zůstaly beze změny, proto je zde uvádět nebude, ale přesto se v tabulce *Tab. 2.17* opět vyskytla nesrovnalost v doporučené hodnotě poloměru pro návrhovou rychlost 80 km/h, oproti tabulce z normy z roku 2000, viz *Tab. 2.4*, kde v téže buňce je hodnota poloměru 3 000 m. Tato odchylka by se dala přisoudit pouze odlišné hodnotě v tabulce pro délky rozhledu pro zastavení D_z *Tab. 2.10* ve sloupci pro rychlost 80 km/h. Ale protože se do poloměrů dosazují hodnoty nejméně příznivé, tak by tato skutečnost neměla hrát roli.

Tab. 2.17 Nejmenší poloměry vydatých výškových oblouků R_u podle [3]

R_u v m	při návrhové rychlosti (v_n) / směrodatné rychlosti (v_s) 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 dovolený	6 000	5 000	4 000	3 400	2 700	2 100	1 500	1 000	700	400

^{*)} Způsob výpočtu nejmenších dovolených hodnot R_u je uveden v příloze H.

2.4 Norma pro projektování místních komunikací z roku 2006

Hlavní podstatná změna, se kterou přichází ČSN 73 6110 [9] z roku 2006, je umožnění vyhnout se použití tabulkových hodnot nejmenších poloměrů a využít metodiky z ČSN 73 6101 [3] z roku 2004 pro výpočet nejmenších poloměrů, což mě opět přivádí k úvaze, že i v normě pro projektování místních komunikací jsou hodnoty poloměrů předimenzované. A jen pro úplnost uvádím poznámku z normy k tabulkám Tab. 2.19 a Tab. 2.20, že hodnoty pro rychlosti > 80 km/h se určí podle normy ČSN 73 6101.

2.4.1 Délky rozhledu pro zastavení

Norma ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006 [9] uvádí tabulku délek rozhledu pro zastavení Tab. 2.18, která je téměř shodná s tabulkou z normy ČSN 73 6110 [6] z roku 1986 viz Tab. 2.6, akorát vypouští návrhové rychlosti 100 a 25 km/h.

Tab. 2.18 Délky rozhledu pro zastavení D_z podle [9]

Podélný sklon jízdniho pásu v %		Dovolená rychlost v_n v km/h						
		80	70	60	50	40	30	20
klesání	≥ -9	–	–	–	35	25	20	15
	-8	–	–	50	35			
	-7	–	–	50	35			
	-6	100	70	50	35			
	-5	90	70	50	35			
	-4,5	90	70	50	35			
	-4	90	70	50	35			
	-3	90	65	50	35			
	-2	90	65	50	35			
	-1	90	65	45	35			
	0	90	65	45	35			
stoupání	1	80	65	45	35			
	2	80	65	45	35			
	3	80	60	45	35			
	4	80	60	45	35			
	4,5	80	60	45	35			
	5	80	60	45	30			
	6	80	60	45	30			
	7	–	–	45	30			
	8	–	–	45	30			
	≥ 9	–	–	–	30			

– způsob výpočtu podle ČSN 73 6101 při době postřehu a reakce 1,0 s;
 – na jednopruhových obousměrných komunikacích se délka rozhledu zdvojnásobuje, dovolená rychlost se navrhuje ≤ 40 km/h.

V roce 2010 vyšla změna normy ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z1, 2010 [10], která ruší Tab. 2.18 a nahrazuje ji Tab. 2.19, kde je změněna pouze hodnota v posledním sloupci pro návrhovou rychlost 20 km/h z délky rozhledu pro zastavení 15 m na 11 m.

Tab. 2.19 Délky rozhledu pro zastavení D_z podle [10]

Podélný sklon jízdního pásu v %		Dovolená rychlost v_n v km/h						
		80	70	60	50	40	30	20
klesání	≥ -9	–	–	–	35	25	20	11
	-8	–	–	50	35			
	-7	–	–	50	35			
	-6	100	70	50	35			
	-5	90	70	50	35			
	-4,5	90	70	50	35			
	-4	90	70	50	35			
	-3	90	65	50	35			
	-2	90	65	50	35			
	-1	90	65	45	35			
0		90	65	45	35			
stoupání	1	80	65	45	35			
	2	80	65	45	35			
	3	80	60	45	35			
	4	80	60	45	35			
	4,5	80	60	45	35			
	5	80	60	45	30			
	6	80	60	45	30			
	7	–	–	45	30			
	8	–	–	45	30			
	≥ 9	–	–	–	30			

– způsob výpočtu podle ČSN 73 6101 při době posíření a reakce 1,0 s;
 – na jednopruhových obousměrných komunikacích se délka rozhledu zdvojnásobuje, dovolená rychlost se navrhuje ≤ 40 km/h.

2.4.2 Délky rozhledu pro předjíždění

Tato norma uvádí stejné délky rozhledu pro předjíždění jako ČSN 73 6101 [3] z roku 2004, pouze zredukovaná o návrhové rychlosti, viz Tab. 2.20.

Tab. 2.20 Délka rozhledu pro předjíždění D_p podle [9]

Návrhová rychlost v km/h	80	70	60
Délka rozhledu v m	500	450	400

2.4.3 Poloměry vypuklých výškových oblouků

ČSN 73 6110 [9] z roku 2006 uvádí tabulku nejmenších poloměrů vypuklých výškových oblouků, viz *Tab. 2.21*, která je oproti původní normě upravena, jelikož vychází z nové metodiky. Zde se právě nachází největší rozkol, protože některé hodnoty poloměrů jsou zvětšeny a některé naopak zmenšeny. Poloměry pro předjíždění byly ustanovené vyšší.

Tab. 2.21 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků R_v podle [9]

R_v v m	Návrhová rychlost v km/h							
	100	80	70	60	50	40	30	20
pro zastavení	7 500	4 000	3 200	1 800	1 000	450	200	100
pro předjíždění	-	-	25 000	20 000	-	-	-	-

2.4.4 Poloměry vydutých výškových oblouků

V této normě jsem narazil na další zvláštnost a rozpor. Norma totiž udává tabulku nejmenších vydutých oblouků *Tab. 2.22*, ve které jsou odlišné hodnoty oproti tabulce z normy ČSN 73 6110 [6] z roku 1986, viz *Tab. 2.9*, přestože metodika výpočtu nejmenších výškových oblouků nezaznamenala vůbec žádné změny. Hodnoty pro návrhové 70 - 40 km/h jsou větší a hodnota poloměru pro návrhovou rychlost 30 km/h je naopak menší než ve výše zmíněné tabulce. Jediná hodnota, která do výpočtu vstupuje jiná, je změna délky rozhledu pro zastavení D_z pro návrhovou rychlost 20 km/hm kterou upravila ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2010 [10], ale tabulku nejmenších poloměrů vydutých oblouků nechala stejnou. Paradoxně tak jediná hodnota, která měla být změněná, zůstala stejná.

Tab. 2.22 Nejmenší poloměry vydutých výškových oblouků R_u podle [9]

R_u v m	Návrhová rychlost v km/h							
	100	80	70	60	50	40	30	20
pro zastavení a předjíždění	3 400	2 100	1 500	1 000	700	350	180	110

V tabulce je navíc upřesněno oproti staré tabulce, že se jedná o poloměry pro zastavení i pro předjíždění.

2.5 Souhrn přehledu norem

Z rešerše norem jsem tedy zjistil, že rozdíl mezi slovenskou a českou normou je v tom, že slovenská norma ještě nebyla aktualizovaná a vychází ze staré metodiky. Dále se z rešerše dá usuzovat, že problém může být i v délce rozhledu pro předjíždění, která se změnila téměř dvojnásobně. Pak také délka rozhledu pro zastavení se zdá být nepřesná. Metodika výpočtu se změnila, ale přesto zůstaly hodnoty stejné. Jako další problém se ukazuje výška viditelné překážky na vozovce, která zaznamenala největší změnu. A v neposlední řadě je třeba zhodnotit rozdíly výškových vypuklých oblouků.

