



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta stavební

Studentská vědecká a odborná činnost
Akademický rok 2011/2012

Optimalizace návrhových parametrů **výškových oblouků**

Jméno a příjmení studenta, ročník, obor:

Jan Mahdal, 4. ročník, K

Vedoucí práce:

Ing. Martin Smělý

Katedra / Ústav:

pozemních komunikací

Obsah

Abstrakt	3
Abstract	3
1 Úvod	4
2 Rešerše norem a výsledky	4
2.1 Výšky vstupující do výpočtu vypuklých výškových oblouků	5
2.1.1 Výška oka řidiče	5
2.1.2 Výška nejmenší viditelné překážky	5
2.2 Délka rozhledu pro zastavení	6
2.3 Poloměry výškových vypuklých oblouků	8
2.3.1 Idealizovaný příklad	9
3 Návrh nové metodiky pro výškové vypuklé oblouky	10
3.1 Analytické vyjádření geometrických prvků parabol	10
3.2 Kritická vzdálenost L_{cr}	11
3.3 Tvorba početního programu	13
3.3.1 Základní příprava výpočtů	13
3.3.2 Vstupní hodnoty	14
3.3.3 Postup výpočtu	15
3.4 Tabulky minimálních poloměrů výškových vypuklých oblouků	15
4 Závěr	16
Literatura	17

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.

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.

1 Úvod

Podnětem pro vznik této práce byly rozdíly v tabulkách pro nejmenší poloměry výškových vypuklých oblouků v normách ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací z roku 2006 [8] a STN 73 6110: STN 73 6110: Projektovanie miestnych komunikácií z roku 2004 [10]. Jak je vidět na Tab. 1 a Tab. 2, jednou jsou poloměry větší v české normě a jednou zase v normě slovenské, přestože metodika je velice podobná.

Tab. 1: Dovolené poloměry vypuklých výškových oblouků R_v v ČR podle [8]

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. 2: Dovolené poloměry vypuklých výškových oblouků R_v v SR podle [10]

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

Předběžným prohlédnutím českých norem až do roku 1986 jsem zjistil, že rozdíly v české a slovenské normě jsou dány tím, že norma STN 73 6110: Projektovanie miestnych komunikácií z roku 2004 [10] postupuje podle metodiky, která byla kdysi platná i české normě, ale nyní už podle ní česká norma nepočítá. Z toho vyplývá, že tyto tabulkové rozdíly jsou i v normách českých.

2 Rešerše norem a výsledky

Pro zjištění správnosti metodik a tabulek v normách jsem se rozhodl udělat obsáhlou rešerši čtyř českých norem. Jedná se o ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací z roku 1986 [5], ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic z roku 2000 [1], ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic z roku 2004 [2] a ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací z roku 2006 [8]. Pro plnohodnotnou rešerši jsem ještě připojil všechny změny a opravy, které k normám vytvářely. Byly to ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic OPRAVA 1 z roku 2005 [3], ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic ZMĚNA Z1 z roku 2009 [4], ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z1 z roku 1995 [6], ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z2 z roku 2003 [7] a ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z1 z roku 2010 [9].

V normách jsem se zaměřil především na to, jakým způsobem se měnily parametry, které vstupují do výpočtů výškových oblouků. Především jsem se zaměřil na délku rozhledu pro zastavení D_z , délku rozhledu pro předjíždění D_p , výšku oka

řidiče h_1 , výšku nejmenší viditelné překážky h_2 , nejmenší dovolené a doporučené poloměry výškových vypuklých a vydutých zakružovacích oblouků R_v a R_u . Z rešerše jsem vysledoval, jak se změnilo uvažování v metodikách, ale také k jakým chybám v důsledku častého přepracovávání norem dochází. V dalším textu se už soustředuji pouze na vybranou problematiku, ve které jsem našel největší problémy, a to jsou hodnoty nejmenších poloměrů výškových vypuklých oblouků a parametrů které do jejich výpočtu vstupují.

2.1 Výšky vstupující do výpočtu vypuklých výškových oblouků

2.1.1 Výška oka řidiče

Výška oka řidiče, označována v metodice výpočtů jako h_1 , zaznamenala v průběhu tvorby norem změnu z hodnoty 1,2 m na 1,0 m. Její snížení má za následek zvýšení všech parametrů, do jejichž výpočtu vstupuje, protože řidič má podle této úvahy menší rozhled.

