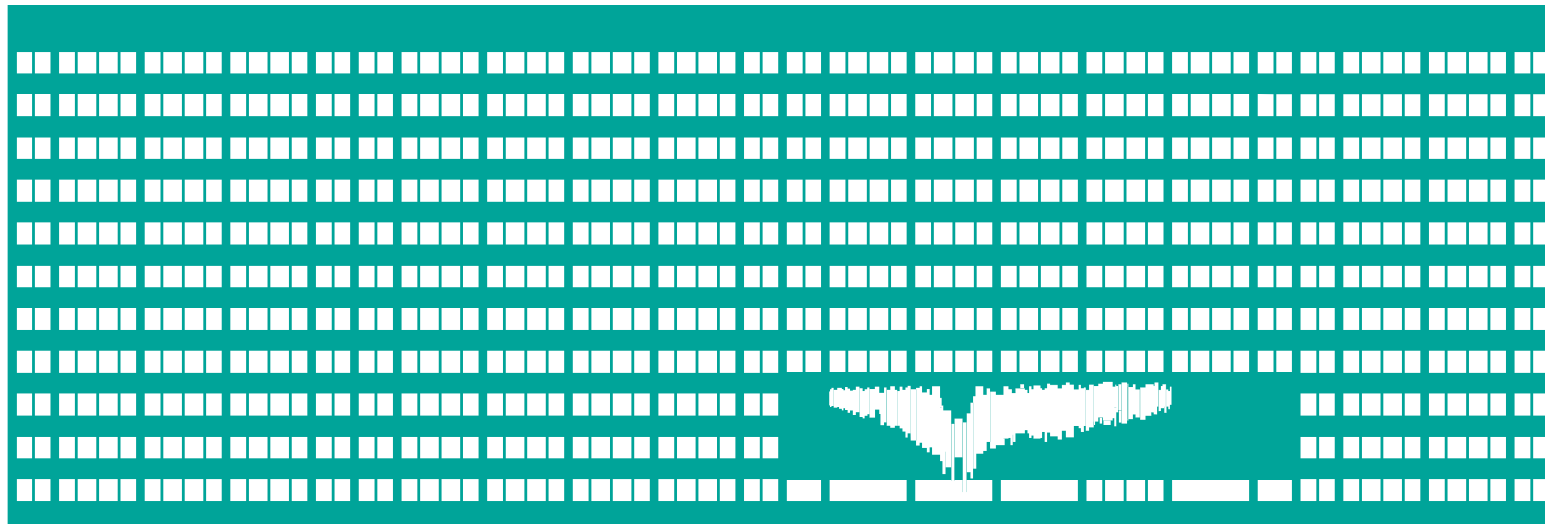


VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

VSB TECHNICAL
UNIVERSITY
OF OSTRAVA



www.vsb.cz

Analýza střetu silničního vozidla a vlaku na železničním přejezdu

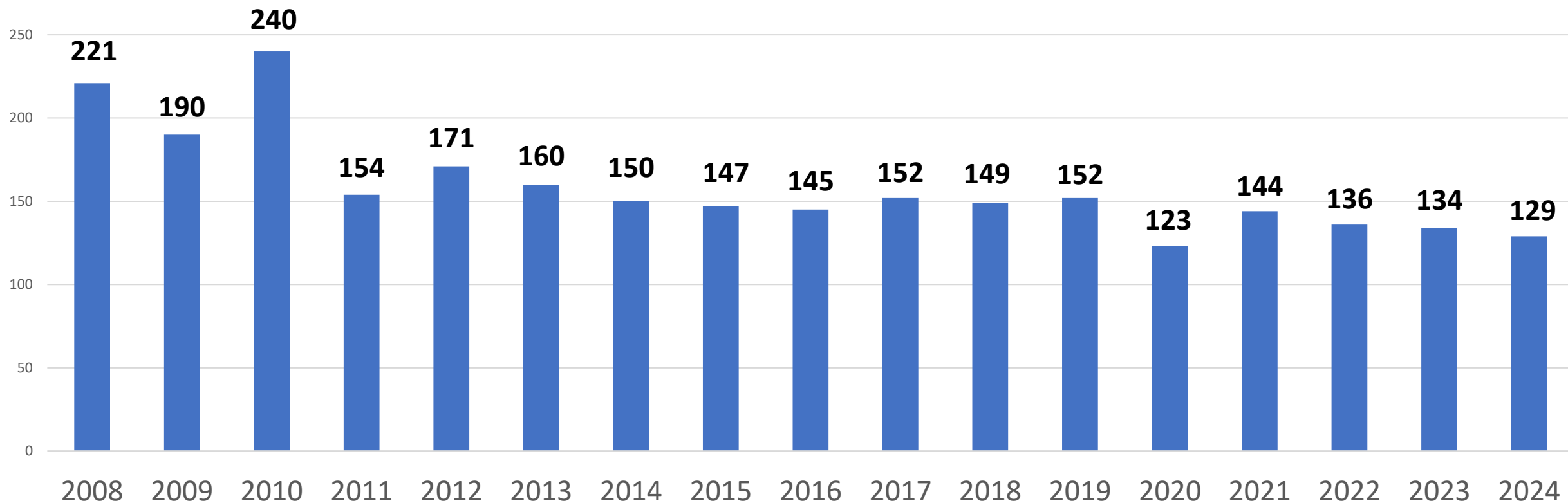
Collision Analysis between Road Vehicle and Train at Level Crossing