3. Sestavení a aplikace soustav tabulek

Po zjištění dalších otázek, které vyplynuly z rešerše norem, jsem jako další krok zvolil tvorbu vlastních soustav tabulek, které jsem vytvořil podle metodik uvedených v jednotlivých normách, a jsou dodány v přílohách bakalářské práce A, B, C, D a E. Z tabulek je možné vyčíst mnoho zajímavých informací, ale pro účely mé bakalářské práce se zaměřím především na v tuto chvíli platné normy a starších norem se dotknu jen okrajově.

3.1 Popis tabulek

V tabulkách jsou uvedeny výsledky výpočtů návrhových parametrů, dle daných metodik uvedených v normách, na které odkazují názvy příloh, vyjma přílohy D. *Soustava tabulek pro ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2004 (B)*, kterou jsem vyhotovil, kvůli velkým nesrovnalostem. Do výpočtů vstupují hodnoty také převzaté z daných norem,

kde	t_r	je	reakční doba řidiče v s
	g_n		normální tíhové zrychlení v m/s^2
	v_n		návrhová rychlost v km/h
	Δv		uvažovaný rozdíl rychlosti vozidla předjíždějícího a předjížděného
	f_v		výpočtový součinitel brzdného tření na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky v hodnotě 1,6 mm.
	α		úhel mezi horním okrajovým paprskem světelného kužele světloometu a jeho osou ve $^\circ$
	h_1		výška řidičova oka nad jízdním pásem v m
	h_2		výška nejmenší viditelné překážky ve vzdálenosti D_z resp. D_p v m
	h_s		výška světloometu nad jízdním pásmem v m
	s		podélný sklon jízdního pásu v %

Tabulky pro nejmenší poloměry výškových oblouků, jak vypuklých, tak vydutých, jsou konstruovány pro kladné i záporné podélné sklony pouze proto, aby odpovídaly tabulkám délek rozhledů pro zastavení. Pro praktické použití by kladné hodnoty podélných sklonů neměly význam.

V tabulkách jsou červeně podbarveny buňky, ve kterých se mnou vypracované tabulky liší od tabulek z norem. Tyto odlišnosti jsou dány buď jiným zaokrouhlením, nebo odlišným postupem výpočtu, což vysvětlím níže.

Na konci každé soustavy tabulek je shrnutí rozdílů mých výsledků od normově udávaných (označené jako *rozdíly hodnot*), a to tak, že od normových hodnot odečítám největší vypočtené hodnoty (tzn. z řádku pro největší klesání) při dané návrhové rychlosti. V případě, kdy norma uvádí doporučené i dovolené hodnoty, vkládám do rozdílu hodnoty doporučené.

Pro doplnění ještě uvádím, že v normách ČSN 73 6101 [2] z roku 2000 a ČSN 73 6110 [6] z roku 1986 není popsána metodika výpočtu pro délky rozhledu pro předjíždění, proto v soustavách tabulek v příloze A a B, které se odkazují na tuto normu, jsou délky rozhledu pro předjíždění pouze opsány z normy a nejsou vypočítány.

3.2 Zhodnocení vypočtených hodnot

Pro přehlednost jsem výsledky porovnávání rozdělil do podkapitol, v první se ještě pro zajímavost zmíním o dnes již nepoužívaných normách, které cituji v textu, a další podkapitoly se už budou týkat výsledků pro normy ČSN 73 6101 [3] z roku 2004 a ČSN 73 6110 [9] z roku 2006.

3.2.1 Soustavy tabulek pro neaktuální normy z let 1986 a 2000

Obě tyto normy, ČSN 736101 [2] z roku 2000 a ČSN 73 6110 [6] z roku 1986, budu v této podkapitole značit pouze rokem vydání. Popis se odkazuje na přílohy A a B této práce.

V tabulce D_z z roku 2000 jsou červeně vyznačené pouze zaokrouhlovací chyby, které na další průběh výpočtů nemají vliv. Hodnotu R_v pro zastavení pro návrhovou rychlost 120 km/h zde jako jedinou ovlivňuje výška překážky. Podle rozdílů R_v pro zastavení není moc zřejmé, jak byly vybírány hodnoty dovolené a doporučené. Například dovolená hodnota pro návrhovou rychlost 100 km/h je o 4000 m podhodnocená, naproti tomu dovolené hodnoty pro rychlosti 70 a 80 km/h jsou stanoveny akorát a doporučené jsou až o 1000 m nadhodnocené. Hodnoty rozdílů R_u se pohybují na pomezí doporučených a dovolených hodnot normových.

Hodnoty D_z z roku 1986 se v zaokrouhlování liší více. Hodnoty pro návrhové rychlosti 20 km/h a 25 km/h byly sjednoceny a od toho se taky odvíjí jediná záporná hodnota pro R_u , která nejspíš vznikla zprůměrováním, já jsem do rozdílů započítával vypočtenou hodnotu pro 25 km/h z tabulky pro D_z . Hodnoty R_v pro zastavení jsou permanentně nadhodnoceny v průměru o 250 m.

Hodnoty R_v pro předjíždění jsou v případech jak z roku 2000, tak z roku 1986 nadhodnoceny zaokrouhlením.

3.2.2 Soustava tabulek pro ČSN 73 6101, 2004 (A), (B)

V těchto soustavách tabulek jsem odhalil největší problém, který vznikl nejspíš postupným vytvářením jednotlivých částí normy, viz příloha C a D této práce.

3.2.2.1 Délka rozhledu pro zastavení

Při zadání vzorců do jednotlivých buněk tabulky pro délky rozhledu pro zastavení a po porovnání s normovou tabulkou bylo na první pohled jasné, že se nejedná o zaokrouhlovací chybu. Pro návrhové rychlosti 130, 120 a 110 km/h se lišily délky rozhledu až o 30 m. Zbylé hodnoty už souhlasily, až na pár výjimek, které byly opět způsobeny zaokrouhlením. Pro potřebu zjištění chyby jsem vytvořil soustavu tabulek (B), ve které jsem se metodou pokus omyl zkusil přiblížit co nejvíce normovým hodnotám. Zjistil jsem, že vstupní hodnoty byly použity ze staré metodiky, přestože norma ČSN 73 6101 [3] z roku 2004 odkazuje ve svých tabulkách již na metodiku novou. Do výpočtu vstupuje dřívější hodnota pro výšku oka řidiče 1,2 m, také do výpočtu vstupuje, podle nové normy už nepoužívaný, redukční součinitel, který zohledňoval výšku překážky, a samotné výšky překážek jsou dosazovány ve starých hodnotách. V soustavě tabulek (B) jsou staré resp. nové hodnoty výšek označené a resp. b .

3.2.2.2 Nejmenší poloměry výškových vypuklých oblouků

Podle rozdílů hodnot ze soustav tabulek (A) bylo zřejmé, že ani mnou vytvořená tabulka poloměrů výškových vypuklých oblouků není totožná s tabulkou, podle které byly normové hodnoty stanoveny. Rozdíly se pohybovaly od - 2700 m do + 630 m a měly značně proměnlivou tendenci. V soustavě tabulek (B) jsem proto vytvořil novou tabulku, kterou jsem opět metodou pokus omyl zkusil pomocí rozdílových hodnot přiblížit co nejvíce pravděpodobným vstupním hodnotám. Variant bylo jen pár a ta výsledná varianta se ukázala být taková, že hodnoty h_1 a h_2 byly už správně brány podle nové metodiky, ale hodnoty délek rozhledu pro zastavení byly použity z výpočtů podle metodiky staré. Pravděpodobně tady

podle této tabulky výškových oblouků byla sestavena tabulka nejmenších výškových vypuklých oblouků v normě ČSN 73 6101 [3] z roku 2004, viz *Tab. 2.14*.