2.1.2 Výška nejmenší viditelné překážky

Výška nejmenší viditelné překážky je výška teoretické překážky na vozovce, o které se uvažuje, že se s určitou pravděpodobností na vozovce vyskytne a řidič by měl mít možnost před touto překážkou zastavit. V průběhu tvorby norem se její uvažování změnilo, jak je vidět v tabulkách Tab. 3, převzaté z normy ČSN 73 6101 z roku 2000 a v Tab. 4, převzaté z normy ČSN 73 6101 z roku 2004.

.Tab. 3: Nejmenší viditelné výšky překážek podle [1]

v_n km/h	120	100	80	70	60	50	40	30	25	20
h_2 m	0,10	0,00								

Tab. 4: Nejmenší viditelné výšky překážek podle [2]

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				

Z tabulek je vidět, že hodnoty se změnilo výrazně a chtěl bych hlavně upozornit na hodnotu h_2 pro návrhovou rychlost 120 km/h v Tab. 3. Jako jediná je nenulová a v podkapitole 2.2 na ní navážu.

Už dopředu vysvětlím svůj postup při návrhu nových tabulek s ohledem na výšku nejmenší viditelné překážky, vycházející z Tab. 4. 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.

2.2 Délka rozhledu pro zastavení

Hlavní rozdíl v metodice pro výpočet délky rozhledu pro zastavení je, že v nové normě ČSN 73 6101 z roku 2004 [2] upustili od prvního členu, viz rovnice (1), který přenásoboval výsledek jako redukční součinitel pro zohlednění výšky překážky.

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

kde	h_1	je	průměrná výška oka řidiče
	h_2		průměrná výška nejmenší viditelné překážky
	v_n		návrhová rychlost
	g_n		normální tíhové zrychlení v m/s^2
	f_v		součinitel brzděného tření
	s		Podélný sklon jízdniho pásu v %
	b_v		bezpečnostní odstup vozidla od překážky v m, rovný zaokrouhlení výsledku na nejbližší vyšších 10 m při $v_n \geq 80$ km/h a na nejbližší vyšších 5 m při $v_n < 80$ km/h.

Jak jsem psal výše, jediná nenulová výška překážky byla v ČSN 73 6101 z roku 2000 [1], byla pro návrhovou rychlost 120 km/h a tedy odstranění redukčního součinitele z výpočtu by mělo změnit výsledky minimálně pro právě tuto rychlost. Tyto hodnoty se ovšem vůbec nezměnily a norma ČSN 73 6101 z roku 2004 [2] uvádí tabulku podobnou jako norma předešlá, viz Tab. 5. Z toho jsem usuzoval, že výpočet těchto délek není přesný a rozhodl jsem se sestavit svoje tabulky, které jsem udělal pro všechny normy, ale zde uvádím pouze ty, které se týkají tohoto textu, přestože odhalily pár dalších nesrovnalostí. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 6. Prozkoumáním a zkoušením jsem zjistil, že v ČSN 73 6101 mají sice zpracovanou novou metodiku výpočtu, ale tabulka délek rozhledu pro zastavení je sestavená, podle staré neplatné metodiky a jsou dosazovány i staré výšky překážek. v Tab. 6 jsou červeně vyznačené hodnoty, které se liší od normových hodnot.

Tab. 5: Délky rozhledu pro zastavení, podle [2]

Podélný sklon jízdního pásu v %		D_z v m při návrhové/směrodatné rychlosti v_r/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 %.

Tab. 6: Výšek sestavené tabulky délek rozhledu pro zastavení

s/vn	130	120	110	100
-4,5	-	-	200	160
-4	300	240	200	160
-3	290	240	200	160
-2	280	230	190	160
-1	270	230	190	150
0	270	220	180	150
1	260	220	180	150
2	250	210	180	140
3	250	210	170	140
4	240	200	170	140
4,5	-	-	170	140

Jeden z problémů, který se snažím v této práci vyřešit je, že do vzorce (1) 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 výškových vypuklých oblouků, což je poloměr 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 (1), označený jako b_{v1} a popsán 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, když se takovýto člen použije, aby výpočty seděly s tabulkovými hodnotami a hodnoty v tabulce byly správně zaokrouhlené pro délky rozhledu pro zastavení, tak se v následujícím kroku, při určení poloměru výškových oblouků, výpočty se zaokrouhlenými hodnotami v tabulce liší až o tisíc metrů, jak ukáži v následující podkapitole 2.3.

