

# Adaptívny tempomat

## NPAE Zadanie projektu č. 1

Bc. Oliver Hollý

### 1 Zadanie

Pre štruktúru regulačného obvodu vzdialenosti medzi vozidlami (adaptívny tempomat) z cvičenia 2, odvodte vzťahy na výpočet parametrov regulátorov. Správnosť návrhu overte simuláciou na modeli so zjednodušeným pozdĺžnym modelom automobilu. Pri výpočte parametrov regulátorov a v simulačnom modeli použite parametre vozidla, ktoré vám boli pridelené na prvom cvičení.

Tab. 1. Zadané parametre automobilu č.4

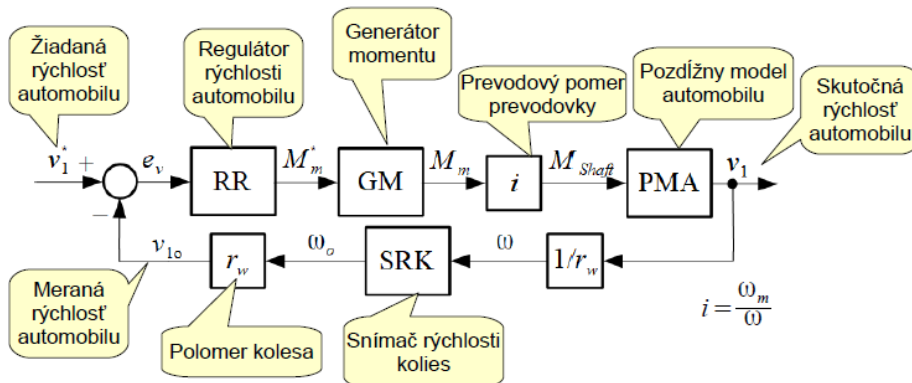
Parameter	Hodnota	Jednotka	Popis
m	800	kg	Hmotnosť vozidla
$d_w$	0.64	m	Priemer pneumatiky
$r_w$	0.32	m	Polomer pneumatiky
$n_{max}$	5000	ot/min	Maximálne otáčky motora
$M_{m,max}$	160	Nm	Maximálny krútiaci moment motora vozidla
i	2.8	-	Prevodový pomer prevodovky
$u_x$	0.8	-	Koeficient trenia medzi pneumatikou a vozovkou

Tab. 2. Vypočítané parametre automobilu

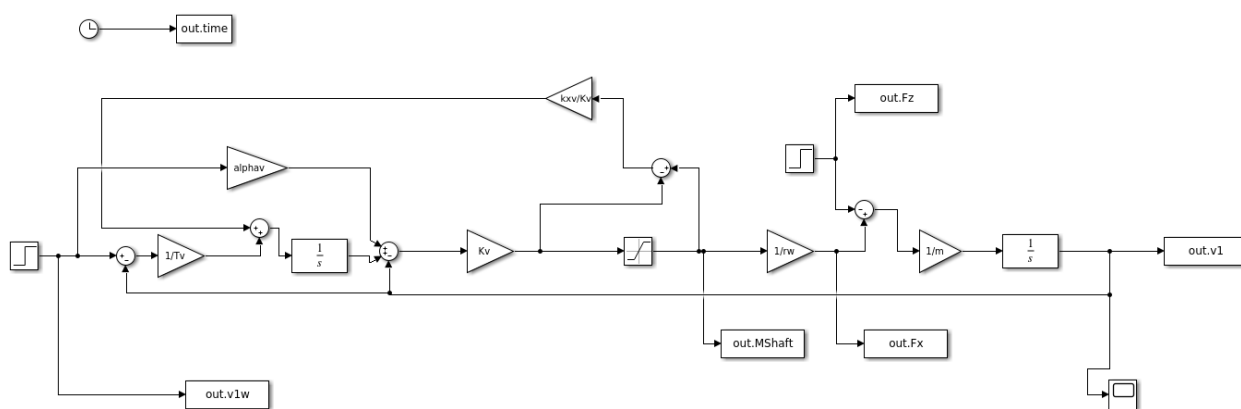
Parameter	Hodnota	Jednotka	Popis
$v_{1,max}$	215,42	km/h	Maximálna rýchlosť vozidla ( $v_{1,max} = 0.377 * (n_{max} * r_w) / i$ )
$M_{shaft,max}$	448	Nm	Maximálny moment na hnacej náprave ( $M_{shaft,max} = M_{m,max} * i$ )
$F_{x,max}$	1400	N	Maximálna trakčná sila ( $F_{x,max} = M_{shaft,max} / r_w$ )
$F_{br,max}$	6278,4	N	Maximálna brzdná sila ( $F_{br,max} = m * g * u_x$ )

## 2 Vypracovanie

### 2.1 Simulačný experiment regulačného obvodu rýchlosti vozidla (tempomat)



Obrázok 1. Štruktúra regulačného obvodu rýchlosti automobilu. (Zdroj: NP AE, Igor Bélai, Cvičenie 1)



Obrázok 2. Simulačná schéma regulačného obvodu rýchlosti vozidla ('sch1.slx')

#### Vysvetlenie simulačnej schémy

Symbol predstavuje modul skokovej zmeny žiadanej hodnoty, pre tento prípad regulácie rýchlosti

je vstupná veličina žiadaná rýchlosť automobilu. Symbol predstavuje zosilnenie ROR, je aplikovanie časovej konštanty ROR, ktorou meníme rýchlosť odozvy regulácie.