Přestože jsem nejspíš našel správný postup vytvoření stávající tabulky poloměrů výškových vypuklých oblouků, pořád byly rozdíly ve značných odchylkách, jak je možno vidět na výřezu ze soustavy tabulek (B), viz *Obr. 3.1*. Výřezy jsou provedeny pouze do návrhové rychlosti 70 km/h z důvodu přehlednosti a pro vystihnutí hlavních rozdílů.

vn	130	120	110	100	90	80	70
Rv zast. Dovolené	15000	12000	10000	7500	5000	4000	3200
rozdíly hodnot	611,18	2446,93	-418,74	111,64	-656,71	507,85	0,00

Obr. 3.1. Rozdíly normových hodnot a hodnot vypočtených podle přílohy D

Pro rychlost 130 a 100 km/h byly tabulkové hodnoty zvoleny podle výsledků, jen byly zaokrouhleny. Vzniká tak velká bezpečnostní rezerva a finanční náročnost, o které se více rozepteš v podkapitole 4.3. Pro rychlost 90 km/h byla normová hodnota zvolena podobně jako v předchozím případě. Záporná hodnota rozdílů je výsledkem zaokrouhlení, ve kterém se s tabulkovou normou liším, jak je vidět na *Obr. 3.2*. Norma pro podélný sklon - 6% a návrhovou rychlost 90 km/h uvádí hodnotu D_z 130 m, což je ale podle pravidel zaokrouhlování, které jsou uvedené v metodice, špatně. Jak je patrné z *Obr. 3.3*, při použití hodnoty 130 m by normová hodnota nejmenšího poloměru pro návrhovou rychlost 90 km/h vyhovovala, opět s určitou bezpečnostní rezervou. Hodnota poloměru pro podélný sklon - 6 % by vyšla stejně, jako pro podélný sklon - 5 %.

s/vn	130	120	110	100	90	80	70
-9	-	-	-	-	-	-	-
-8	-	-	-	-	-	-	-
-7	-	-	-	-	-	-	-
-6	-	-	-	-	140	110	80
-5	-	-	-	-	130	100	80
-4,5	-	-	190	160	130	100	80
-4	270	220	180	160	130	100	80
-3	260	220	180	160	130	100	75

Obr. 3.2. Délky rozhledu pro zastavení D_z podle přílohy D

Největší problém je v tabulkách pro hodnoty rychlostí 120 a 110 km/h, podobně pak pro hodnoty rychlostí 80 a 70 km/h. Jak je vidět z *Obr. 3.1*, pro návrhovou rychlost 120 km/h je normová hodnota poloměru výškového vypuklého oblouku nadhodnocena o téměř 2 500 m a pro návrhovou rychlost 110 km/h podhodnocena o téměř 500 m. Hodnota pro návrhovou rychlost 80 km/h je zaokrouhlena podobně jako většina hodnot na celé tisíce, zatímco pro návrhovou rychlost 70 km/h je hodnota stanovena na přesný výsledek, aniž by byla přidána jakákoliv bezpečnostní rezerva a jako jediná hodnota z tabulky není zaokrouhlena na celé tisíce resp. pět set metrů.

s/vn	130	120	110	100	90	80	70
-9	-	-	-	-	-	-	-
-8	-	-	-	-	-	-	-
-7	-	-	-	-	-	-	-
-6	-	-	-	-	5656,71	3492,15	3200,00
-5	-	-	-	-	4877,47	2886,08	3200,00
-4,5	-	-	10418,74	7388,36	4877,47	2886,08	3200,00
-4	14388,82	9553,07	9350,89	7388,36	4877,47	2886,08	3200,00
-3	13342,72	9553,07	9350,89	7388,36	4877,47	2886,08	2812,50

Obr. 3.3. Poloměry výškových vypuklých oblouků R_v podle přílohy D

Na *Obr. 3.3* je vidět, že podle platné metodiky korektně vypočtené hodnoty poloměrů pro zmiňované návrhové rychlosti jsou téměř totožné (jsou zakroužkovány červeně). Je to dáno skokovou změnou nejmenší viditelné překážky h_2 na vzdálenost D_z , viz *Tab. 2.16*. Problematiku viditelných překážek budu více rozebírat v podkapitole 4.2. V normě je to evidentně řešeno tak, že pro hodnotu poloměru pro návrhovou rychlost 110 km/h vychází z podélného sklonu – 4 % a zaokrouhlili ji na 10 000m a pro návrhovou rychlost 120 km/h upravili hodnotu poloměru na 12 000m, aby v tabulce byl plynulý přechod mezi návrhovými rychlostmi a nejmenšími poloměry výškových vypuklých oblouků. Ze stejného důvodu byla ponechána pro návrhovou rychlost 70 km/h hodnota 3 200 m, protože pro menší hodnotu by musel být brán podélný sklon o 3 % menší, a pro návrhovou rychlost 80 km/h byla hodnota zvolena přiměřeně plynulosti v rámci pravděpodobné bezpečnostní rezervy.

3.2.2.3 Nejmenší poloměry výškových vydutých oblouků

V soustavě tabulek (A) z přílohy C je výpočet poloměrů vydutých výškových oblouků ovlivněn odlišnou vstupující hodnotou délek rozhledu pro zastavení. Proto rozdíly hodnot nejsou nejpříjemnější. Vypracoval jsem proto opět v soustavě tabulek (B) novou tabulku pro poloměry výškových vydutých oblouků, které vycházejí z nezměněné metodiky výpočtu, ale dosazoval jsem D_z podle staré metodiky. Rozdíly hodnot se pro tento případ pohybují přibližně v mezích mezi doporučenými a dovolenými hodnotami. Ale dovolené hodnoty jsou často podhodnocené v průměru o 400 m. Dovolené i doporučené hodnoty jsou téměř totožné s hodnotami z normy ČSN 73 6101 [2] z roku 2000 a pouze hodnota pro návrhovou rychlost 80 km/h byla mírně upravena.

3.2.2.4 Délka rozhledu pro předjíždění

Soustavy tabulek (A) i (B) se v této problematice neliší. Z důvodu absence metodiky pro výpočet rozhledu pro předjíždění v normě ČSN 73 6101 [2] z roku 2000, jsou v normě ČSN 73 6101 [3] z roku 2004 počítány nezávisle na předchozí normě. Přesto se mnou vytvořená tabulka liší v hodnotě pro návrhovou rychlost 40 km/h od tabulky délek rozhledu pro předjíždění, která je uvedena v normě, viz *Obr. 3.4*.

vn	-	-	-	-	90	80	70	60	50	40
Dp	-	-	-	-	550	500	450	400	300	250

Obr. 3.4. Délky rozhledu pro předjíždění D_p podle přílohy C

Norma uvádí pro návrhovou rychlost 40 km/h hodnotu délky rozhledu pro předjíždění 200 m, viz *Tab. 2.12*. Odlišnost je dána zaokrouhlením. V rovnici pro výpočet výsledné délky rozhledu pro předjíždění D_p , viz rovnice (2.7), je člen b_{v2} , který je roven zaokrouhlení na nejbližší vyšší hodnotu 50 m. Základní délka rozhledu pro předjíždění D_p je v tomto případě rovna 203,948 m, proto b_{v2} má být rovno dopočtu do 250 m. V důsledku tohoto špatného zaokrouhlení je výsledný poloměr výškového vypuklého oblouku pro předjíždění o více než 2 800 m odlišný. Poloměry vypuklých oblouků pro ostatní návrhové rychlosti se pohybují kolem normových hodnot, rozdíly uvedené v soustavách tabulek jsou v přípustné míře vzhledem k velikosti poloměrů.