2.3 Poloměry výškových vypuklých oblouků

Protože délky rozhledů pro zastavení neodpovídali metodice výpočtu, rozhodl jsem se ověřit i poloměry. Výsledkem bylo zjištění, že poloměry výškových vypuklých oblouků jsou zaokrouhlovány v rozsahu až tisíce metrů. Hlavní příčinou jsou skokové výšky uvažovaných překážek, které do výpočtu vstupují, jak je vidět v rovnici (2).

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

kde D_z je délka rozhledu pro zastavení v nejmenším dovoleném klesání v m

h_1 výška řidičova oka nad jízdním v m

h_2 výška nejmenší viditelná překážka ve vzdálenosti D_z na jízdním pásu podle v m

Na obrázku je Obr. 1 je vidět proč k tomuto zaokrouhlování dochází. V důsledku dosazování se může stát, že pro vyšší rychlost vyjde poloměr menší než pro rychlost nižší.

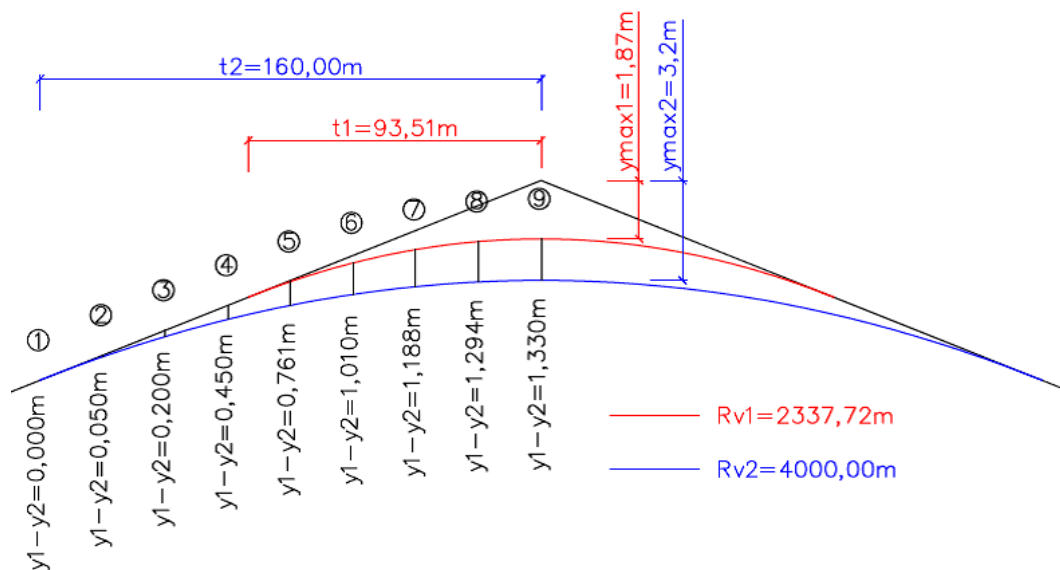
s/vn	130	120	110	100	90	80	70
-9	-	-	-	-	-	-	-
-8	-	-	-	-	-	-	-
-7	-	-	-	-	-	-	-
-6	-	-	-	-	5656,71	3492,15	3200,00
-5	-	-	-	-	4877,47	2885,08	3200,00
-4,5	-	-	10418,74	7388,36	4877,47	2885,08	3200,00
-4	14388,82	9553,07	9350,89	7388,36	4877,47	2885,08	3200,00
-3	13342,72	9553,07	9350,89	7388,36	4877,47	2885,08	2812,50
vn	130	120	110	100	90	80	70
Rv zast. Dovolené	15000	12000	10000	7500	5000	4000	3200
rozdíl hodnot	611,18	2446,93	-418,74	111,64	-656,71	507,85	0,00

