

SIMULACIJA UPRAVLJANJA VOZILOM PRILIKOM ABS KOČENJA U SIMULINKU

SIMULATION OF VEHICLE HANDLING DURING ABS BRAKING IN SIMULINK

Davor Gadže¹, Borna Ivezić², Marin Mutić², Krunoslav Martinčić¹

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska

²Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska, Student

SAŽETAK

Ovaj rad opisuje jednostavan ABS (sustav protiv blokiranja kočnica) sustav koji se koristi na uobičajenim vozilima i opisuje njegovu funkciju. Kočenje ABS sustava pri određenoj brzini vozila simulira se u MATLAB-ovom Simulink-u te se dobiveni rezultati uspoređuju sa rezultatima simulacije istog modelom vozila bez ABS sustava kočenja. Napravljene su tri simulacije kočenja na tri različite površine po kojima vozilo vozi kako bi se prikazala uloga ABS sustava kočenja u vozilima. Ovaj rad također opisuje kako izgraditi takav sustav sa Simscape blokovima i drugim blokovima koji se koriste u Simulinku. Na temelju provedene simulacije se stvaraju različiti grafikoni i podaci koji prikazuju rezultate simuliranog kočenja.

Ključne riječi: ABS, kočenje, upravljanje vozilom, simulacija

ABSTRACT

This paper describes a simple ABS (anti-lock brake system) system used on conventional vehicles and describes its function. Braking of the ABS system at a certain vehicle speed is simulated in MATLAB's Simulink and the obtained results are compared with the results of simulation of the same vehicle model without ABS braking system. Three simulations of braking on three different surfaces on which the vehicle drives were made to show the role of ABS braking systems in vehicles.

This paper also describes how to build such a system with Simscape blocks and other blocks used in Simulink. Based on the conducted simulation, various graphs and data are created that show the results of the simulated braking.

Keywords: ABS, braking, vehicle handling, simulation

1. UVOD

1. INTRODUCTION

U današnje vrijeme sve bržeg tehnološkog razvoja, većeg prometa na cestama i većih brzina vozila raste potreba za pouzdanijim i sigurnijim vozilima. Kao rezultat navedenog, razvijaju se uređaji i sigurnosni sustavi u vozilima, čime se smanjuje rizik sudjelovanja u svakodnevnom prometu. Od najstarijih: pojasevi, nasloni za glavu, preko najnovijih: zračni jastuci, ABS (Anti-lock braking system) kočnice, do modernih: ESP (Electronical Stability Program) i Active Braking Assist, itd. Jedan od spomenutih je ABS.

ABS je sustav za sigurnije kočenje u različitim vozilima (automobili, kamioni, autobusi, motocikli i zrakoplovi).

ABS sprječava blokiranje kotača pri brzom i naglom kočenju, posebno u lošim uvjetima na cesti. ABS smanjuje proklizavanje (proklizavanje – udaljenost koju vozilo prelazi je veća od kotrljanja gume) vozila, odnosno povećava vuču između kotača i tla, te povećava upravljivost vozila. Kod blokiranih kotača kretanje vozila je uglavnom pravocrtno.



Slika 1 ABS simbol [2]

Figure 1 ABS symbol [2]

2. SIMULINK

2. SIMULINK

Simulink je dio programskog paketa MATLAB koji se temelji na višeplatformskoj simulaciji i blok dijagramima temeljenim na modelu. Podržava dizajn na razini sustava, simulaciju, generiranje automatskog koda, kontinuirano testiranje i provjeru ugrađenih sustava. Simulink pruža alat za grafičko uređivanje, prilagodljive biblioteke blokova i rješenja za dinamičko modeliranje i simulaciju. Integriran je u MATLAB, omogućavajući algoritmima napisanim u MATLAB-u da se ugrade u SIMULINK modele i obrađuju rezultate simulacije u MATLAB-u za daljnju analizu. [3]



Slika 2 MATLAB & SIMULINK logo [4]

Figure 2 MATLAB & SIMULINK logo [4]

3. PRINCIP RADA ABS-A

3. HOW ABS WORKS

Postoji mnogo različitih algoritama ABS sustava. Jedan od najčešćih i najjednostavnijih bit će objašnjen u ovom radu na temelju jednog kotača. Upravljački modul je programiran za otkrivanje brzog usporavanja kotača mjereno senzorom brzine kotača (slika 3). Slučaj kotača koji brzo usporava i usporava do zaustavljanja je puno brži od slučaja potpunog zaustavljanja cijelog vozila. Npr. pri brzini od 100 kilometara na sat u savršenim uvjetima vozilo neke težine staje za oko 5 sekundi, dok se kotač pri brzini od 100 kilometara na sat može zaustaviti unutar jedne sekunde.