3.2.3 Soustava tabulek pro ČSN 73 6110, 2006 a Z1, 2010

Tabulku pro délky rozhledu pro zastavení D_z porovnávám se změnou normy ČSN 73 6110 Z1 [10] z roku 2010. Je vidět, že stejně jako u normy z roku 1986 se liší hodnoty pro návrhové rychlosti 30 a 20 km/h. Od návrhové rychlosti 25km/h se upustilo. Jak je uvedeno výše, změna Z1 snížila délku rozhledu pro zastavení pro návrhovou rychlost 20 km/h na 11 m, proto tento rozdíl neuvažuji jako zásadní. Ani nesouhlasné výsledky u návrhové rychlosti 30 km/h nepovažuji za zásadní.

Při pohledu na rozdíly hodnot, jak je znázorněno na *Obr. 3.5*, jsem zaznamenal stejný jev jako v předchozím případě. Při porovnání tabulek bylo zřejmé, že nadhodnocené poloměry jsou dány potřebou vyrovnat skokovou změnu výšky překážek.

vn	100	80	70	60	50	40	30	20
Rv zast. dovolené	7500	4000	3200	1800	1000	450	200	100
rozdíl hodnot	1006,33	1113,92	750,00	550,00	387,50	137,50	87,50	50,00

Obr. 3.5. Rozdíl normových hodnot a hodnot vypočtených podle přílohy E

Prvotní podnět pro tvorbu této bakalářské práce byl v nekonstantní změně poloměrů výškových vypuklých oblouků pro zastavení, která je způsobena změnou hodnot výšek nejmenších viditelných překážek. V normě ČSN 73 6110 [6] z roku 1986 se podle metodiky usuzovaly všechny hodnoty nejmenších viditelných překážek rovny nule. Z toho důvodu se v nové normě z roku 2006 některé hodnoty zmenšily, zatímco jiné buď zůstaly, nebo byly navýšeny z důvodu vyrovnání skokové změny těchto výšek.

Zbylé normové parametry, délky rozhledu pro předjíždění D_p , nejmenší poloměry výškových vypuklých oblouků pro předjíždění a nejmenší poloměry výškových vydutých oblouků jsou už v přibližně stejných hodnotách, jako parametry vypočtené.

4. Vybrané vstupní a výstupní hodnoty

Po zpracování obsáhlé rešerše, a po porovnání mnou sestavených tabulek s tabulkami z normy, jsem se rozhodl na některé vstupy a výstupy podívat podrobněji a zvážit jejich číselné hodnoty, popřípadě upravit některé metodické záležitosti. Dále v textu se omezují už pouze na problematiku poloměrů výškových vypuklých oblouků, a to pouze pro zastavení. Problematika veškerých výše uváděných parametrů a hodnot je natolik obsáhla, že by ji moje bakalářská práce nemohla dostatečně vystihnout a vysvětlit.

4.1 Délka rozhledu pro zastavení

Při propočítávání a ověřování vzorců v normách, jsem dospěl k závěru, že výrazné ovlivnění výsledku je dáno tím, že vzorec (2.5) pro výpočet délky rozhledu pro zastavení nikterak nezohledňuje změnu sklonu vozovky, ke které dochází při zaoblení výškového polygonu parabolou druhého stupně. Do vzorce je dosazován pouze sklon roviny, po které se vozidlo pohybuje, tedy sklon tečny výškového polygonu, a je jím redukován součinitel brzdného tření. Tuto hodnotu poté norma aplikuje na výpočet poloměru oskulační kružnice paraboly druhého stupně. Z logiky věci se však sklon, který je dosazován do výše zmíněného vzorce, na výškovém oblouku nikde nenalézá, kromě bodu styku paraboly s tečnou výškového polygonu.

Ještě musím poznamenat, že třetí člen ve vzorci (2.5), označený jako $b_{v,l}$ a popsáný jako bezpečnostní odstup vozidla od překážky, je vlastně pouze estetický prvek pro výsledek v tabulce, protože je roven zaokrouhlení na nejbližších vyšších 10 respektive 5 metrů. Bezpečnostní odstup se proto může rovnat od téměř 0 m, až po téměř 10 m. Překvapující proto je, že když se takovýto člen použije, aby výpočty seděly s tabulkovými hodnotami a hodnoty v tabulce byly zaokrouhlené, v délce rozhledu pro zastavení a v následujícím kroku při určení poloměru výškových oblouků, se výpočty se zaokrouhlenými hodnotami v tabulce liší až o tisíc metrů.

Délka rozhledu pro zastavení je používána pro více normových parametrů, ale pro výškové oblouky je mírně nepřesná a v kapitole 5. se pokusím stanovit novou metodiku pro výpočet minimálních poloměrů výškových vypuklých oblouků.

4.2 Výška nejmenší viditelné překážky

Jak je možno vidět z rešerše norem, výška nejmenší viditelné překážky zaznamenala změny v průběhu aktualizace norem. Problém je v tom, zda navrhovat bezpečné poloměry na úkor proveditelnosti nebo předpokládat, že například při rychlosti 130 km/h se na vozovce nikdy nevyskytne předmět o výšce menší než 0,35 m, což je výška nejnižšího bodu účinné svítící plochy brzdových světel.

Další problém podle mého názoru je hodnota 0,0 m, která představuje poruchu vozovky s nebezpečnou hloubkou.

Nakonec jsem se rozhodl uvažovat překážku pro rychlosti 130 a 120 km/h s ohledem na předepsanou častou kontrolu dálnic a rychlostních komunikací. Tyto kontroly by se měly provádět každý den, a protože se výše zmíněné rychlosti uvažují pouze na komunikacích tohoto typu, ponechal jsem výšku překážky na hodnotě 0,35 m.

Výšku překážky o hodnotě 0,0 m jsem se rozhodl nahradit hodnotou 0,1 m pro rychlosti 70, 60, 50 a 40 km/h. Odůvodňuji to tím, že většina poruch vozovek, které jsou ještě neoznačené přechodným dopravním značením, nejsou natolik nebezpečné, aby před nimi musel řidič zastavovat. Navíc prudké brzdění vozidla může být nebezpečnější, než pouhé snížení rychlosti pro provedení úhybného manévru. U hodnot 30 km/h a méně jsem nulovou hodnotu zanechal, protože snížení rychlosti u poruch vozovky se většinou provádí na rychlost 30 km/h a návrh komunikace s touto návrhovou rychlostí by tomu tedy už měl být přizpůsoben.

4.3 Poloměry výškových vydutých oblouků a jejich zaokrouhlení

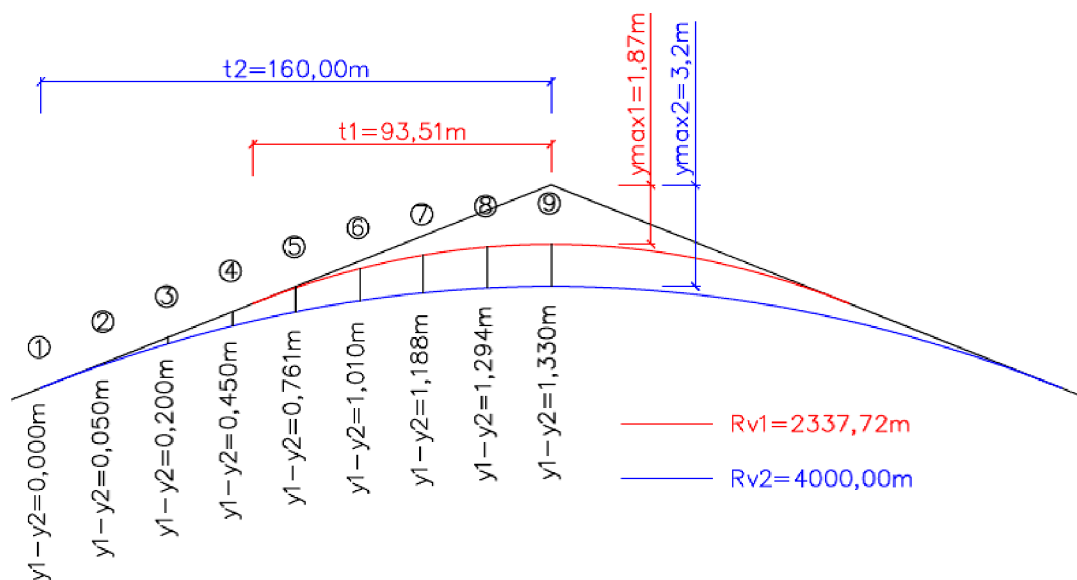
Protože jsem při rešerši zjistil, že vypočtené hodnoty poloměrů výškových oblouků jsou hodně zaokrouhlovány, rozhodl jsem se zjistit, jakou finanční náročnost představuje množství vytěžené zeminy, při uvažování různých poloměrů výškových vypuklých oblouků. Je třeba si uvědomit, že zemní práce spojené s výstavbou komunikací patří do kategorie finančně nejnáročnějších prací. Přestože se často počítá s převážením vytěžené zeminy na jiné místo stavby, kde by tato zemina mohla být použita do tělesa násypu, není vždy toto možno provést z důvodu špatné kvality vytěžené zeminy. Často tak můžou růst náklady výstavby.