Obr. 1: Porovnání výsledků s normovými hodnotami

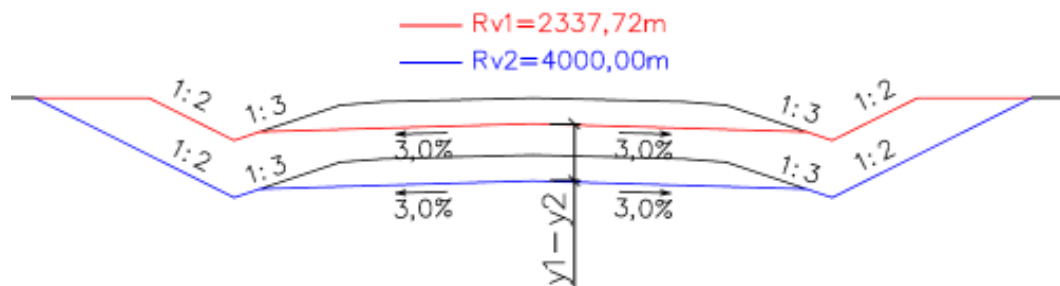
Porovnával jsem nejhorší sklonové případy, takže je vidět, že v případě, kdy projektant nenavrhuje největší dovolené klesání, tak rozdíly v poloměrech ještě rostou. Rozhodl jsem se udělat idealizovaný příklad, na kterém chci demonstrovat, že jen tak zaokrouhlit hodnoty o tisíc metrů má značné finanční náklady.

2.3.1 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 $v_n = 80 \text{ km/h}$. Příklad řeším pro dva poloměry, $R_{v1} = 2337,72\text{m}$ (červená) a $R_{v2} = 4000\text{m}$ (modrá). R_{v1} je mnou vypočítaný poloměr v intravilánu a R_{v2} je získána z tabulky uvedené v ČSN 73 6110 z roku 2006 [8]. Zemní pláň 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. 2 a Obr. 3. Hledám cenu zas 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. 2: Podélný profil pro poloměry R_{v1} a R_{v2} , 10x převýšen



Obr. 3: Příčný řez pro poloměry R_{v1} a R_{v2} s proměnnou $y_1 - y_2$

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. 7.

.Tab. 7: 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.

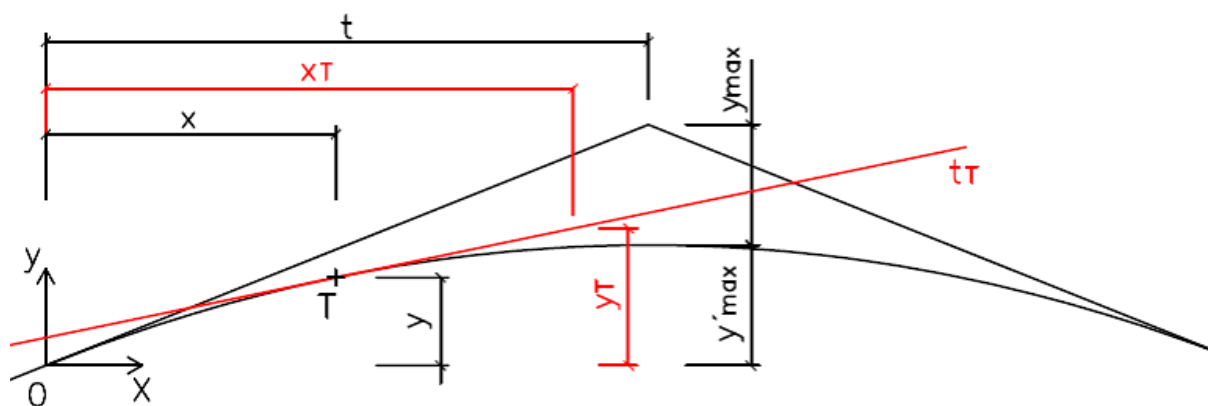
3 Návrh nové metodiky pro výškové vypuklé oblouky

Jak jsem uváděl výše, výpočet oskulační kružnice z brzděné 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.

3.1 Analytické vyjádření geometrických prvků parabol

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. 4, kde:

- y_{\max} je maximální svislá y-ová pořadnice paraboly
- t_T 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. 4: Geometrické prvky výškových vypuklých oblouků

Po zavedení souřadného systému a hlavních parametrů jsem mohl určit rovnici paraboly (3), směrnice tečny (4) a rovnici tečny (5).

