

Izdelava in testiranje modela avta v Simulinku

Aleš Zupanc in Denis Majhenič

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru

Smetanova 17, SI-2000 Maribor

ales.zupanc@uni-mb.si, denis.majhenic@uni-mb.si

Composition and Testing Model of Car in Simulink

Abstract: Construction and testing of electrical vehicle dynamic model in Simulink are presented in the paper. Effects of the air resistance, gear ratios, road inclination angle, inertias and frictions are included. The model is used in the testing rig for the induction motors, where dynamic emulation of mechanical loads is applied. Performance is evaluated using Matlab, Simulink and dSPACE.

1 Uvod

V članku bodo opisani rezultati seminarja, ki sva ga izvajala v šolskem letu 2003/2004. Analizirala sva modele mehanizmov, katerih vplive na pogon hočemo preizkusiti. Najina naloga je bila izdelati in preizkusiti model električnega vozila, ki se uporablja za testiranje sistema aktivnega obremenjevanja.

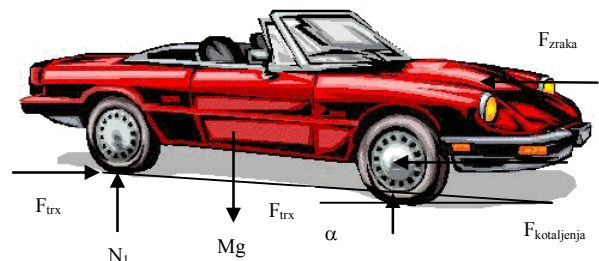
Seminar se je izvajal v okviru projekta "Načrtovanje in uporaba opreme za dinamično emulacijo mehanskih bremen" (Z2-5349-796-03, MŠZŠ). Naloga projekta je izvedba algoritmov vodenja testnega mesta, proučitev uporabljene programske in strojne opreme in izdelava dokumentacije.

Sistem sestavljata dva motorja, ki sta med seboj mehansko povezana preko sklopke in imata tako dejansko skupno os. Asinhronski motor vodimo s preiskušanim algoritmom (orodje dSPACE, Matlab/Simulink), drugi motor (elektronsko komutirani) pa je voden na klasičen in preiskušani način, tako da mu lahko natančno nastavljamo navor oz. hitrost.

2 Izdelava in obnašanje modela avta

2.1 Dinamični model vozila

Pri modelu vozila moramo upoštevati sile, ki zavirajo gibanje in prav tako sile, zaradi katerih se avto giblje. Avto se namreč premakne takrat, ko je sila motorja večja od sil zaviranja. Gibanje zavirajo sila upora zraka (F_{zraka}), sila kotaljenja ($F_{kotaljenja}$) in sila zaradi klanca (F_{klanca}), če se avto pelje po klanecu navzgor. Ko pa se pelje po klanecu navzdol pa F_{klanca} ne zavira gibanja, ampak ga še pospešuje. Avto se giblje zaradi navora motorja (T_e). V naš model smo vpeljali še navor zavore (T_{zavore}), da lahko opazujemo obnašanje avta pri zaviranju. Upoštevali smo tudi vztrajnostni moment motorja (J_e) in koles (J_{koles}).



Slika 1: Vozilo

Hitrost avta izračunamo preko kombiniranega prestavnega razmerja (R_g), kotne hitrosti motorja (w) in radija kolesa (r).

$$\dot{w}_{kolesa} = \frac{(T_{gredi} - T_{zavore} - r \cdot F_{trx})}{J_{kolesa}}, \quad (1)$$

pri čemer lahko zapišemo da je

$$\dot{w}_{kolesa} = \frac{a}{r}. \quad (2)$$

$$\frac{a}{r} = \frac{(T_{gredi} - T_{zavore} - r \cdot F_{trx})}{J_{kolesa}} \text{ pomnožimo z } J_{kolesa}$$

$$\frac{a \cdot J_{kolesa}}{r} = (T_{gredi} - T_{zavore} - r \cdot F_{trx})$$

V zgornjo enačbo vstavimo ostale enačbe:

$$T_{gredi} = \frac{T_e}{R_g}, \quad (3)$$

$$F_{trx} = F_{zraka} + F_{kotaljenja} + F_{klanca}, \quad (4)$$

$$F_{zraka} = C_a \cdot w^2 \cdot r^2 \cdot R_g^2, \quad (5)$$

$$F_{kotaljenja} = B \cdot w, \quad (6)$$

$$F_{klanca} = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

in dobimo:

$$a \cdot \left(\frac{J_{kolesa}}{r} + M \cdot r + \frac{J_e}{r \cdot R_g^2} \right) = \frac{T_e}{R_g} - T_{zavore} - r \cdot (C_a \cdot w^2 \cdot r^2 \cdot R_g^2 + B \cdot w + m \cdot g \cdot \sin \alpha) \quad (8)$$