Jan Bednář

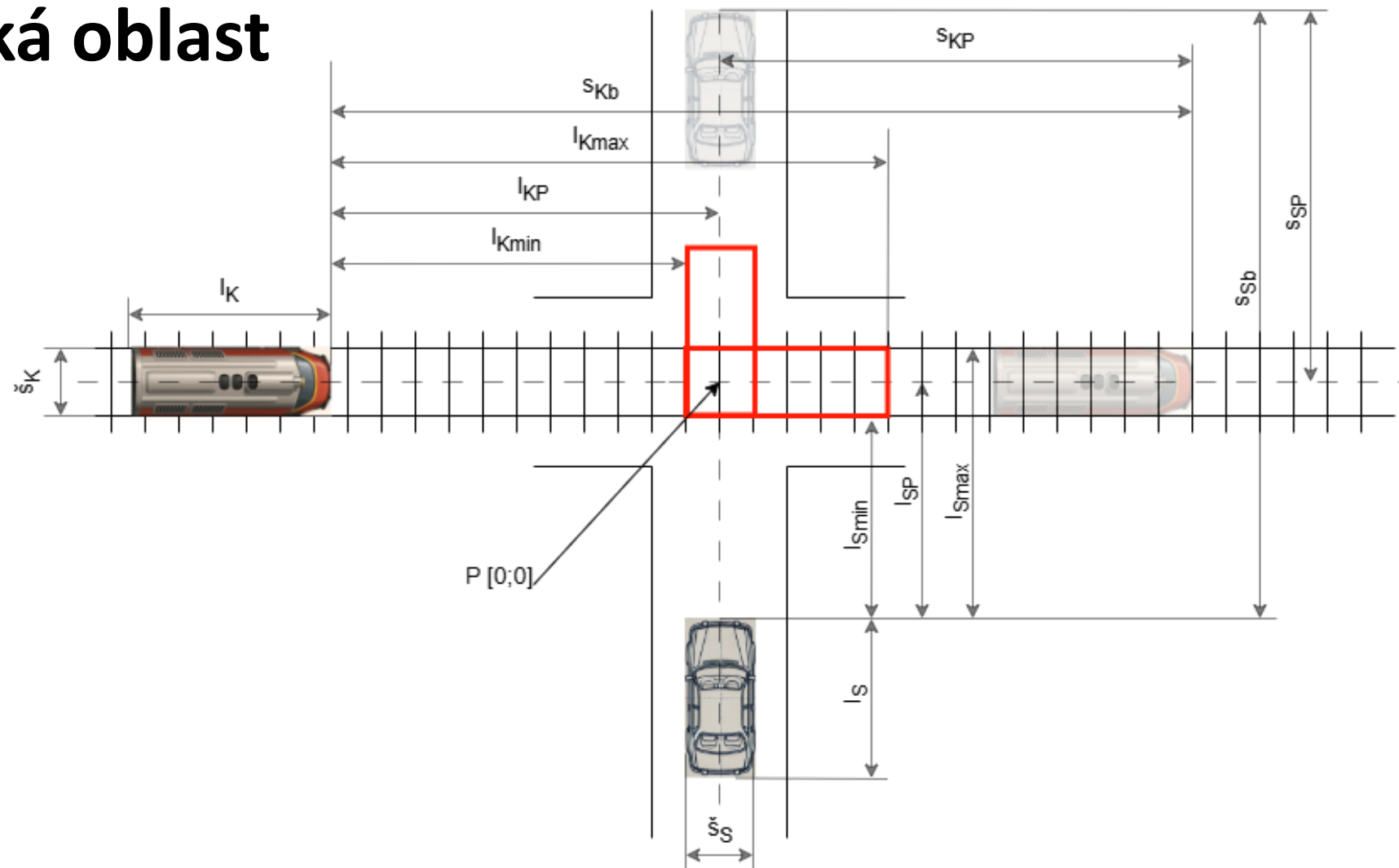
Obsah

- Statistika počtu střetů na železničních přejezdech v ČR
- Kritická oblast