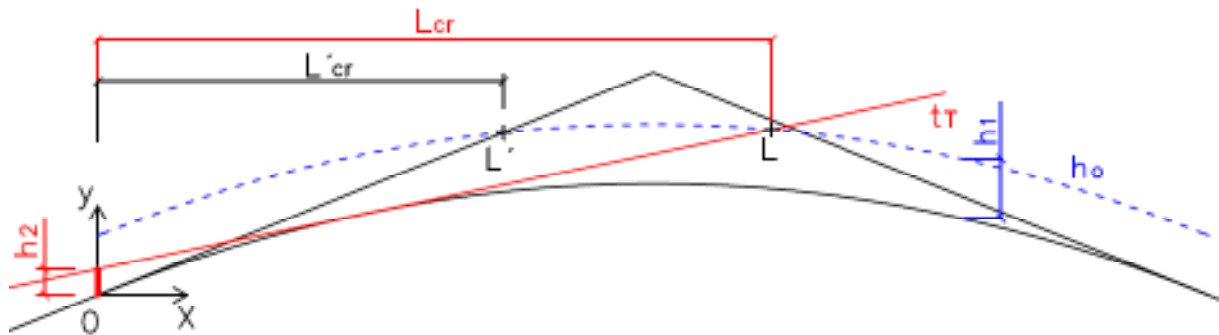
rovnice paraboly:
$$y = -\frac{y'_{\max}}{t^2}x^2 + 2\frac{y'_{\max}}{t}x \quad (3)$$

směrnice tečny:
$$y = -2\frac{y'_{\max}}{t^2}x + 2\frac{y'_{\max}}{t} \quad (4)$$

rovnice tečny:
$$y_T = \frac{2y'_{\max} \left[(x-t) \left(-\frac{x_T}{t} + 1 \right) + t \right]}{t} - y \quad (5)$$

3.2 Kritická vzdálenost L_{cr}

Pro potřeby výpočtu, jsem musel aplikovat jiný parametr než brzdnu dráhu. Dopředu se nedá určit, jak dlouhá bude brzdna 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, jejíž počáteční bod L' je tvořen průnikem tečny výškového vypuklého oblouku a parabolou opisovanou okem řidiče. Popis kritické vzdálenosti vystihuje Obr. 5.



Obr. 5: Grafické schéma kritické vzdálenosti

Na Obr. 5 je znázorněn výše popsaný 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

Rovnice (6) je ve výsledném tvaru po upravení. Rovnice (6) 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 případě, kdy má výškový oblouk symetrické tečny.

kritická vzdálenost:
$$L_{cr} = \sqrt{2R_v}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (6)$$

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 (7) je přepočtový součinitel pro výšku paraboly v místě lomu sklonů a rovnice (8) je přepočtový součinitel pro délku tečny.

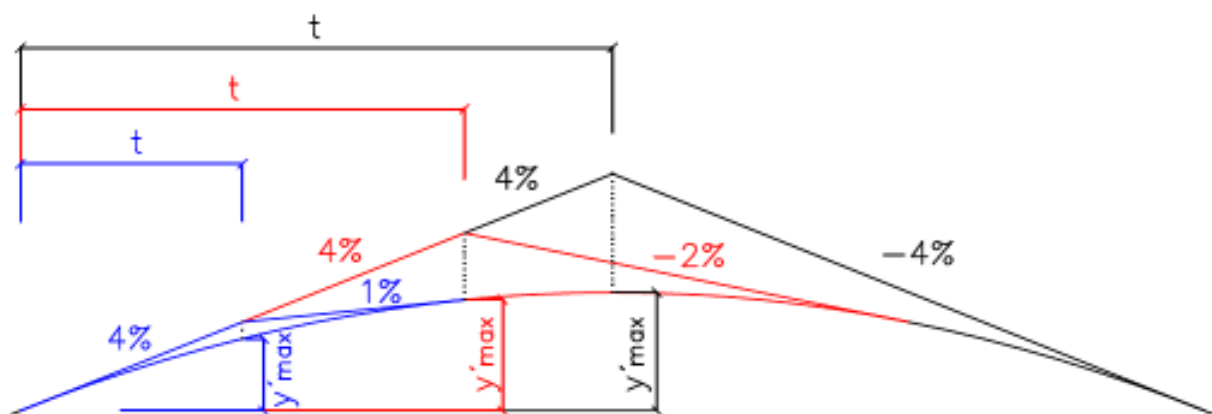
$$k_y = \frac{4s_1^2}{(s_1 - s_2)^2} \quad (7)$$

$$k_t = \frac{2s_1}{(s_1 - s_2)} \quad (8)$$

kde s_1 je větší ze sklonu tečen v absolutní hodnotě, dosazovaný v reálné hodnotě

s_2 menší ze sklonu 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. 6. Na obrázku jsou konkrétně znázorněny výseky paraboly pro různé sklonové poměry, při hlavním sklonu 4 %.