Enačbo (8) nato še malo preuredimo in dobimo končno enačbo dinamičnega modela vozila:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{a}{r} = \frac{1}{R_g^2 \cdot (J_{kolesa} + M \cdot r^2) + J_e} \cdot (T_e - R_g \cdot T_{zavore} - R_g \cdot r \cdot (C_a \cdot w^2 \cdot r^2 \cdot R_g^2 + B \cdot w) + M \cdot g \cdot \sin \alpha) \quad (9)$$

kjer so:

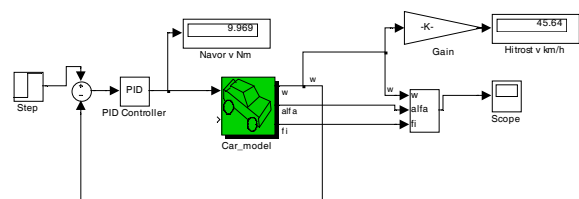
- R_g : kombinirano prestavno razmerje, ki je sestavljeno iz:

$$R_g = R_{trans} \cdot R_{fd} \quad (10)$$

- R_{trans} prenosno prestavno razmerje (1.prestava = 0.6)
- R_{fd} končno vozno razmerje $R_{fd} = 1$

- C_a : konstanta zračnega upora $C_a = 0.3 \text{ kg/m}$
- g : gravitacijski pospešek $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- M : masa vozila $M = 50 \text{ kg}$
- r : radij kolesa $r = 0.3 \text{ m}$
- J_e : vztrajnostni moment motorja $J_e = 0.0002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- T_e : navor motorja
- T_{zavore} : navor zavore
- B : konstanta viskozne trenja $B = 0.1 \text{ Nms}$
- w : kotna hitrost
- α : kotni pospešek
- φ : kot pozicije motorja
- J_{kolesa} : vztrajnostni moment koles $J_{kolesa} = 0.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
- w_{kolesa} : kotna hitrost kolesa
- a : pospešek vozila
- T_{gredi} : navor gredi
- F_{trx} : sile zaviranja na vsako kolo

3 Model vozila v Simulinku



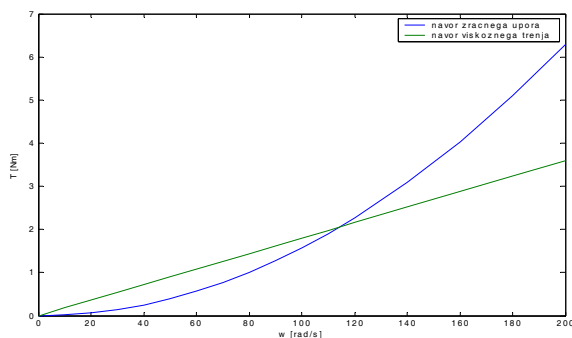
Slika 2: Blokova shema proge

Model vozila smo regulirali z PI regulatorjem. Sistem smo vzbujali s stopničnim signalom. Ker lahko pri majhnih hitrostih sistem smatramo kot linearen (Slika 3) smo parametre regulatorja nastavili s pomočjo Matlab/Sisotool-a in tam določili časovno konstanto:

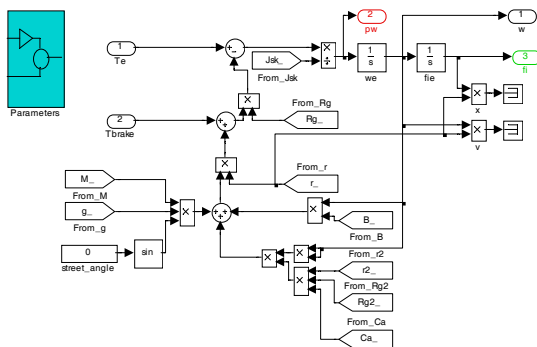
$$T_i = 0.1 \text{ in ojačanje } K_p = 5$$

Iz slike vidimo, da je pri majhnih hitrostih (do 20%) navor zračnega upora manjši od

navora viskoznega trenja, zato zanemarimo navora zračnega upora. Sistem lahko v tem območju smatramo kot linearen.