Rozhodl jsem se proto použít idealizovaný příklad, na kterém chci ukázat finanční rezervy, které skýtá právě zaokrouhlení ve výsledcích. Může se stát, že projektant má

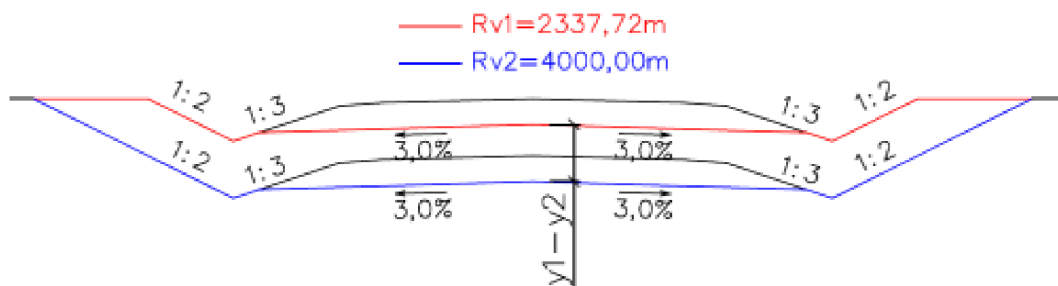
možnost snížit množství odtěžené zeminy, pokud zmenší poloměr výškového vypuklého oblouku, ale velikost minimálního poloměru mu to nedovolí, ačkoliv v tabulce jsou rezervy až 1000 m.

4.3.1 Idealizovaný příklad

Je dána komunikace kategorie S9,5 v intravilánu, pevné tečny výškového polygonu o podélných sklonech $s_1 = 4 \%$, $s_2 = -4 \%$ a návrhová rychlost $v_n = 80$ km/h. Příklad řeším pro dva poloměry, $R_{v1} = 2337,72$ m (červená) a $R_{v2} = 4000$ m (modrá). R_{v1} je získána z mnou sestavených tabulek, viz příloha E, a R_{v2} je získána z tabulky uvedené v ČSN 73 6110 [9] z roku 2006, viz Tab. 2.15. Zemní plán varianty s poloměrem R_{v1} považuji za terén a množství vytěžené zeminy je nulové. Plocha ohraničená červenou a modrou křivkou, jak v podélném profilu, tak v příčných řezech, je množství vytěžené zeminy v m^2 , viz Obr. 4.1 a Obr. 4.2. Hledám cenu za celkový objem vytěžené zeminy při jednotkové ceně 380 Kč za m^3 vytěžené zeminy. V podélném profilu barevné křivky náleží konstrukční vrstvě vozovky, v příčných řezech pak zemní pláni. Při stejné tloušťce konstrukčních vrstev vozovky, je rozdíl výšek vozovek a zemních plání stejný.



Obr. 4.1. Podélný profil pro poloměry R_{v1} a R_{v2} , 10x převýšen.



Obr. 4.2. Příčný řez pro poloměry R_{v1} a R_{v2} s proměnnou $y1-y2$.

Postupuji klasickým výpočtem kubatur, kdy volím řezy po 20 m, určím v každém řezu plochu vytěžené zeminy, zprůměruji dvě sousední plochy a vynásobím 20 m. Plochy z jednotlivých řezů jsou uvedené v tabulce Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Výpočet ceny kubatur

jedna polovina podélného profilu									
řez	1	2	3	4	5	6	7	8	9
plocha (m ²)	0	0,900	3,661	8,463	14,785	20,126	23,095	26,520	27,349
oběm (m ³)	9,00	45,61	121,24	232,48	349,11	432,21	496,15	538,69	
celk. oběm (m ³)	2224,49								
celý podélný profil									
celk. oběm (m ³)	4448,98								
cena za m ³ (kč)	380,00								
celk. cena (kč)	1690612,40								

Množství vytěžené zeminy je v tomto příkladě 4448,98 m³ a cena za zemní práce je 1 690 612,4 Kč. K tomuto výsledku je možné ještě uvažovat, že širším zářezem v případě poloměru $R_{v2} = 4000$ m, může dojít v reálném případě k zasahování do dalších pozemků, zároveň může dojít k problémům se zajišťováním svahů zářezu z důvodu nedostatku prostoru a tyto věci dále prodražují výstavbu.

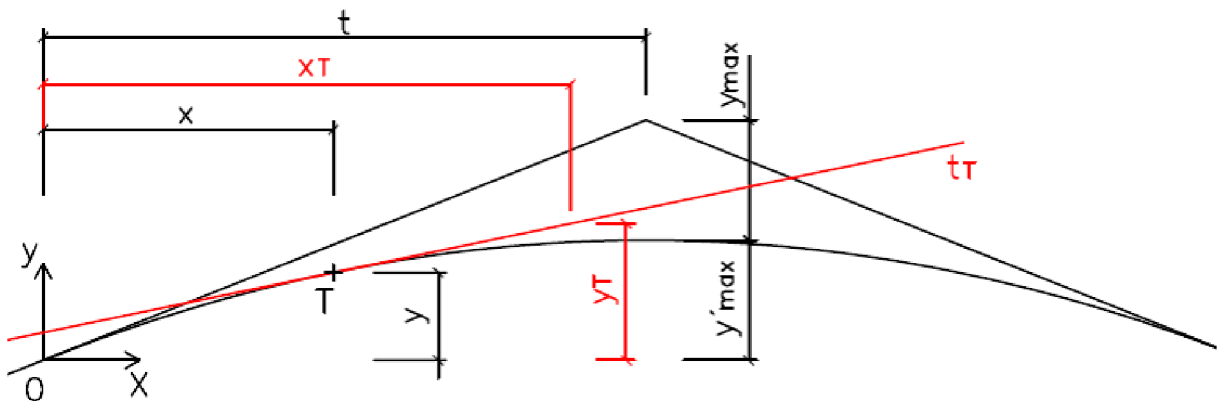
5. Návrh nové metodiky pro výškové vypuklé oblouky

Jak jsem uváděl výše, výpočet oskulační kružnice z brzdné dráhy uvažované na konstantním sklonu je zatížen chybou, která je dána zanedbáním nerovnoměrně zpomaleného pohybu, ke kterému na parabole dochází. Jistěže zjednodušení výpočtu, který udává norma, se přibližuje k výsledku, ale podle mého názoru se v tomto případě nedá hovořit o přijatelném zjednodušení, jak ukazuje idealizovaný příklad výše. Mým hlavním cílem tedy je co nejlépe vystihnout skutečné chování vozidla na dráze, která je určena parabolou. Při stanovování nové metodiky jsem musel odvodit několik vzorců. Zde v textu budu uvádět pouze konečný upravený tvar. Samotné odvozování jednotlivých vzorců je uvedeno v příloze F. *Čistopis odvození použitých rovnic.*