Obr. 6: 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.

3.3 Tvorba početního programu

V této podkapitole popisují způsob tvorby programu v Excelu pro zjištění poloměrů výškových vypuklých oblouků, hodnoty vstupující do výpočtu a jak s programem pracovat.

3.3.1 Základní příprava výpočtů

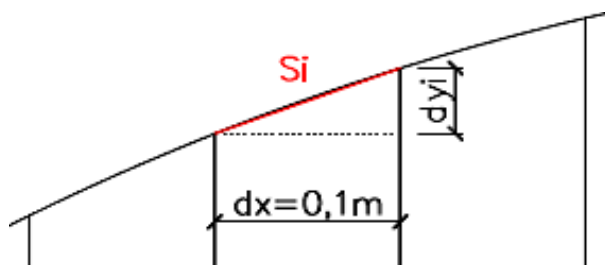
Pro účel zpracování nové tabulky nejmenších možných poloměrů výškových vypuklých oblouků pro zastavení jsem musel sestavit výpočetní program, protože problematika nerovnoměrně zpomaleného pohybu, ke kterému dochází při brzdění vozidla po parabolické dráze, vede ke složitým integrálům.

Nejdříve jsem musel odvodit rovnici (9) 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.

$$v_1 = \sqrt{\left(\mu g d - g h - \frac{1}{2} v_0^2\right) (-2)} \quad (9)$$

kde v_1 je koncová rychlost vozidla
 v_0 počáteční rychlost vozidla
 μ součinitel brzdného tření
 g tíhové zrychlení; $g_n \cong 9,81 \text{ m/s}^2$
 d dráha, po které vozidlo brzdí
 h výška, kterou vozidlo překoná při 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 úseček. Délka každé takovéto úsečky je potom přepona trojúhelníku s_i s odvěsnami dx a dy_i , viz Obr. 7. Po tomto zjednodušení jsem mohl sestavit program, do kterého jsem dosazoval rovnici (9), kde za dráhu d dosazuji délku úsečky s_i a jako výška h je dosazován rozdíl výšek dy_i . Jako počáteční rychlost do rovnice vstupuje koncová rychlost předcházejícího počítaného úseku.



Obr. 7: Diskretizace paraboly

3.3.2 Vstupní hodnoty

Do výpočtu vstupuje reakční doba řidiče, která je pro extravilánové komunikace $t_r = 1,5 \text{ s}$ a pro intravilánové $t_r = 1,0 \text{ s}$. Dále je ve výpočtu gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, výška oka řidiče $h_1 = 1,0 \text{ m}$ a sklony tečen paraboly. Další parametry, které jsou do programu zahrnuty, jsou v tabulce Tab. 8. Součinitel brzdného tření μ v rovnici (9) nahrazuje součinitel brzdného tření z normy f_v . Označení h_2 je pro výšku nejmenší viditelné překážky a v_n je návrhová rychlost.

Tab. 8: 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

3.3.3 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 přejelo. 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. 8.

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	projeté dráha za dobu reakce			$\gamma'_{max} =$	5,400	m	parametr paraboly		

Obr. 8: Vzhled programu na výpočet poloměrů výškových vypuklých oblouků

3.4 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. 9: 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. 9, 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. 10: 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. 9 tak v Tab. 10, jsou menší než uváděné v normách ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic z roku 2004 [2] a ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací z roku 2006 [8].

4 Závěr

V práci se mi podařilo 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.

Literatura

- [1] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2000
- [2] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic, 2004
- [3] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic OPRAVA 1, 2005
- [4] ČSN 73 6101: Projektování silnic a dálnic ZMĚNA Z1, 2009
- [5] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 1986
- [6] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z1, 1995
- [7] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z2, 2003
- [8] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací, 2006
- [9] ČSN 73 6110: Projektování místních komunikací ZMĚNA Z1, 2010
- [10] STN 73 6110: Projektovanie miestnych komunikácií, 2004