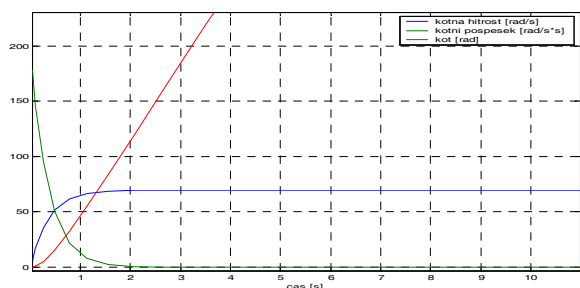


Slika 3: Primerjava navora zračnega upora in navora viskoznega trenja



Slika 4: Blokovna shema vozila

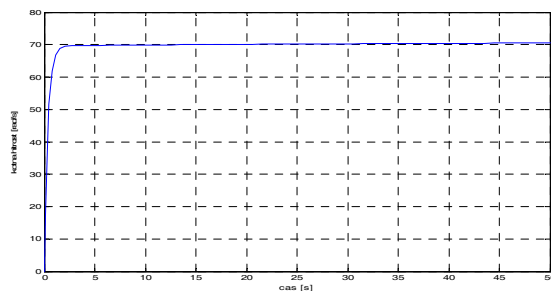
V tem modelu imamo dva integratorja, saj je kotni pospešek dvojni odvod kotne hitrosti. Model ima dva vhoda in tri izhode. Prvi vhod je navora motorja, drugi vhod pa je navora zavore, katerega nismo uporabili. Na izhodu pa imamo kotno hitrost, kotni pospešek in kot motorja. V blok Parameters nastavimo elemente, tako da lahko sproti spreminjamo parametre v programu dSPACE.



Slika 5: Odziv sistema na stopnico

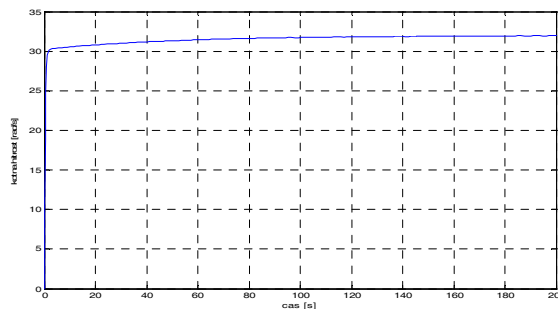
Na sliki 5 vidimo vse tri odzive. Pri zagonu motorja imamo maksimalni kotni pospešek, ki

pa se zmanjšuje, z naraščanjem kotne hitrosti. Ko je kotna hitrost konstantna, je kotni pospešek enak nič.



Slika 6: Stopnični odziv kotne hitrosti

Avto se giblje po ravnem delu in nima nobenega klanca. Pri navoru motorja 10 Nm doseže avto hitrost 45 km/h v 6-ih sekundah, da pa se ustali rabi več časa. Moramo poudariti, da smo to hitrost dosegli v prvi prestavi (Slika 6).



Slika 7: Odziv sistema na stopnico pri klanecu 5° navzgor

Na sliki 6 pa vidimo, kako smo motor avtomobila še bolj obremenili, saj smo mu nastavili klanec pod kotom 5°, to je 9% klanec. V tem primeru ima motor avtomobila prav tako 10Nm navora, vendar zaradi klanca doseže hitrost v prvi prestavi 20 km/h, v 20-ih sekundah, da pa se ustali rabi več časa. Veliko časa preteče, da avto doseže svojo končno hitrost. Vendar že po prvih petih sekundah doseže malo manjšo hitrost kot je končna, kar je lepo razvidno iz grafov (Slika 6, Slika 7). Tudi v praksi vemo, da prestavimo v višjo prestavo preden avto doseže končno hitrost v tisti prestavi.