Čim je kotač blokiran, regulator šalje signal ventilu za smanjenje tlaka u kočnim čeljustima, odnosno kočionom kanalu. Kada se kotač ponovno počne okretati i ubrzavati, regulator šalje signal za povećanje tlaka u kanalu sve dok kotač ponovno ne počne usporavati. Pritisak koji mijenja puls unutar kanala može se mijenjati do 15 puta u sekundi. Ovi impulsi su dovoljno brzi da kotač ne mijenja značajno brzinu okretanja. Na taj se način postiže da se brzina kotača smanjuje približno istom brzinom kao i brzina samog vozila, a kočnice održavaju kotače na rubu klizanja, ali ne blokiraju.

ABS regulira proklizavanje kotača između 8 i 35 posto proklizavanja. ABS aktivnost traje sve dok brzina vozila ne padne ispod 6 kilometara na sat, ako je potrebno. [6]

4. MODEL VOZILA

4. VEHICLE MODEL

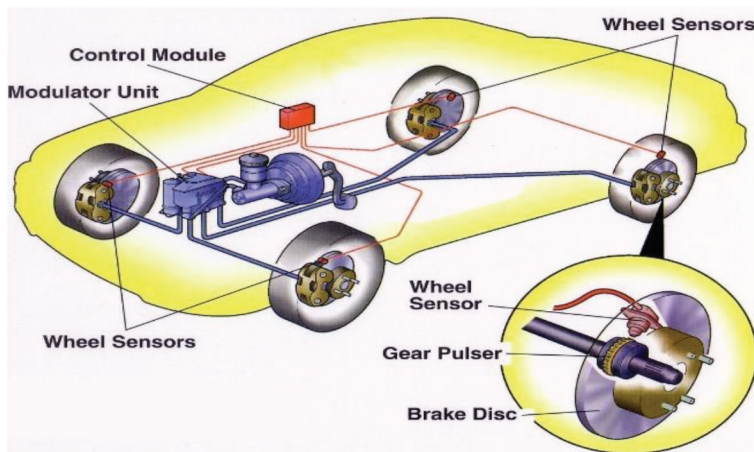
Izrađeni su blok dijagrami i simulacije u programu Simulink R2016a. Najprije se grafičkim blokovima izrađuje mehanički dio kočenja. Zatim su definirani parametri vozila, kočnice i kotača. Rezultati kočenja najčešće se prikazuju vremenskim grafikonima. Simulacija je cjelina podijeljena u dva dijela, kočenje sa ABS-om i kočenje bez ABS-a

Simulacije kočenja se simuliraju više puta s promjenom parametara, sve dok se ne postigne maksimalno, najučinkovitije kočenje. Simuliraju se tri stanja na cesti: suhi asfalt, mokra cesta i snijeg na cesti.

Konačni model izrađen je u Simulinku koji osim osnovnih blokova koristi i Simscape blokove na kojima se temelji većina modela (slika 4.).