- Podmínka střetu
- Teoretický výpočtový model

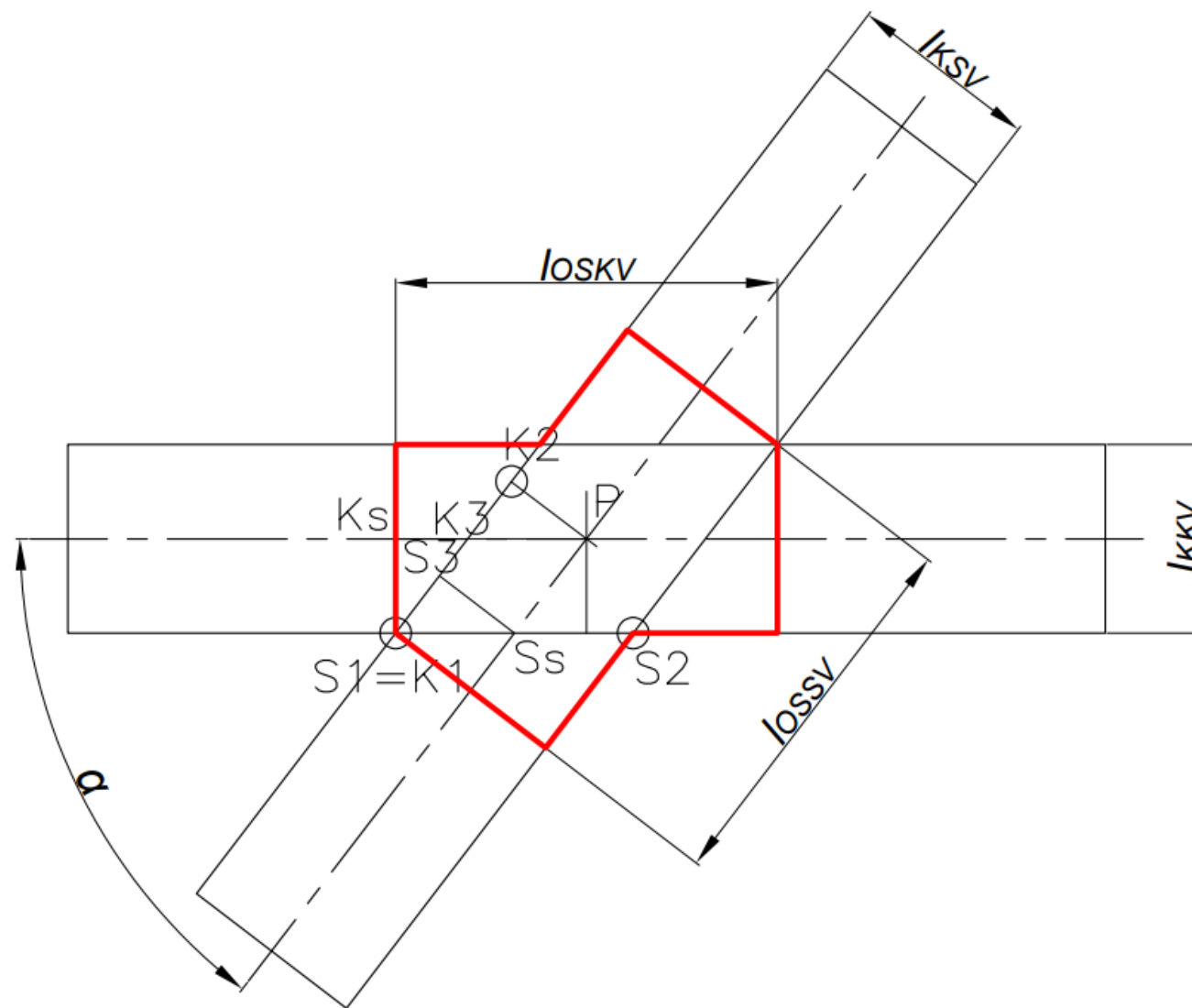
Počet střetů na železničních přejezdech v ČR