Blok zabezpečuje orezanie hnacieho momentu na maximálnu fyzikálne možnú hodnotu  $M_{shaft, max}$ .

### Simulačný experiment A

Skok žiadanej rýchlosti vozidla  $v_1$  z 0 na zvolenú hodnotu, pri ktorej nedôjde k obmedzeniu trakčnej sily  $F_x$ . Po ustálení rýchlosti vozidla na žiadanej hodnote vykonajte skok zaťažovacej sily  $F_z$  z 0 Nm na  $M_{shaft,max}/(4r_w)$

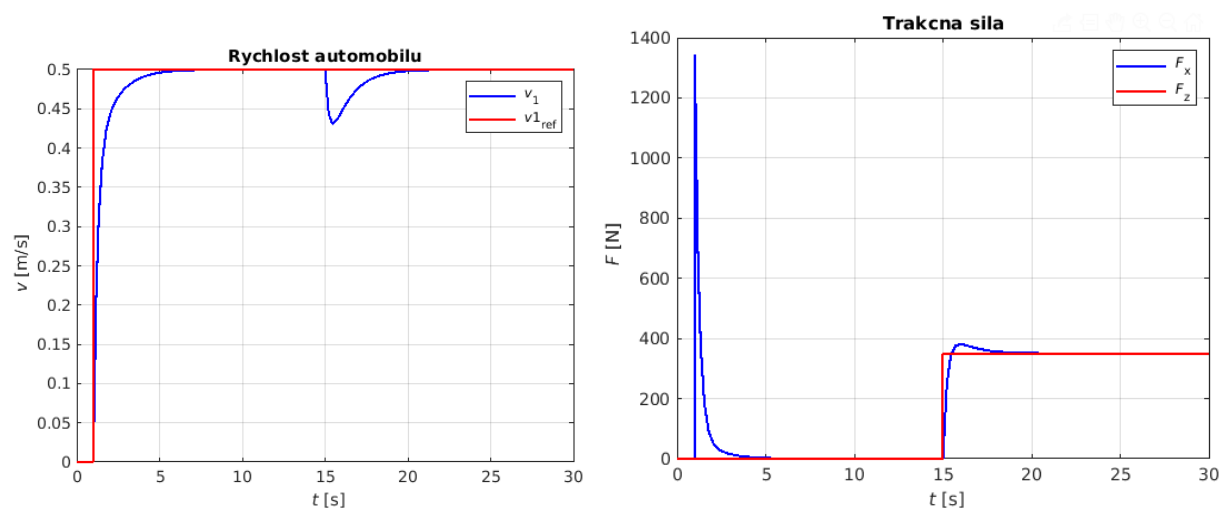
Tab. 3. Parametre simulácie A – **žiadané hodnoty**

Parameter	Hodnota	Jednotka	Popis
$V_{1ref}$	0.5	m/s	Zvolená rýchlosť automobilu, pri ktorej nedôjde k obmedzeniu trakčnej sily.
$F_{z, load}$	350	N	Zaťažovacia sila aplikovaná pri ustálenej rýchlosti vozidla
$T_0$	0.93	s	Časová konštanta udáva dynamické vlastnosti ROR (od 0.2 do 1)
$\xi$	0.75	-	Konštanta tlmenia ROR (od 0.7 do 1)
$T_{load}$	15	s	Čas aplikovania zaťažovacej sily $F_{z, load}$

Tab. 4. Parametre regulačného obvodu rýchlosti – **vypočítané hodnoty**

Parameter	Hodnota	Jednotka	Popis
$K_v$	1290	-	Zosilnenie ROR (výpočet: $K_v = 2 * \xi * m / T_0$ )
$T_v$	1.395	s	Časová konštanta ROR (výpočet: $T_v = 2 * \xi * T_0$ )
$\alpha$	0.667	-	Parameter, ktorým môžeme meniť rýchlosť odozvy ( $\alpha = T_0 / T_v$ )

Parametre v Tab. 4. platia aj pre simulačný experiment B aj pre úlohu 2(A.B.C).