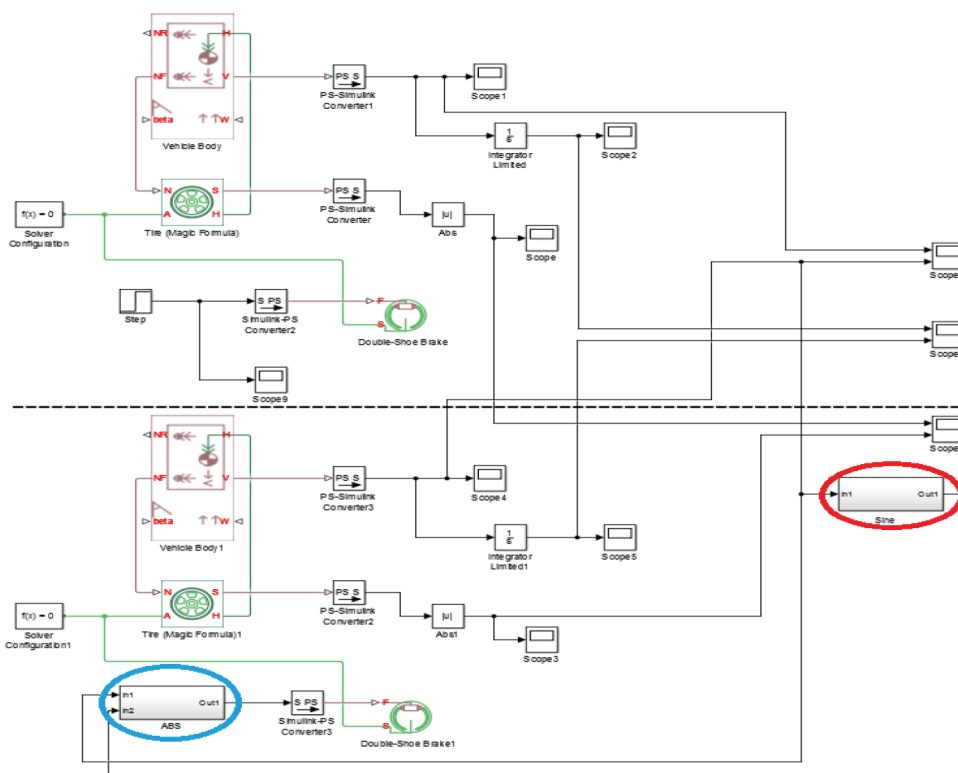
Simscape omogućuje stvaranje modela fizičkih sustava unutar Simulinka. Ima fizičke komponente koje su izravno povezane s blok dijagramima. Moguće je izraditi modele elektromotora, hidrauličnih pogona, rashladnih sustava, dijelova vozila i mnogih drugih sustava.

Simscape razvija upravljačke sustave i testira performanse različitih sustava.



Slika 3 Prikaz sustava kočenja i ABS sustava na automobilu [5]

Figure 3 Braking and ABS system overview on a car [5]



Slika 4 Model ABS sustava i vozila

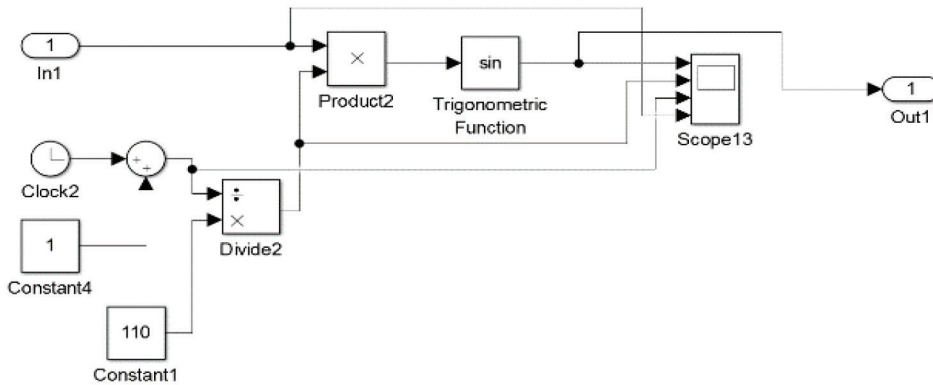
Figure 4 ABS and vehicle model

Moguće je parametriti model korištenjem MATLAB varijabli, a za kreiranje modela u drugim simulacijskim okruženjima uključujući HIL (hardware-in-the-loop) sustave, Simscape podržava generiranje koda u programskom jeziku C.