Kritická oblast



Kosoúhlý střet



Podmínka střetu

$$(\langle t_{Kmin}; t_{Kmax} \rangle \cap \langle t_{Smin}; t_{Smax} \rangle \neq \emptyset) = 1$$

Kde:

t_{Kmin}	[s]	doba dosažení přední hranice kritické oblasti kolejovým vozidlem,
t_{Kmax}	[s]	doba dosažení zadní hranice kritické oblasti kolejovým vozidlem,
t_{Smin}	[s]	doba dosažení přední hranice kritické oblasti silničním vozidlem,
t_{Smax}	[s]	doba dosažení zadní hranice kritické oblasti silničním vozidlem.

Teoretický výpočtový model

- Vytvořen v matematickém software SMath Studio
- Silniční vozidlo
 - rovnoměrně zpomalený pohyb,
 - rovnoměrně zrychlený pohyb z $v_0=0$,
 - pohyb konstantní rychlostí.
- Kolejové vozidlo
 - rovnoměrně zpomalený pohyb

Vstupní hodnoty

Název	Jednotka	Značení-SV	Značení-KV
Počáteční rychlost vozidla	m/s	v_{SO}	v_{KO}
Délka vozidla	m	l_S	l_K
Šířka vozidla	m	\check{s}_S	\check{s}_K
Součinitel soudržnosti/adheze	1	μ_{SS}	μ_{Kb}
Reakční doba řidiče	s	t_{Sr}	t_{Kr}
Doba prodlevy brzdy SV	s	t_{Sp}	-
Doba náběhu brzdy SV	s	t_{Sn}	-
Ekvivalentní aktivační doba brzdy KV	s	-	t_e
Vzdálenost vozidla od bodu P v čase t_0	m	l_{SP}	l_{KP}
Zrychlení SV	m/s ²	a_S	-
Úhel křížení komunikace	°	α	