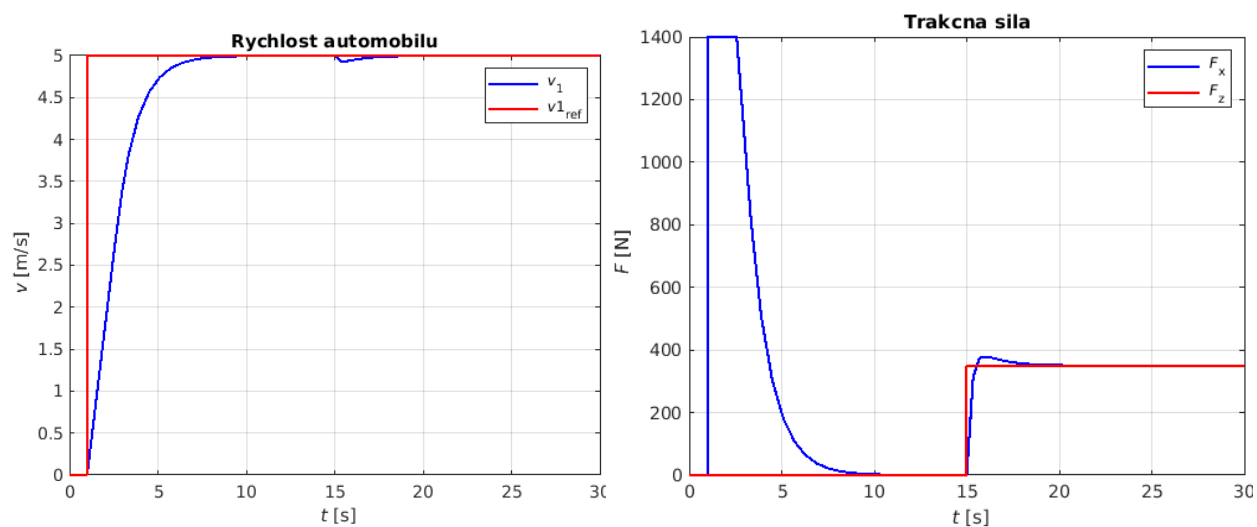
Obrázok 3. Záznam výsledkov simulácie A regulačného obvodu rýchlosti vozidla pre malú skokovú zmenu žiadanej rýchlosti

### Simulačný experiment B

Skok žiadanej rýchlosti vozidla  $v_1$  z 0 na zvolenú hodnotu, pri ktorej dôjde k obmedzeniu trakčnej sily  $F_x$ . Po ustálení rýchlosti vozidla na žiadanej hodnote vykonajte rovnaký skok zaťažovacej sily  $F_z$  ako v úlohe a). V oboch simulačných experimentoch zaznamenajte tieto priebehy: žiadaná a aktuálna rýchlosť vozidla, trakčná sila  $F_x$  a zaťažovacia sila  $F_z$ .

Tab. 5. Parametre simulácie B – **žiadané hodnoty**

Parameter	Hodnota	Jednotka	Popis
$V_{1ref}$	5	m/s	Zvolená rýchlosť automobilu, pri ktorej dôjde k obmedzeniu trakčnej sily.
$F_{z, load}$	350	N	Zaťažovacia sila aplikovaná pri ustálenej rýchlosti vozidla
$T_0$	0.93	s	Časová konštanta udáva dynamické vlastnosti ROR ( <b>od 0.2 do 1</b> )
$\xi$	0.75	-	Konštanta tlmenia ROR ( <b>od 0.7 do 1</b> )
$T_{load}$	15	s	Čas aplikovania zaťažovacej sily $F_{z, load}$



Obrázok 4. Záznam výsledkov simulácie B regulačného obvodu rýchlosti vozidla pre veľkú skokovú zmenu žiadanej rýchlosti

## Zdrojový kód simulácií A a B

```
stime = 30;

% Parametre automobilu:
m = 800;
dw=0.64;
nmax=5000;
Mmax=160;
i=2.8;
mix=0.8;
g=9.81;
rw = dw/2;
vmax = 0.377*nmax*rw/i

MShaft_max = Mmax*i
Fx_max=MShaft_max/rw
Fbr_max=m*g*mix
```

```
T0 = 0.93;
xi = 0.75;

Kv = 2*xi*m/T0
Tv = 2*xi*T0
alphav = T0/Tv;

% simulacia:
tinit=1;
% 0.5 pre A, 5 pre B

v1w=5;
terror=15;

Fz = MShaft_max/(4*rw)
sim('sch1.slx');
```