Model se sastoji od dva slična podmodela, gornjeg bez ABS kočnica i donjeg s ABS kočnicama, za bolju usporedbu grafikona (Slika 4.). Oba podmodela imaju identične parametre vozila i kočnica. Parametri guma se mijenjaju zbog tri različita stanja na cesti, a tako i parametri ABS bloka za bolje kočenje na snijegu. [1]

5. ABS PODSUSTAVI 5. ABS SUBSYSTEMS

Podsustav, koji je zaokružen crveno, sadrži blokove (slika 5) koji generiraju sinusni signal promjenjive frekvencije u odnosu na graf brzine vozila. *In1* blok daje signal brzine vozila koji je spojen na podsustav *Sine*. Blok *Clock2* daje stvarno vrijeme u sekundama i zbraja se s blokom *Constant4* koji je u početku 1, inače bi se vrijeme od 0 sekundi pomnožilo s blokom *Constant1* s vrijednošću 110. Zatim se konstanta 110 podijeli s vremenom i generira željenu početnu frekvenciju.



Slika 5 Sinusni model (crveni podsustav)

Figure 5 Sine model (red subsystem)

Tada se kvocijent konstante i vremena množi s brzinom vozila. To množenje je zapravo izraz za sinusnu jednadžbu: $y = \sin(\omega * t)$. Na kraju, množenje iz bloka Trigonometrijske funkcije „izlazi“ iz podsustava Sine uz pomoć bloka Out1. Blok Scope13 prikazuje grafove signala na koji je spojen.

Nakon sinusnog podsustava, signal brzine vozila i sinusni signal idu u podsustav ABS (slika 6). Ulaz In1 spojen je na signal brzine vozila, a ulaz In2 na sinusni signal. Blok Transport Delay2 pomiče cijeli signal 5 sekundi unaprijed, tako da ABS kočenje počinje 5 sekundi kasnije u simulaciji. Blok Integratora na gornjem ulazu prima signal (graf padajuće krivulje) koji zatim integrira signal tako da se generira signal pilastog oblika (slika 7). Na donjem ulazu prima signal (sinus) koji predstavlja frekvencijsku referencu. Zatim, blok Relational Operator uspoređuje pilasti signal i signal bloka Ramp2 koji je u obliku "rampe" (parametri: nagib = 0,08; vrijeme početka = 5 i početna vrijednost = 0,5) na temelju nejednakosti $> =$.

Tada je blok Relation Operator vrijednost 1 samo kada je nejednakost istinita i ona se množi s vrijednošću 2000 iz bloka Ramp1 (napomena: blok daje konstantnu vrijednost iako je namijenjen za signal "rampe") te tako formira PWM signal (slika 7) koji je zapravo pravi oblik signala ABS kočenja. PWM signal ide u Out1 blok i nastavlja do bloka kočnica. Blok Mux povezuje dva signala s ulaza i multipleksira ih za generiranje jednog signala. Blokovi Scope10, Scope15 prikazuju grafove signala na koje su povezani. [1]

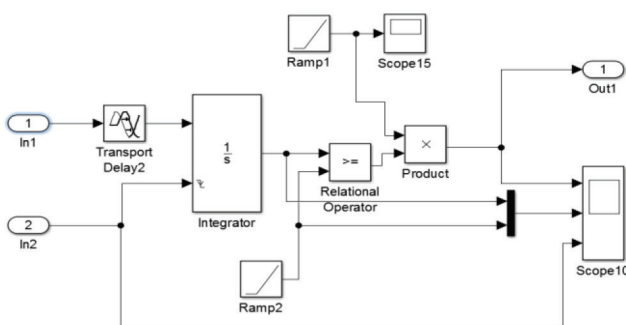
6. SIMULACIJA RADA ABS-A U RAZLIČITIM UVJETIMA NA CESTI

6. SIMULATION OF ABS OPERATION IN VARIOUS ROAD CONDITIONS

Kao i u stvarnom svijetu, u ovim simulacijama će se simulirati tri različita uvjeta kočenja na cesti. Simulirat će se kočenje i upravljanje vozilom na suhom asfaltu, mokroj cesti i snijegu na cesti. Led je izostavljen jer nema prijanjanja i upravljanja gumama na glatkom ledu. Nikada nije samo led na cesti, to je uglavnom mješavina snijega i leda.