Výstupní parametry

Parametr	Označení	Jednotka
Brzdné zpomalení	a_{xb}	m/s^2
Přední hranice KO	l_{xmin}	m
Zadní hranice KO	l_{xmax}	m
Doba přípravy brzdy	t_{xpr}	s
Ujetá dráha odpovídající době přípravy brzdy	s_{xpr}	m
Celková zábrzdna dráha	s_{xb}	m
Celková zábrzdna doba	t_{xb}	s
Vzdálenost zastavení vozidla od bodu P	s_{xp}	m
Doba dosažení přední hranice KO	t_{xmin}	s
Doba dosažení zadní hranice KO	t_{xmax}	s
Rychlost dosažení přední hranice KO	v_{xmin}	m/s
Okamžik střetu	t_{knar}	s
Doba mezi dosažením přední hranice KO silničním vozidlem a jeho střetem s KV	t_{sp}	s
Dráha ujetá za dobu t_{sp}	s_{snar}	m
Vzdálenost čela SV od bodu P v okamžiku střetu	s_{spnar}	m
Vzdálenost čela KV od bodu P v okamžiku střetu	s_{kpnar}	m
Rychlost v okamžiku střetu	v_{xnar}	m/s

Stanovení rychlosti SV při dosažení přední hranice KO

```

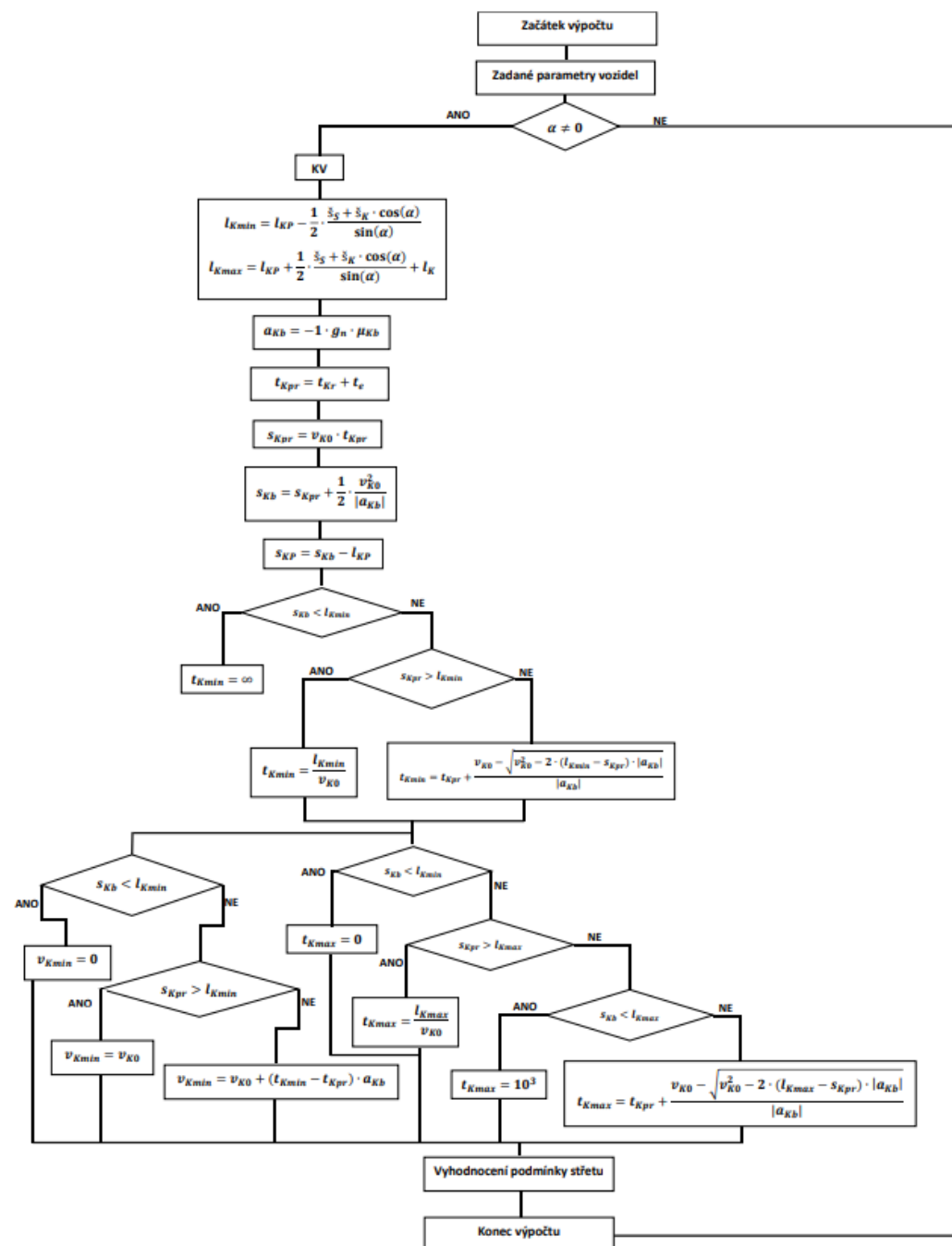
if ( $a_{sb} < 1_{smin}$ )  $\wedge$  ( $a_{sb} \neq 0$ )
     $v_{smin} := 0$ 
else
    if ( $a_s = 0$ )  $\wedge$  ( $a_{sb} = 0$ )
         $v_{smin} := v_{s0}$ 
    else
        if ( $a_{spr} > 1_{smin}$ )  $\wedge$  ( $a_{sb} \neq 0$ )
             $v_{smin} := v_{s0}$ 
        else
            if ( $(a_{spr} < 1_{smin}) \wedge (a_{sb} > 1_{smin})$ )  $\wedge$  ( $a_{sb} \neq 0$ )
                 $v_{smin} := v_{s0} + (t_{smin} - t_{spr}) \cdot a_{sb}$ 
            else
                if  $a_s \neq 0$ 
                     $v_{smin} := a_s \cdot t_{smin}$ 
                else
                    end