5.1 Analytické vyjádření geometrických prvků výškových oblouků

Pro další výpočty, které povedou k výsledku, jsem nejdřív musel stanovit základní rovnice všech geometrických prvků výškových vypuklých oblouků. Nejdřív jsem vše odvozoval na oblouku se symetrickými tečnami. Zvolil jsem si souřadný systém, který má počátek v bodě, kde začíná zaoblení výškového oblouku a označil hlavní parametry, viz Obr. 5.1, kde:

- y_{\max} je maximální svislá y-ová pořadnice paraboly
- t_r tečna paraboly v libovolném bodě
- t, y'_{\max} jsou souřadnice bodu na parabole v místě lomu tečen
- x, y souřadnice libovolného bodu na parabole
- x_T, y_T souřadnice libovolného bodu na tečně náležící parabole



Obr. 5.1. Geometrické prvky výškových vypuklých oblouků

Po zavedení souřadného systému a hlavních parametrů jsem mohl určit rovnici paraboly (5.1), směrnice tečny (5.2) a rovnici tečny (5.3).

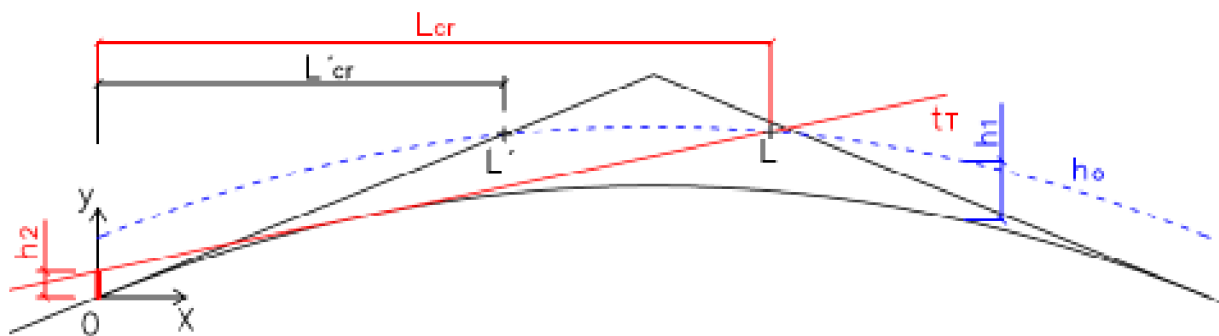
$$\text{rovnice paraboly:} \quad y = -\frac{y'_{\max}}{t^2}x^2 + 2\frac{y'_{\max}}{t}x \quad (5.1)$$

$$\text{směrnice tečny:} \quad y = -2\frac{y'_{\max}}{t^2}x + 2\frac{y'_{\max}}{t} \quad (5.2)$$

$$\text{rovnice tečny:} \quad y_T = \frac{(x_T - t)(2y - 2y'_{\max})}{(x - t)} + 2y'_{\max} - y \quad (5.3)$$

5.2 Kritická vzdálenost L_{cr}

Pro potřeby výpočtu, jsem musel aplikovat jiný parametr než brzdou dráhu. Dopředu se nedá určit, jak dlouhá bude brzdová dráha, když je sklon vozovky proměnný. Mnou nově navržený parametr, kritická vzdálenost, pro výpočet poloměru výškových vypuklých oblouků, je vlastně vzdálenost, na které musí být řidič schopen zastavit při dané návrhové rychlosti. Uvažoval jsem tak, že kritická vzdálenost musí být vzdálenost měřena od nejkritičtější polohy vozidla, kdy řidič zaregistruje překážku na vozovce, po překážku, při uvažování nejhorších sklonů a při uvažování omezení rozhledu, které je dané křivostí paraboly. Jako nejkritičtější polohu vozidla jsem stanovil takovou, kdy oko řidiče, při výšce oka h_1 , protne tečnu výškového oblouku. V takovém případě má řidič nekonečný rozhled, protože mu ve výhledu nebrání křivost paraboly, dívá se totiž po tečně. Dále jsem musel do výpočtu zahrnout výšku překážky h_2 . Tuto jsem umístil do počátku souřadného systému. Vrcholem uvažované překážky jsem vedl tečnu k parabole výškového oblouku a její průnik s parabolou, kterou opisuje oko řidiče, stanovuje bod L , který je počátkem celkové kritické vzdálenosti. V případě, že je výška překážky uvažovaná nulová, pak je celková kritická vzdálenost rovna základní kritické vzdálenosti L'_{cr} , jejíž počáteční bod L' je tvořen průnikem tečny výškového vypuklého oblouku a parabolou opisovanou okem řidiče. Popis kritické vzdálenosti vystihuje *Obr. 5.2*.



Obr. 5.2. Grafické schéma kritické vzdálenosti

Na Obr. 5.2 je znázorněn výše popsáný postup zjištění kritické vzdálenosti, se zvoleným souřadným systémem, kde:

h_1	je	výška oka řidiče
h_2		minimální uvažovaná výška překážky
t_T		tečna paraboly, procházející vrcholem překážky
h_o		parabola opisovaná okem řidiče
L'		bod průniku tečny výškového vypuklého oblouku a paraboly, opisované okem řidiče
L		bod průniku tečny procházející vrcholem překážky a paraboly, opisované okem řidiče
L'_{cr}		základní kritická vzdálenost
L_{cr}		celková kritická vzdálenost

Odvození kritické vzdálenosti je uvedeno v čistopisu, který je přiložen k bakalářské práci. Výsledný vzorec (5.4) závisí pouze na výšce oka řidiče h_1 , výšce uvažované překážky h_2 a poloměru oskulační kružnice R_v . Z toho je možno usuzovat hlavní myšlenku kritické vzdálenosti, že každá parabola, dána poloměrem oskulační kružnice, má právě jednu kritickou vzdálenost bez ohledu na sklony tečen, do kterých je parabola vepisována. Jak jsem uvedl výše, rovnice byly odvozovány na případu, kdy má výškový oblouk symetrické tečny

kritická vzdálenost:
$$L_{cr} = \sqrt{2R_v}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (5.4)$$

Dále jsem musel ověřit, jestli je možné aplikovat tento vzorec, i když budou tečny výškového oblouku nesymetrické. Protože jsou zakružovací oblouky definovány jako paraboly druhého stupně se svislou osou, předpokládal jsem, že každá parabola s nesymetrickými tečnami má základ v parabole se symetrickými tečnami. Odvodil jsem si

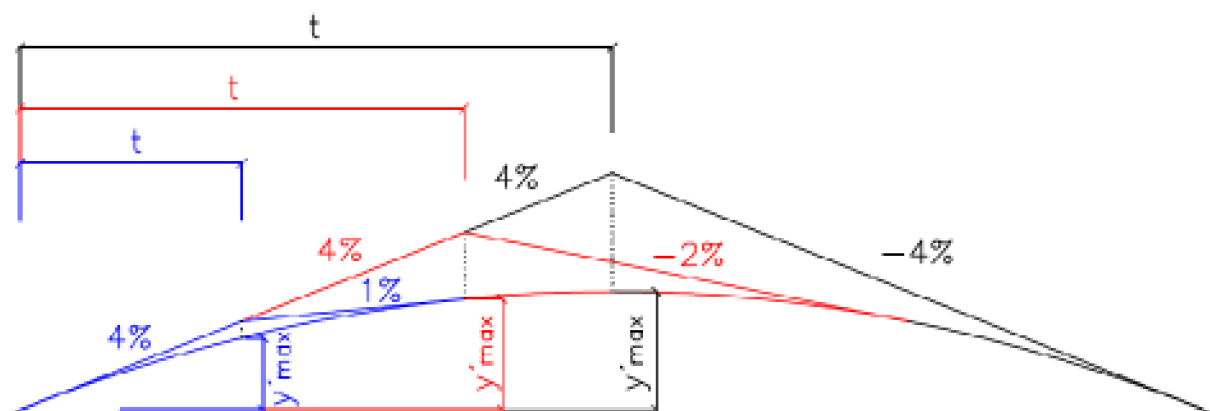
proto rovnice, které jsem označil jako součinitele poměru sklonů. Rovnice (5.5) je přepočtový součinitel pro výšku paraboly v místě lomu sklonů a rovnice (5.6) je přepočtový součinitel pro délku tečny.