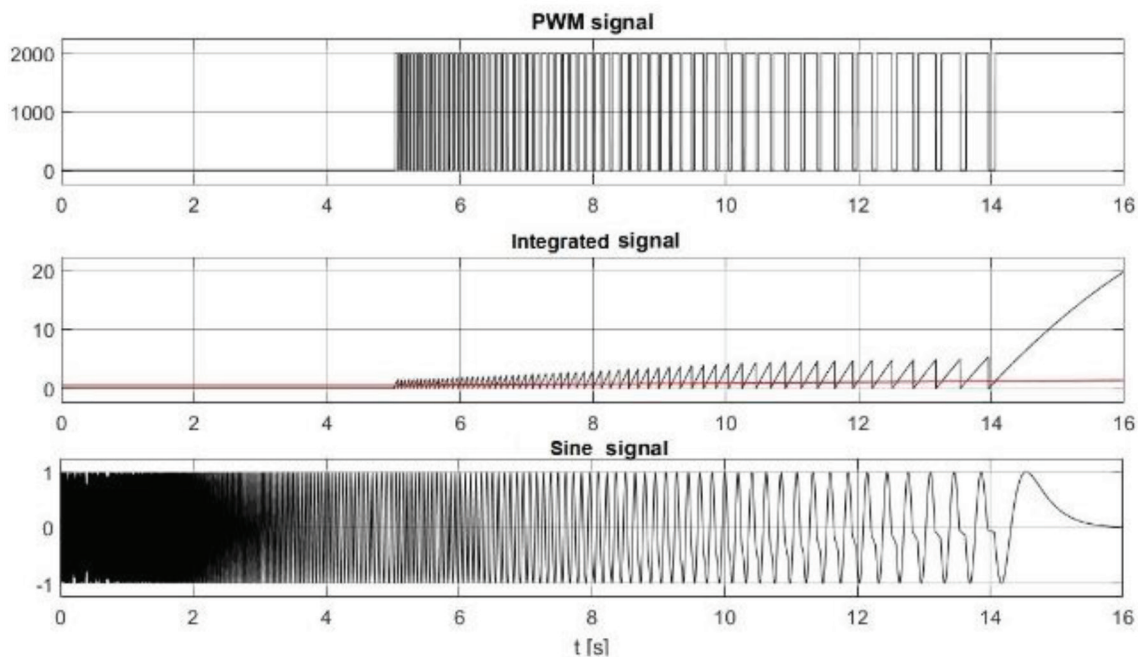
Važno je napomenuti da se u simulaciji simulira kočenje dva kotača na prednjoj osovini koja upravlja vozilom, pa simulacija nije najrealnija. Masa vozila je stoga smanjena s izvorne jedne tone na pola tone kako bi se povećao učinak kočenja iako posljednja dva kotača nedostaju.

Također je važno napomenuti da ako bi se takav sustav ugradio u vozila, postojao bi drugi sustav koji bi automatski mijenjao određene parametre ABS kočnog sustava na snijegu ili bi bilo moguće ručno mijenjati ili prebacivati parametre za razni uvjeti na cesti kako bi se omogućilo bolje kočenje i upravljanje.



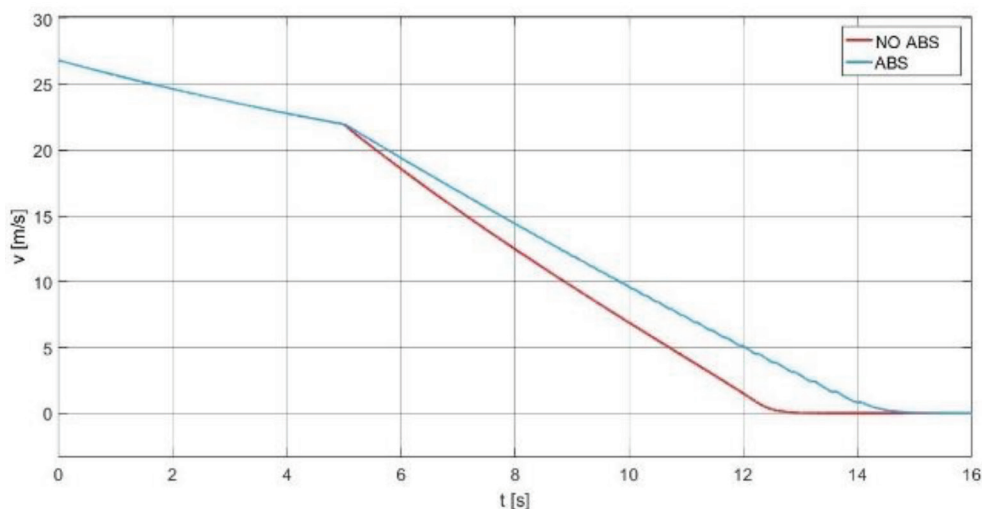
Slika 6 ABS model (plavi podsustav)