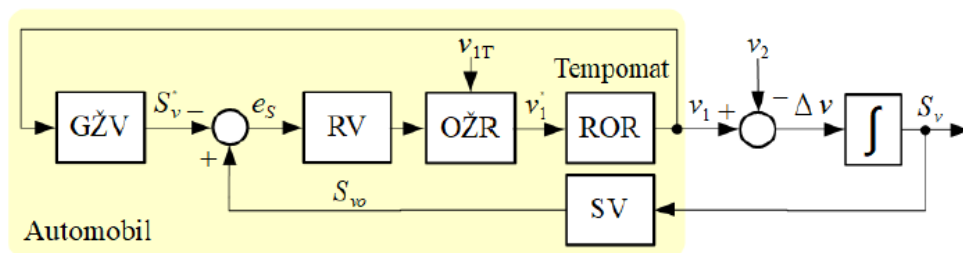
```
% vykreslenie priebehov:
figure(1);
plot(ans.time,ans.v1,'-b',ans.time,ans.v1w,'-r','linewidth',1.5);
xlabel('{\it t} [s]');
ylabel('{\it v} [m/s]');
legend('{\it v}_1', '{\it v}_1_{ref}');
title('Rychlost automobilu');

figure(2);
plot(ans.time,ans.Fx,'-b',ans.time,ans.Fz,'-r','linewidth',1.5);
xlabel('{\it t} [s]');
ylabel('{\it F} [N]');
legend('{\it F}_x', '{\it F}_z');
title('Trakcna sila');
```

## Čiastočné zhodnotenie dosiahnutých výsledkov pre simulačný experiment ROR A a B

V prvej úlohe sme navrhli a následne experimentálne overili regulačný obvod rýchlosti vozidla – tempomat. Požiadavky na regulátor sú aby udržiaval rýchlosť vozidla na žiadanej hodnote, v prípade externých vplyvov vygeneroval stabilný akčný zásah bez prekmitov a preregulovania. Rýchlosť odozvy ROR by mala byť v súlade s fyzikálnymi obmedzeniami trakčného systému. Podľa Obrázok 3 a Obrázok 4 je zrejmé, že náš návrh je v súlade s odporúčaniami a spĺňa podmienky regulácie. Nakoľko sme regulátor navrhovali pomocou odvodenia z metódy zadávania pólov a splnili sme kritéria na veľkosť parametrov  $T_0$  a  $\xi$ , môžeme prehlásiť naše riadenie za stabilné.

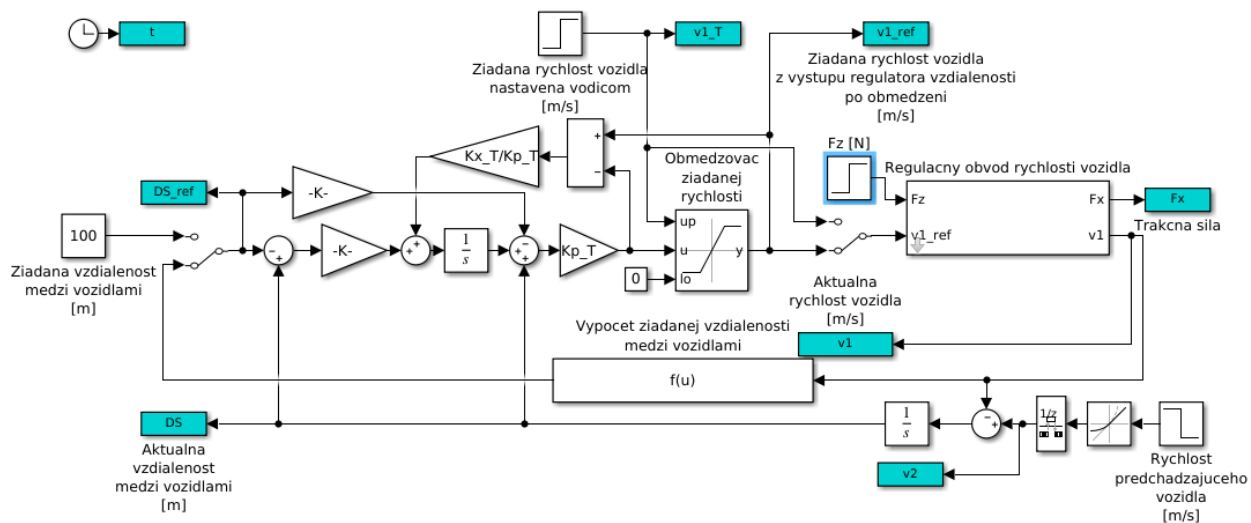
## 2.2 Simulačný experiment regulačného obvodu vzdialenosti medzi vozidlami (adaptívny tempomat)



Obr. 2.5 Štruktúra regulačného obvodu vzdialenosti medzi vozidlami (adaptívny tempomat)

GŽV- generátor žiadanej vzdialenosti,	$S_v^*$ - žiadaná vzdialenosť medzi vozidlami,
OŽR- obmedzovač žiadanej rýchlosti,	$v_1$ - aktuálna rýchlosť vozidla,
ROR- regulačný obvod rýchlosti,	$v_{1T}$ - žiadaná rýchlosť vozidla nastavená vodičom,
RV - regulátor vzdialenosti,	$v_1^*$ - žiadaná rýchlosť vozidla,
SV - snímač vzdialenosti,	$v_2$ - aktuálna rýchlosť predchádzajúceho vozidla.
$S_v$ - aktuálna vzdialenosť medzi vozidlami,	
$S_{vo}$ - pozorovaná vzdialenosť medzi vozidlami,	