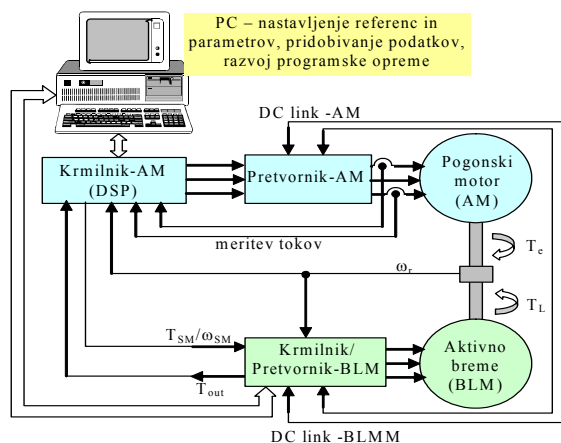
4 Obnašanje avta na objektu vodenja

Sistem sestavljata dva motorja, ki sta med seboj mehansko povezana preko sklopke in

imata tako dejansko skupno os. Asinhronski motor vodimo s preiskušanim algoritmom (orodje dSPACE, Matlab/Simulink), drugi motor pa je voden na klasičen in preiskušani način, tako da mu lahko natančno nastavljamo navor oz. hitrost.



Slika 8: Objekt vodenja



Slika 9: Eksperimentalni sistem

Iz Slike 9 vidimo kako je najin objekt vodenja priključen preko pretvornikov in krmilnikov z računalnikom.



Slika 10: dSPACE uporabniški vmesnik

S pomočjo dSPACE uporabniškega vmesnika lahko sproti spreminjamo parametre

in gledamo različne odzive. Opazovali smo avto v različnih situacijah (klanec navzgor, klanec navzdol in pospeševanje).

Parametri, ki smo jih nastavili (dSPACE) so bili:

$$m=20\text{kg},$$

$$J_e=0.0002\text{kgm}^2,$$

$$J_{koles}=0.3\text{kgm}^2,$$

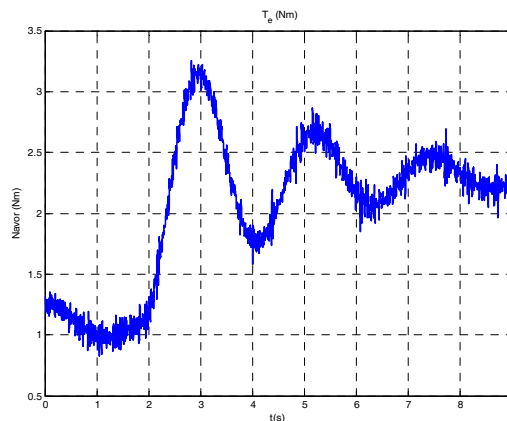
$$R_{trans}=0.3,$$

$$R_{fd} = 1,$$

$$B=0.1\text{Nms},$$

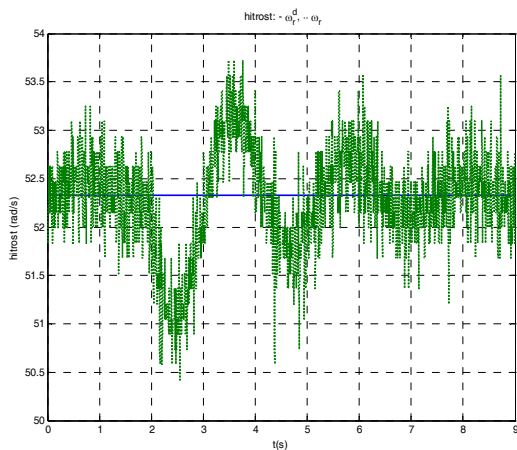
$$C_a=0.3\text{kg/m}$$

Slike 11, 12 in 13 kažejo gibanje po klanecu navzgor (5°). Avto se najprej giblje po ravnem delu, nato se začne vzpenjati na klanec. Iz Slike 11 vidimo kako se navor pričakovano poveča in pride do prenehaja. Parametre regulatorja bi morali drugače nastaviti, vendar jih zaradi omejitev nismo mogli (odziv avta bi bil prepočasen). Slika 12 prikazuje spreminjanje hitrosti. Ko pride avto na klanec, hitrost zaniha. Odstopanje od dejanske hitrosti prikazuje Slika 13.