```

Výpočty v modelu

- Pro kolejové vozidlo
- Pro silniční vozidlo
- Parametry střetu

Vývojový diagram pro výpočet KV

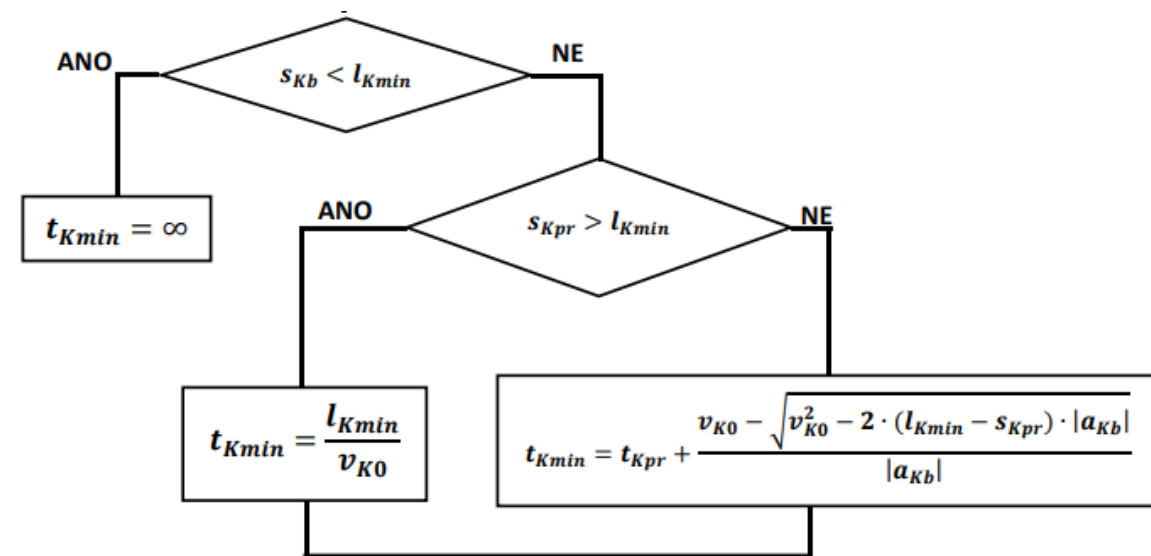


Doba pohybu KV pro dosažení přední hranice KO t_{Kmin}

Doba pohybu KV pro dosažení přední hranice KO

```

if  $s_{Kb} < l_{Kmin}$ 
     $t_{Kmin} := \infty$ 
else
    if  $l_{Kmin} < s_{Kpr}$ 
         $t_{Kmin} := \frac{l_{Kmin}}{v_{K0}}$ 
    else
         $t_{Kmin} := t_{Kpr} + \frac{\left( v_{K0} - \sqrt{v_{K0}^2 - 2 \cdot (l_{Kmin} - s_{Kpr}) \cdot |a_{Kb}|} \right)}{|a_{Kb}|}$ 
    
```



Počáteční rychlost KV $v_{K0} := \frac{70}{3,6} \frac{m}{s}$
 Počáteční rychlost SV $v_{S0} := \frac{50}{3,6} \frac{m}{s}$

Délka KV $l_K := 115 \text{ m}$

Délka SV $l_S := 4,5 \text{ m}$

Šířka KV $š_K := 3 \text{ m}$

Šířka SV $š_S := 2 \text{ m}$

Součinitel adheze $\mu_{Kb} := 0,15$

Součinitel soudržnosti (v případě brzdění) $\mu_{Ss} := 0,75$

Reakční doba osoby řídící KV $t_{Kr} := 1,5 \text{ s}$

Reakční doba osoby řídící SV $t_{Sr} := 1,5 \text{ s}$

Doba přípravy brzdy SV $t_{Sp} := 0,05 \text{ s}$

Doba náběhu brzdy SV $t_{Sn} := 0,15 \text{ s}$

Ekvivalentní doba náběhu brzdy KV $t_e := 2 \text{ s}$

Vzdálenost KV od křížení komunikace v čase t_0 $l_{KP} := 50 \text{ m}$

Vzdálenost SV od křížení komunikace v čase t_0 $l_{SP} := 15 \text{ m}$