$$k_y = \frac{4s_1^2}{(s_1 - s_2)^2} \quad (5.5)$$

$$k_t = \frac{2s_1}{(s_1 - s_2)} \quad (5.6)$$

kde s_1 je větší z podélných sklonů tečen v absolutní hodnotě, dosazovaný v reálné hodnotě
 s_2 menší z podélných sklonů tečen v absolutní hodnotě, dosazovaný v reálné hodnotě

Když jsem součiniteli vynásobil parametry y'_{max} a t u kterékoliv paraboly s nesymetrickými tečnami, vyšly mi výsledky stejné jako u paraboly se symetrickými tečnami, která má sklon tečen roven většímu ze sklonu nesymetrických tečen. Z toho vyplývá, že každá parabola vkládána do různých sklonů je výsek paraboly se symetrickými tečnami o sklonu s_1 , viz Obr. 5.3. Na obrázku jsou konkrétně znázorněny výseky paraboly pro různé sklonové poměry, při hlavním sklonu 4 %.



Obr. 5.3. Grafické znázornění poměrů parabolických parametrů

Rovnice pro kritickou délku je tak aplikovatelná ve všech sklonových případech. V případě, kdy je L_{cr} delší než dvojnásobek délky tečny, je výsledek vždy na stranu bezpečnou.

5.3 Tvorba početního programu

V této podkapitole popisují způsob tvorby programu pro zjištění poloměrů výškových vypuklých oblouku, hodnoty vstupující do výpočtu a jak s programem pracovat. Program je součástí elektronické přílohy G. *Program pro výpočet poloměrů výškových vypuklých oblouků* a je vypracován v programu Excel.

5.3.1 Základní příprava výpočtů

Pro účel zpracování nové tabulky nejmenších možných poloměrů výškových vypuklých oblouků pro zastavení jsem musel sestavit výpočetní program, protože problematika nerovnoměrně zpomaleného pohybu, ke kterému dochází při brzdění vozidla po parabolické dráze, vede ke složitým integrálům.

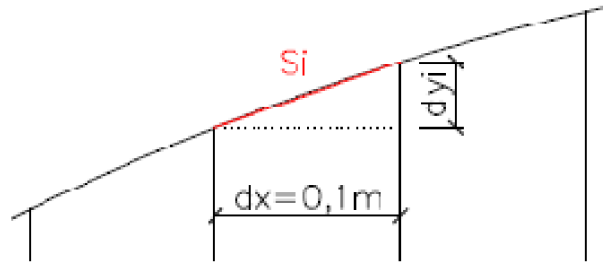
Nejdříve jsem musel odvodit rovnici (5.7) z hybnosti, ze které jsem schopen vypočítat koncovou rychlost vozidla. Rovnice vychází z potenciální a kinematické energie tělesa, v mém případě vozidla, a třecí síly.

$$v_1 = \sqrt{\left(\mu g_n d - g_n h - \frac{1}{2} v_0^2\right)(-2)} \quad (5.7)$$

kde	v_1	je	koncová rychlost vozidla
	v_0		počáteční rychlost vozidla
	μ		součinitel brzdného tření
	g_n		tíhové zrychlení; $g_n \cong 9,81 \text{ m/s}^2$
	d		dráha, po které vozidlo brzdí
	h		výška, překonaná vozidlem v průběhu brzdění

Pro zjednodušení výpočtu jsem parabolu rozdělil na diskrétní úseky $dx = 0,1 \text{ m}$. V těchto úsecích jsem parabolu nahradil úsečkami, které mají sklon určený poměrem dy_i / dx , kde dy_i je rozdíl výšek koncových bodů diskrétních úseček. Délka každé takovéto úsečky je potom přepona trojúhelníku s_i s odvěsnami dx a dy_i , viz Obr. 5.4. Po tomto zjednodušení jsem

mohl sestavit program, do kterého jsem dosazoval rovnici (5.7), kde za dráhu d dosazuji délku odvěsny s_i a jako výška h je dosazován rozdíl výšek dy_i . Jako počáteční rychlost do rovnice vstupuje koncová rychlost předcházejícího počítaného úseku.



Obr. 5.4. Diskretizace paraboly

5.3.2 Vstupní hodnoty

Do výpočtu vstupuje reakční doba řidiče, která je pro extravilánové komunikace $t_r = 1,5$ s a pro intravilánové $t_r = 1,0$ s. Dále je ve výpočtu gravitační zrychlení $g_n = 9,81$ m/s², výška oka řidiče $h_1 = 1,0$ m a sklony tečen paraboly. Další parametry, které jsou do programu zahrnuty, jsou v tabulce Tab. 5.1. Součinitel brzdného tření μ v rovnici (5.7) nahrazuje součinitel brzdného tření z normy f_v . Označení h_2 je pro výšku nejmenší viditelné překážky a v_n je návrhová rychlost.

Tab. 5.1 Tabulka základních vstupních parametrů do programu

v_n	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	25	20
f_v	0,32	0,34	0,36	0,38	0,4	0,43	0,46	0,51	0,56	0,62	0,68	0,715	0,75
h_2	0,35	0,35	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0

5.3.3 Postup výpočtu

Když do programu zadám základní vstupní hodnoty, které jsou popsány v předešlé podkapitole, program vypočítá celkovou kritickou vzdálenost. Tuto hodnotu potom rozdělí po deseti centimetrech a začne vypočítávat ke každému úseku novou příslušnou momentální rychlost, ale až od momentu, kdy řidič na této kritické vzdálenosti ujede dráhu za reakční dobu. Do buňky pak vypíše, jak daleko od překážky vozidlo zastavilo nebo jestli ji přešlo. V závislosti na tom pak buď zvýším, nebo snížím poloměr a snažím se dostat na přijatelnou

vzdálenost vozidla od překážky. Tuto přípustnou vzdálenost uvažuji mezi jedním až pěti metry. Vzhled programu je znázorněn na Obr. 5.5.

VÝPOČET MINIMÁLNÍCH POLOMĚRŮ VÝŠKOVÝCH VYPUKLÝCH OBLOUKŮ										
Vstupní hodnoty					Výstupní hodnoty					
Extravilán					$R_v =$	3000	m	Poloměr oskulační kružnice výškového vypuklého oblouku		
$v_n =$	80	km/h	návrhová rychlost		$b_{v1} =$	2,755	m	odstup vozidla od překážky		
$s_1 =$	6	%	největší rozhodující sklon		$v_{zb} =$	1,6	km/h	zbytková rychlost vozidla		
$h_2 =$	0,1	m	výška viditelné překážky		$L_c =$	101,955	m	kritická vzdálenost		
$s_2 =$	3	%	příslušný sklon druhé tečny							
$h_1 =$	1	m	výška oka řidiče							
$f_v =$	0,43	-	součinitel brzdného tření		$t =$	45,000	m	délka tečny		
$t_r =$	1,5	s	reakční doba řidiče		$t' =$	180,000	m	parametr paraboly		
$g_n =$	9,81	m/s ²	gravitační zrychlení		$\gamma_{max} =$	0,338	m	maximální svislá pořadnice		
$l_r =$	33,33	m	projatá dráha za dobu reakce		$\gamma'_{max} =$	5,400	m	parametr paraboly		

Obr. 5.5. Vzhled programu na výpočet poloměrů výškových vypuklých oblouků, viz příloha G

5.4 Tabulky minimálních poloměrů výškových vypuklých oblouků

Z vytvořeného programu jsem sestavil tabulky nejmenších poloměrů výškových vypuklých oblouků, jak pro extravilán, tak pro intravilán. Hodnoty jsem vypočítal pro všechny možné sklony tečen, aby mohl být návrh poloměrů v praxi pružnější.