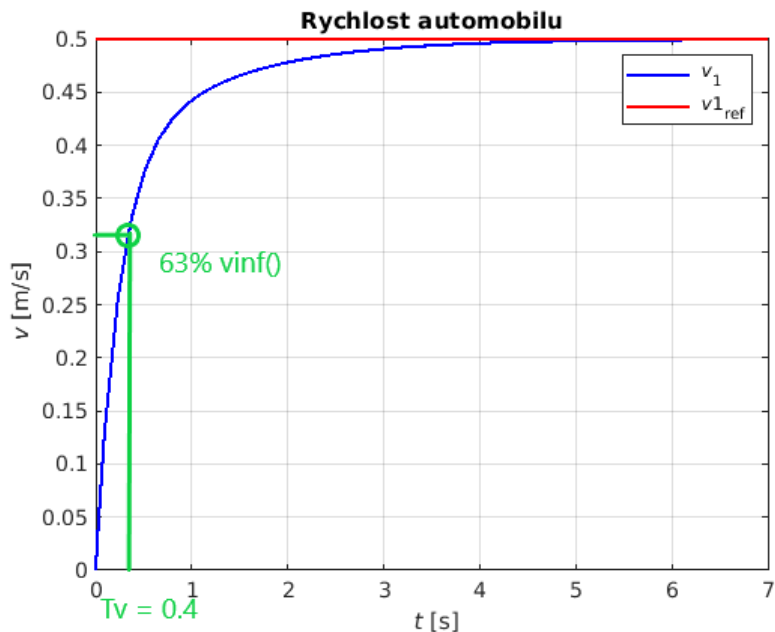
Obrázok 5. Štruktúra regulačného obvodu vzdialenosti medzi vozidlami automobilu. (Zdroj: NPAE, Igor Béla, Prednáška 2)



Obrázok 6. Simulačná schéma regulačného obvodu vzdialenosti medzi vozidlami

### Návrh regulačného obvodu odstupu vozidiel – adaptívny tempomat

V prvom kroku určíme veľkosť náhradnej časovej konštanty ROR, čo predstavuje čas kedy prechodová charakteristika nadobudne 63% ustálenej hodnoty v nekonečne. Vykreslíme priebeh a určíme graficky, odozvu na rýchlosť pri ktorej nenastane obmedzenie trakčnej sily (0.5 m/s)



Obrázok 7. Určenie náhradnej časovej konštanty  $T_v$  z prechodovej charakteristiky – odozva na jednotkový skok žiadanej rýchlosti ROR

Tab. 6. Parametre simulácie – **žiadané hodnoty**

Parameter	Hodnota	Jednotka	Popis
$T_0$	0.93	s	Časová konštantá udáva dynamické vlastnosti ROR (od 0.2 do 1)
$\xi$	0.75	-	Konštantá tlmenia ROR (od 0.7 do 1)
$K_{x\_T}$	50	-	
$K_{x\_v}$	500	-	

**Pozn.:** Parametre regulačného obvodu rýchlosti ostávajú rovnaké ako v úlohe 1 – tempomat, v Tab. 4.

Tab. 7. Parametre regulačného obvodu vzdialenosti – **vypočítané hodnoty**

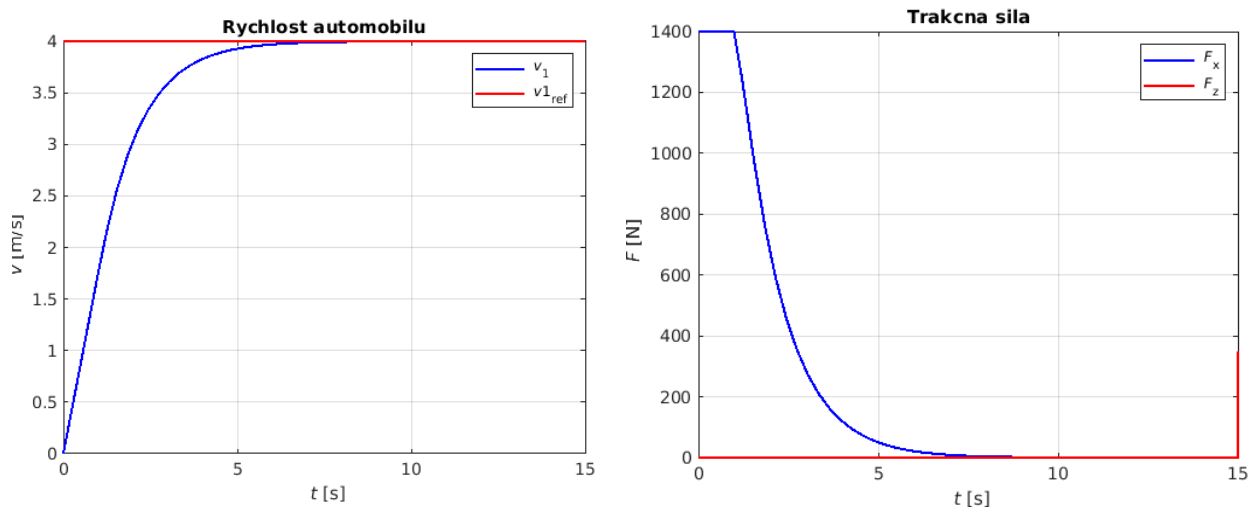
Parameter	Hodnota	Jednotka	Popis
$T_v$	0.4	s	Náhradná časová konštantá – oneskorenie ROR
$T_{0\_T}$	2	s	Žiadaná dynamika ROR (výpočet: $T_{0\_T} = 5 \cdot T_v$ )
$K_T$	0.333	-	Relatívny posun 3. relatívneho pólu (výpočet $K_T = T_v / (T_{0\_T} - 2 \cdot T_v)$ )
$T_{i\_T}$	4.6667	s	$T_{0\_T} \cdot (2 + K_T)$
$K_{p\_T}$	0.7	-	$T_{i\_T} / (T_{0\_T}^2 \cdot (1 + 2 \cdot K_T))$
$\alpha_T$	0.4286	-	$T_{0\_T} / T_{i\_T}$