Zrychlení SV $a_S := 0 \frac{m}{s^2}$

Úhel křížení komunikace $\alpha := 90 \text{ deg}$

Parametr	Jednotka	SV	KV
a_{xb}	m/s^2	-7,355	-1,471
l_{xmin}	m	13,5	49
l_{xmax}	m	21	166
t_{xpr}	s	1,6	3,5
s_{xpr}	m	22,2222	68,0556
s_{xb}	m	35,3359	196,5692
t_{xb}	s	3,4884	16,7185
s_{xp}	m	20,3359	146,5692
t_{xmin}	s	0,972	2,52
t_{xmax}	s	1,512	10,2716
v_{xmin}	m/s	13,8889	19,4444

Ke střetu nedojde

Počáteční rychlost KV	$v_{K0} := \frac{70}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Počáteční rychlost SV	$v_{S0} := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Délka KV	$l_K := 115 \text{ m}$
Délka SV	$l_S := 4,5 \text{ m}$
Šířka KV	$s_K := 3 \text{ m}$
Šířka SV	$s_S := 2 \text{ m}$
Součinitel adheze	$\mu_{Kb} := 0,15$
Součinitel soudržnosti (v případě brzdění)	$\mu_{Ss} := 0$
Reakční doba osoby řídící KV	$t_{Kr} := 1,5 \text{ s}$
Reakční doba osoby řídící SV	$t_{Sr} := 1,5 \text{ s}$
Doba přípravy brzdy SV	$t_{Sp} := 0,05 \text{ s}$
Doba náběhu brzdy SV	$t_{Sn} := 0,15 \text{ s}$
Ekvivalentní doba náběhu brzdy KV	$t_e := 2 \text{ s}$
Vzdálenost KV od křížení komunikace v čase t_0	$l_{KP} := 50 \text{ m}$
Vzdálenost SV od křížení komunikace v čase t_0	$l_{SP} := 5 \text{ m}$
Zrychlení SV	$a_S := 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Uhel křížení komunikace	$\alpha := 90 \text{ deg}$