Tab. 5.2 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků v extravilánu

s/v_n	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
-9	-	-	-	-	-	-	-	-	550	250	200	80
-8	-	-	-	-	-	-	-	1000	550	250	200	80
-7	-	-	-	-	-	-	-	1000	550	250	200	80
-6	-	-	-	-	5000	3000	1750	950	500	250	200	80
-5	-	-	-	-	4800	2900	1700	950	500	250	200	80
-4,5	-	-	11000	7300	4700	2850	1700	950	500	250	200	80
-4	16500	11000	10800	7100	4600	2800	1650	900	500	250	200	80
-3	15500	10500	10400	6800	4400	2700	1600	900	500	250	200	80
-2	14750	10000	9900	6600	4300	2600	1550	900	450	250	200	80
-1	14000	9500	9500	6300	4100	2500	1550	900	450	250	200	80

V *Tab. 5.2*, ve které jsou poloměry výškových vypuklých oblouků v extravilánu, jsou hodnoty ve sloupcích pro návrhovou rychlost 130, 120 a 110 km/h větší, než jsou uvedeny v normové tabulce, ale je třeba si uvědomit, že norma počítá podle staré metodiky a výsledky u těchto rychlostí jsou jiné.

Tab. 5.3 Nejmenší poloměry vypuklých výškových oblouků v intravilánu

s/v_n	100	90	80	70	60	50	40	30	20
-9	-	-	-	-	-	375	175	125	50
-8	-	-	-	-	750	375	175	125	50
-7	-	-	-	-	700	350	175	125	50
-6	-	4000	2400	1350	700	350	160	125	50
-5	-	3800	2300	1300	650	350	160	125	50
-4,5	6000	3800	2200	1250	650	325	160	125	50
-4	5900	3700	2200	1250	650	325	160	125	50
-3	5600	3500	2100	1200	650	325	160	125	50
-2	5400	3400	2000	1200	600	325	160	125	50
-1	5200	3300	2000	1150	600	325	160	125	50

Všechny hodnoty v ostatních sloupcích, jak v *Tab. 5.2* tak v *Tab. 5.3*, jsou menší než uváděné v normě. Ověřit si to a zjistit velikost rozdílů hodnot je možné z tabulek, které jsou uvedené v rešerši v podkapitolách 2.3.3 a 2.4.3, konkrétně v *Tab. 2.15* a *Tab. 2.21*.

6. Závěr

V práci se mi podařilo, pomocí obsáhlé rešerše, popsat hlavní problémy, které se objevily při přepracování metodik výpočtů, především pak v délkách rozhledu pro zastavení D_z a s nimi souvisejícími nejmenšími poloměry výškových vypuklých oblouků. Sestavil jsem soustavy tabulek, pomocí kterých jsem potvrdil hlavní nepřesnosti v normách.

Pro další pokračování práce jsem se pak zaměřil pouze na nejmenší poloměry výškových vypuklých oblouků R_v , s ohledem na nepřesnou metodiku výpočtu a s ohledem na velkou míru zaokrouhlování těchto poloměrů. Také jsem se na idealizovaném příkladu pokusil dokázat, jak velké finanční náklady může tvořit rozdílné uvažování nejmenších poloměrů.

V závěru práce jsem pak sestavil program, pomocí kterého jsem výpočet nejmenších poloměrů výškových vypuklých oblouků přiblížil co nejvíce reálným situacím v závislosti na nerovnoměrně zpomaleném pohybu vozidla po parabolické dráze. Pomocí tohoto programu jsem pak sestavil nové tabulky nejmenších poloměrů výškových vypuklých oblouků, jak pro extravilánové, tak intravilánové komunikace.

7. Seznam použitých zdrojů

- [1] ĎURČANSKÁ, D. a kol. *Mestské komunikácie – Zásady navrhovania*, EDIS, vydavateľstvo ŽU v Žiline, 2011
- [2] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2000
- [3] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2004
- [4] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic OPRAVA 1, 2005
- [5] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic ZMĚNA Z1, 2009
- [6] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 1986
- [7] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z1, 1995
- [8] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z2, 2003
- [9] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006
- [10] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z1, 2010
- [11] STN 73 6110: Projektovanie miestnych komunikácií, 2004

8. Seznam použitých zkratk a symbolů

Seznam použitých zkratk a symbolů není úplný. Neobsahuje všechny symboly a zkratky s indexem, přidaným pro lepší pochopení vysvětlované problematiky.

b_v	bezpečnostní odstup vozidla od překážky
d	dráha, po které vozidlo brzdí
D_p	celková délka rozhledu pro předjíždění
D'_p	základní délka rozhledu pro předjíždění
D_z	celková délka rozhledu pro zastavení
D'_z	základní délka rozhledu pro zastavení
dx	diskretizovaný úsek paraboly
dy_i	rozdíl výšek koncových bodů diskretních úseček
f_v	výpočtový součinitel brzdného tření na mokré vozovce při hloubce dezénu pneumatiky v hodnotě 1,6 mm.
g_n	normální tíhové zrychlení $g_n \cong 9,81 \text{ m/s}^2$
h	výška, překonaná vozidlem v průběhu brzdění
h_o	parabola opisovaná okem řidiče
h_s	výška světlometu nad jízdním pásem
h_1	výška oka řidiče nad jízdním pásem
h_2	nejmenší viditelná překážka ve vzdálenosti D_z na jízdním páse
k_t	přepočtový součinitel pro délku tečny
k_y	přepočtový součinitel pro výšku paraboly v místě lomu sklonů
L	bod průniku tečny procházející vrcholem překážky a paraboly, opisované okem řidiče
L'	bod průniku tečny výškového vypuklého oblouku a paraboly, opisované okem řidiče
L_{cr}	celková kritická vzdálenost
L'_{cr}	základní kritická vzdálenost
R_v	poloměr výškového vypuklého oblouku
R_u	poloměr vydutého výškového oblouku
s	podélný sklon jízdního pásu v %
s_i	odvėsna diskretizovaného úseku
t	délka tečny výškového oblouku

t_T	tečna paraboly
t_r	reakční doba řidiče
v_n	návrhová rychlost v km/h
v_0	počáteční rychlost vozidla
v_1	koncová rychlost vozidla
x	x-ová souřadnice libovolného bodu na parabole
x_T	x-ová souřadnice libovolného bodu na tečně náležící parabole
y	y-ová souřadnice libovolného bodu na parabole
y_{max}	maximální svislá pořadnice paraboly výškového oblouku
y'_{max}	y-ová souřadnice bodu na parabole v místě lomu tečen
y_T	y-ová souřadnice libovolného bodu na tečně náležící parabole
α'	úhel mezi horním okrajovým paprskem světelného kužele světloometu a jeho osou
Δv	uvažovaný rozdíl rychlosti vozidla předjíždějícího a rychlosti vozidla předjížděného
μ	součinitel brzdného tření

9. Seznam příloh

- A. Soustava tabulek pro ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 1986
- B. Soustava tabulek pro ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2000
- C. Soustava tabulek pro ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2004 (A)
- D. Soustava tabulek pro ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2004 (B)
- E. Soustava tabulek pro ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006
- F. Čistopis odvození použitých rovnic
- G. Program pro výpočet poloměrů výškových vypuklých oblouků