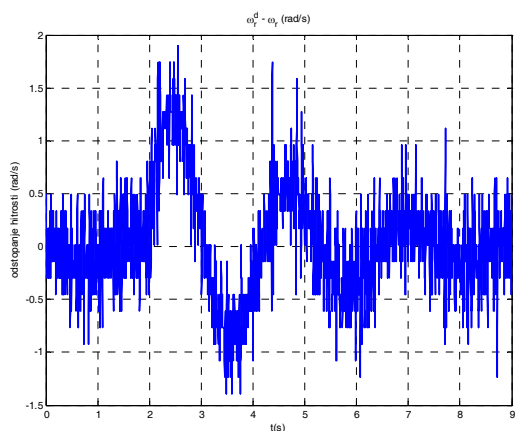


Slika 11: Klanec navzgor – Navor

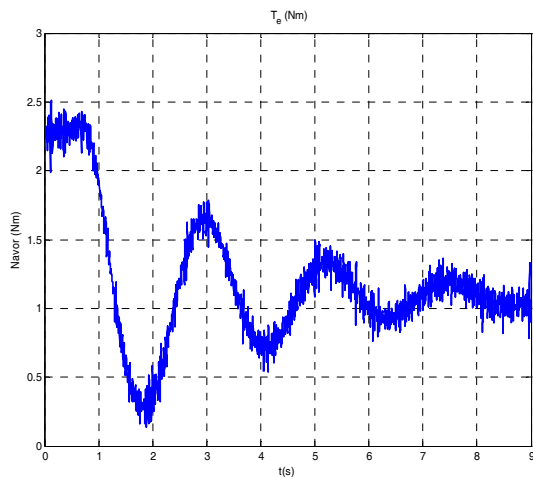
Gibanje po klanecu navzdol (5°) kažejo slike 14, 15 in 16. Avto se spet giblje po ravnem delu, nato se začne spuščati po klanecu navzdol. Iz Slike 14 vidimo kako se navor zmanjšuje, ravno obratno kot pri klanecu navzgor. Slika 15 prikazuje spreminjanje hitrosti. Ko pride avto na klanec hitrost zaniha. Odstopanje od dejanske hitrosti pa prikazuje Slika 16.



Slika 12: Klanec navzgor – Hitrost



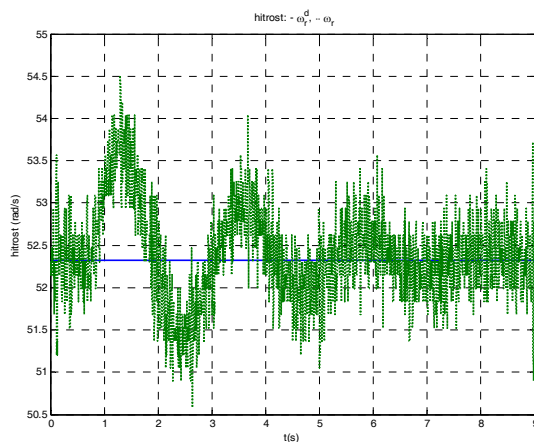
Slika 13: Klanec navzgor - Odstopanje hitrosti



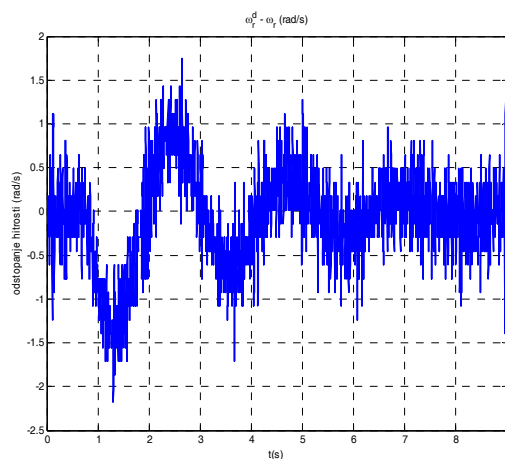
Slika 14: Klanec navzdol – Navor

Pospeševanje je prikazano no slikah 17, 18 in 19. Avto se giblje enakomerno po ravnem delu, nato začne pospeševati. Hitrost povečamo po rampi za 35 rad/s, kot vidimo iz Slike 18. Iz Slike 17 vidimo, da pride pri navoru do

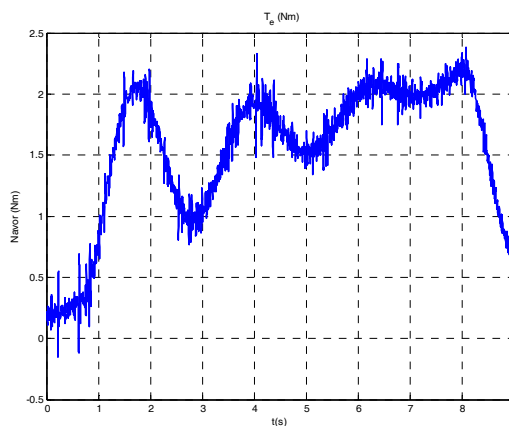
prenehaja. Parametrov zaradi omejitev nismo mogli dovolj točno nastaviti.