Parametr	Jednotka	SV	KV
a_{xb}	m/s^2	-	-1,471
$l_{x\min}$	m	3,5	49
$l_{x\max}$	m	11	166
t_{xpr}	s	0	3,5
s_{xpr}	m	0	68,0556
s_{xb}	m	0	196,5692
t_{xb}	s	0	16,7185
s_{xp}	m	-	146,5692
$t_{x\min}$	s	1,5275	2,52
$t_{x\max}$	s	2,708	10,2716
$v_{x\min}$	m/s	4,5826	19,4444
t_{Knar}	s	-	2,52
t_{sp}	s	0,9925	-
s_{Snar}	m	1,4775	-
s_{SPnar}	m	-0,0225	-
s_{KPnar}	m	-	-1
v_{Xnar}	m/s	7,56	19,4444

Ke střetu dojde

Počáteční rychlost KV	$v_{K0} := \frac{40}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Počáteční rychlost SV	$v_{S0} := \frac{25}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Délka KV	$l_K := 115 \text{ m}$
Délka SV	$l_S := 16,5 \text{ m}$
Šířka KV	$s_K := 3 \text{ m}$
Šířka SV	$s_S := 2,55 \text{ m}$
Součinitel adheze	$\mu_{Kb} := 0,15$
Součinitel soudržnosti (v případě brzdění)	$\mu_{Ss} := 0$
Reakční doba osoby řídící KV	$t_{Kr} := 1,5 \text{ s}$
Reakční doba osoby řídící SV	$t_{Sr} := 1,5 \text{ s}$
Doba přípravy brzdy SV	$t_{Sp} := 0,15 \text{ s}$
Doba náběhu brzdy SV	$t_{Sn} := 0,2 \text{ s}$
Ekvivalentní doba náběhu brzdy KV	$t_e := 2 \text{ s}$
Vzdálenost KV od křížení komunikace v čase t_0	$l_{KP} := 50 \text{ m}$
Vzdálenost SV od křížení komunikace v čase t_0	$l_{SP} := 25 \text{ m}$
Zrychlení SV	$a_S := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Úhel křížení komunikace	$\alpha := 90 \text{ deg}$

Parametr	Jednotka	SV	KV
a_{xb}	m/s^2	-	-1,471
$l_{x\min}$	m	23,5	48,725
$l_{x\max}$	m	43	166,275
t_{xpr}	s	0	3,5
s_{xpr}	m	0	38,8889
s_{xb}	m	0	80,8525
t_{xb}	s	0	11,0535
s_{xp}	m	-	30,8525
$t_{x\min}$	s	3,384	4,4443
$t_{x\max}$	s	6,192	1000
$v_{x\min}$	m/s	6,9444	9,7221
t_{Knar}	s	-	4,4443
t_{sp}	s	1,0603	-
s_{Snar}	m	7,363	-
s_{SPnar}	m	5,863	-
s_{KPnar}	m	-	-1,275
v_{Xnar}	m/s	6,9444	9,7221

Ke střetu dojde

Závěr

- Vytvoření teoretického výpočtového modelu pro pohyb SV
 - a) rovnoměrně zpomalený,
 - b) rovnoměrně zrychlený,
 - c) konstantní rychlostí
- KV - vždy pohyb rovnoměrně zpomalený

Děkuji za pozornost