Figure 6 ABS model (blue subsystem)



Slika 7 Graf PWM, pilastog i sinusnog signala

Figure 7 PWM, saw and sine graph



Slika 8 Graf brzine vozila

Figure 8 Vehicle speed graph

Suhi asfalt

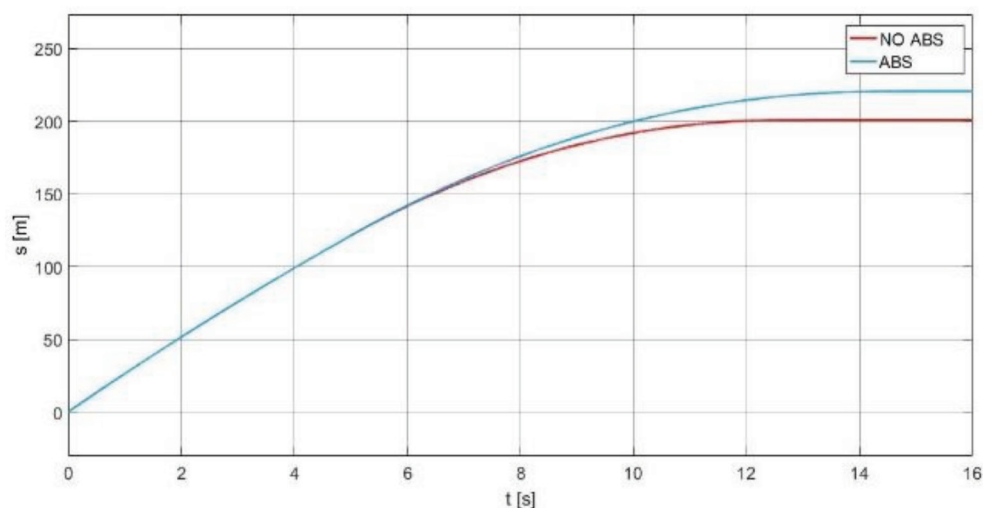
U ovoj simulaciji uspoređivat će se kočenje i upravljanje vozilima s ABS-om i bez ABS-a na suhom asfaltu koja putuju brzinom 100 km/h. parametri za oba bloka kotača u modelu su:

- Sila guma:

- o Koeficijent magične formule B – 10
- o Koeficijent magične formule C – 1,9
- o Koeficijent magične formule D – 1
- o Koeficijent magične formule E – 0,9

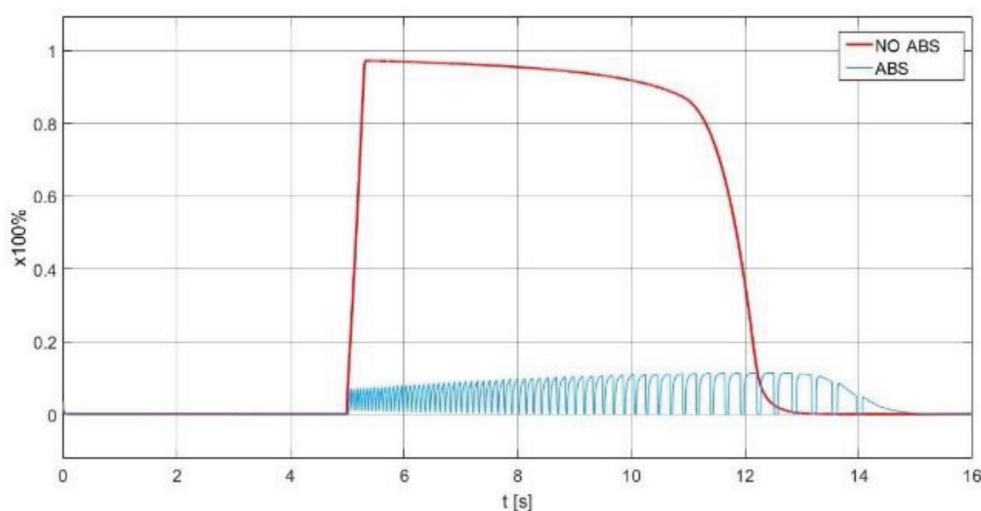
Crvena linija presijeca integrirani (pilasti) signal tako da je gornji PWM signal (slika 7) dovoljne širine kako frekvencija pada jer vozilo mora istovremeno i kočiti i imati dobru upravljivost.