### Simulačný experiment A

Rozbeh vozidla, až kým vozidlo nedosiahne prednastavenú rýchlosť  $v_{1T}$  v čase  $t_1$  (aby platilo  $v_1 = v_{1T}$ ,  $v_{1T}$  zvolíte)

Táto úloha zo zadanie predstavuje overenie vlastností regulačného obvodu rýchlosti, preto nebudeme zaznamenávať priebeh vzdialeností medzi vozidlami, ale len rýchlosť vozidla a trakčnú silu.

Zvolíme  $V_{1T} = 4 \text{ m/s}$



Obrázok 8 Simulačný experiment A, rozbeh vozidla na prednastavenú rýchlosť.

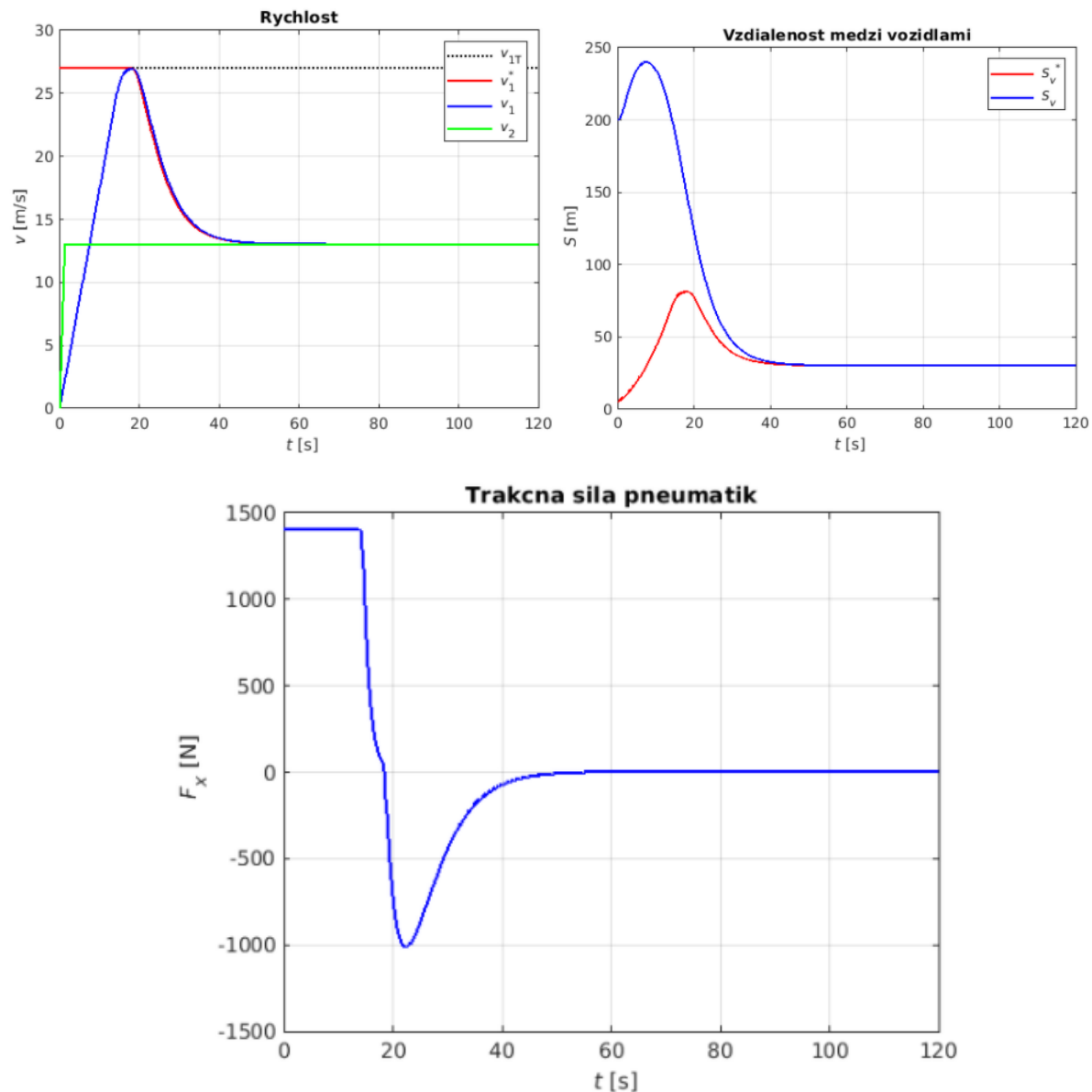


### Simulačný experiment B

Priblíženie sa k vozidlu pohybujúcemu sa rýchlosťou  $v_2$  v čase  $t_2 > t_1$ , pričom platí:  $v_2 < v_1$  ( $v_2$  zvolíte)

Zvolíme  $v_2 = 13$  m/s

V tomto experimente budeme sledovať situáciu, kedy sa vozidlo s adaptívnym tempomatom približuje k vozidlu v jazdnom pruhu pred ním. Všimnime si, že keď vozidlo s adaptívnym tempomatom zaznamená vhodnú vzdialenosť medzi vozidlom pred sebou pomocou senzorov, v čase 20s, začne plynule spomaľovať a ostane v bezpečnej vzdialenosti.