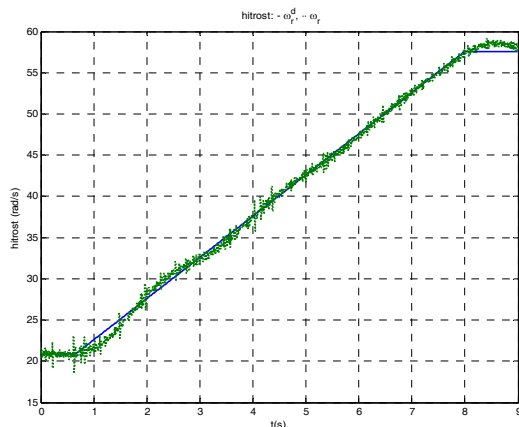
Slika 15: Klanec navzdol - Hitrost



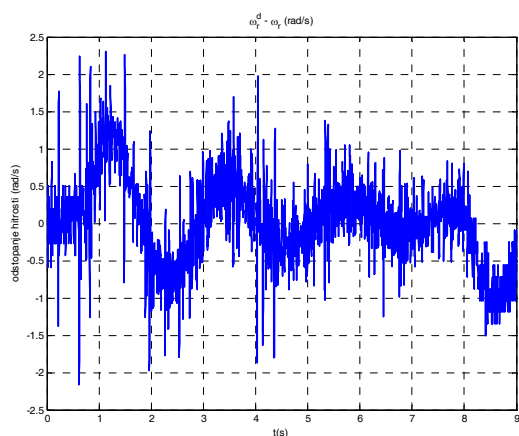
Slika 16: Klanec navzdol - Odstopanje hitrosti



Slika 17: Pospeševanje - Navor



Slika 18: Pospeševanje - Hitrost



Slika 19: Pospeševanje - Odstopanje hitrosti

5 Zaključek

V članku sva zapisala dinamični model avta, ki sva ga potem regulirala z PI regulatorjem v programu Matlab/Simulink. Velike probleme sva imela z nastavitvijo parametrov.

Najprej sva izvedla regulacijo modela električnega avtomobila. Ko je bilo delovanje v Matlab/Simulinku brezhibno, sva ga testirala še v programu dSPACE. V samem programu sva naletela na naslednji problem. Motor sva lahko

obremenila z največ 5Nm navora. Zaradi tega sva morala zmanjšati maso avta, zračni upor, trenje koles in vztrajnostni moment motorja.

Ta projekt je možno nadaljevati v okviru diplomske naloge, saj imamo veliko takšnih modelov, ki bi jih lahko preučili.

6 Zahvala

Zahvaljujemo se prof.dr. Karlu Jezerniku in dr. Miranu Rodiču, za vodenje in pomoč pri izvedbi seminarja.

7 Literatura

- [1] Zapiski predavanj: K. Jezernik: Regulacije I.
- [2] Zapiski predavanj: R. Svečko: Teorija sistemov, Regulacije II.
- [3] Zapiski predavanj: B. Tovornik: Modeliranje procesov.
- [4] M. Drew, A Discussion of Vehicle Modeling for Control, Spletna stran: <http://vehicle.me.berkeley.edu/~mdrew/Documents/VehicleModel.pdf>
- [5] PROBLEMS: MATHEMATICS, Spletna stran: <http://www.student-automotive.com/problems/mathematics.html>
- [6] Tecaj Matlab/Simulink-a, Spletna stran: http://www.ro.feri.uni-mb.si/predmeti/navodila/Matlab_nav/matlab_65.htm#matlab
- [7] Control Engineering Virtual Library, Spletna stran: http://www-control.eng.cam.ac.uk/extras/Virtual_Library/Control_VL.html
- [8] Simulation of Electric Machine and Drive Systems using Matlab and Simulink, Spletna stran: <http://www.ece.umn.edu/users/riaz/>
- [9] dSPACE, Spletna stran: <http://www.dspaceinc.com/ww/en/inc/home.htm>