Slika 8 pokazuje da unutar 16 sekundi, uz napomenu da vozilo počinje kočiti u 5. sekundi, vozilo s ABS-om, koči (plava krivulja) nešto duže od vozila bez ABS-a (crvena krivulja), ali ima puno bolju upravljivost zbog diskontinuiranog signal koji pokazuje da postoji vrijeme kada kotač koči i kada se kotač okreće.



Slika 9 Graf
prijedenog puta

Figure 9 Traveled
length graph



Slika 10 Graf
postotka
proklizavanja kotača

Figure 10 Wheel slip
percentage graph

Na slici 9, ABS krivulja ima duži put kočenja, ali to je mali nedostatak u usporedbi s dobivenim poboljšanim upravljanjem vozilom.

Slika 10 prikazuje postotak klizanja kotača. Vidi se da ABS kočenje ima puno manje proklizavanja od kočenja s potpuno blokiranim kotačima.

Mokra cesta

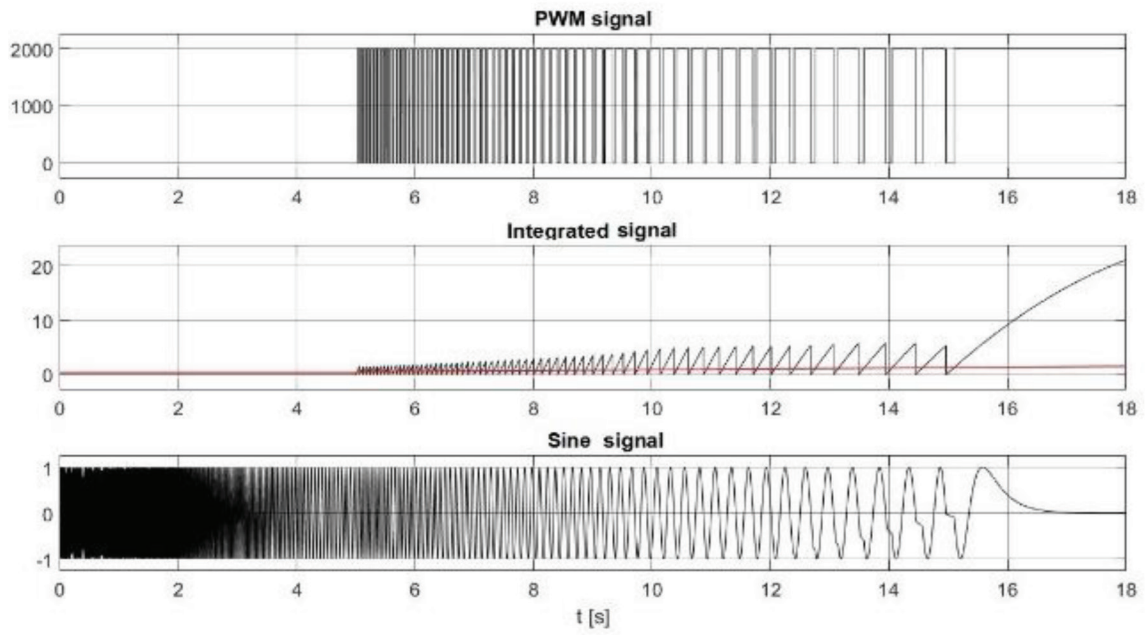
U ovoj simulaciji, kočenje i upravljanje vozilom će se uspoređivati na mokroj cesti. Modeli u podsustavima Sinus (Slika 5) i ABS (Slika 6) su identični i njihovi parametri su isti pa nema potrebe za dodatnim objašnjenjem njihove funkcije.