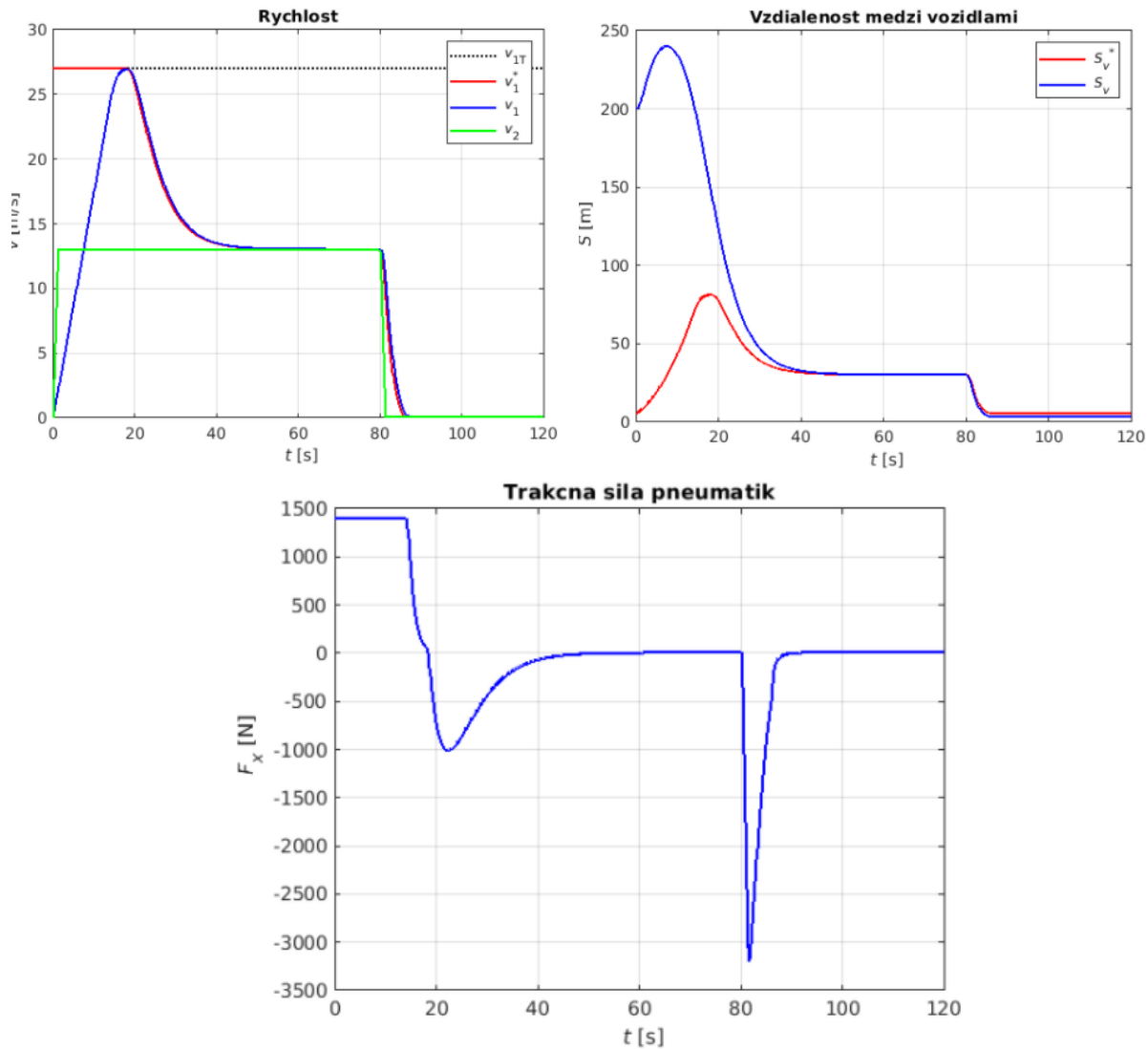


Obrázok 9. Simulačný experiment B – priblíženie sa vozidla 1 k vozidlu 2 pomocou adaptívneho tempomatu.

### Simulačný experiment C

Zastavenie predchádzajúceho vozidla v čase  $t_3 > t_2$ .

V tomto experimente zastavíme vozidlo pred nami v čase 80s, budeme sledovať reakciu adaptívneho tempomatu na túto zmenu. Akčný zásah bude prudké brzdenie, ktorého veľkosť je však obmedzená adhéznymi vlastnosťami pneumatiky a vozovky. V prípade použitia systému ABS dokážeme predísť šmyku a tak efektívnejšie preniesť brzdnú silu.



Obrázok 10. Simulačný experiment C – reakcia adaptívneho tempomatu na zastavenie predchádzajúceho vozidla

## Zdrojový kód simulačného experimentu 2 (A,B,C)

```
Tsim = 120
% parametre jazdy vozidla pred nami:
t3 = 2*Tsim/3;% [s] cas kedy
zastavi
v2_0 = 13;      % [m/s] pociatocna
v2_1 = 0;      % [m/s] rychlost
vozidla
m = 800;
dw = 0.64;
nmax = 5000
Mmax = 160;
i = 2.8;
ux = 0.8;      % koeficient trenia
% vypocitane parametre automobilu:
rw = dw/2;     % [m] polomer
pneumatiky
vmax = nmax*rw*2*pi*3.6/60/i;
wShaft_max = vmax*1000/3600/rw;
MShaft_max = Mmax*i;
Fbr_max = m*9.81*ux;
T0 = 0.93;
xi = 0.75;    % tlmenie ROR
Kv = 2*xi*m/T0;
Tiv = 2*xi*T0;
alpha_v = T0/Tiv;
```

```
Tv = 0.4;
T0_T = 5*Tv;
k_T = Tv/(T0_T-2*Tv)
Ti_T = T0_T*(2+k_T)
Kp_T = Ti_T/(T0_T^2*(1+2*k_T))
alpha_T = T0_T/Ti_T
Kx_T = 50
% simulacia:
sim('ATempomat_V02b_PI_R2011b.mdl');
```

```
figure(1);
plot(t,v1_T,':k',t,v1_ref,'-
r',t,v1,'-b',t,v2,'-
g','linewidth',1.5);
xlabel('\it t} [s]');
ylabel('\it v} [m/s]');
legend('\it v}_{1T}','\it
v}_{1^{*}}', '\it v}_{1}', '\it
v}_{2}');
title('Rychlost');
grid on;
```

## 3 Zhodnotenie výsledkov

Cieľom projektu bolo navrhnuť a experimentálne simulovať model adaptívneho tempomatu vozidla v rôznych prípadoch a kolíziách na vozovke v interakcii s inými vozidlami. Model sme implementovali v prostredí Simulink a obslužný skript v programe Matlab. V prvej úlohe sa nám podarilo správne navrhnuť regulačný obvod rýchlosti vozidla (klasický tempomat), ktorý sme následne implementovali v pokročilom modeli PI regulačného obvodu odstupu vozidiel (adaptívneho tempomatu). Regulačné obvody sú stabilné, navrhnuté metodou zadávania polov, kvalita regulácia je dobrá, nezaznamenali sme preregulovanie, čas ustálenia zodpovedá krajným fyzikálnym obmedzeniam, čo je vhodné, keďže chceme naplno využiť výkon automobilu. Model adaptívneho tempomatu berie do úvahy reálne fyzikálne obmedzenia plynúce z nedokonalosti možnosti prenosu trakčnej a brzdiacej sily a momentu z pneumatiky na vozovku. Výstupom projektu sú simulácie, ktorých výsledky sú na Obrázkoch 9 a 10. Simulácia 2B na Obrázku 9. simuluje priblíženie sa vozidla s adaptívnym tempomatom k vozidlu pred ním v jazdnom pruhu. Simulácia 2C na Obrázku 10 modeluje prípad, kedy predchádzajúce vozidlo prudko zastaví na 0 rýchlosť, vďaka tomu, že adaptívny tempomat udržiaval dostatočnú bezpečnú vzdialenosť, je schopný zabrzdiť a vyhnúť sa kolízií.