Parametri koji su promijenjeni za ovu simulaciju su parametri bloka kotača:

- Sila guma:
 - o Koeficijent magične formule B – 12
 - o Koeficijent magične formule C – 2,3
 - o Koeficijent magične formule D – 0,82
 - o Koeficijent magične formule E – 1

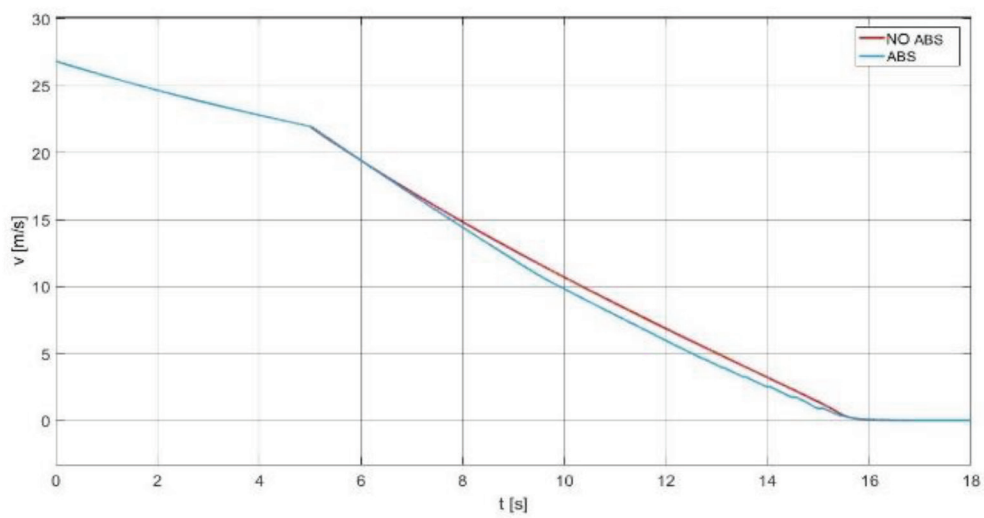
PWM, integrirani i sinusni (Sl. 11) grafovi vrlo su slični grafovima simulacije suhog asfalta (Sl. 7). Simulacija je 2 sekunde duža zbog malo dužeg kočenja i vrijeme zaustavljanja iznosi 18 sekundi.

Suprotno prethodnoj simulaciji, slika 12 pokazuje da je ABS krivulja ispod krivulje kočenja bez ABS-a i da se vozilo zaustavlja u istom trenutku, kočeci s ABS-om i bez ABS-a.



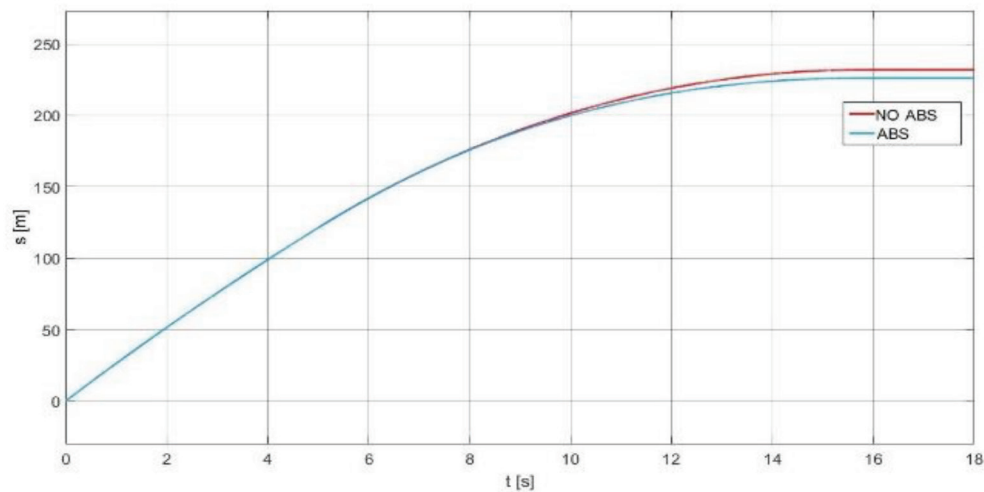
Slika 11 Graf PWM, pilastog i sinusnog signala

Figure 11 PWM, saw and sine graph



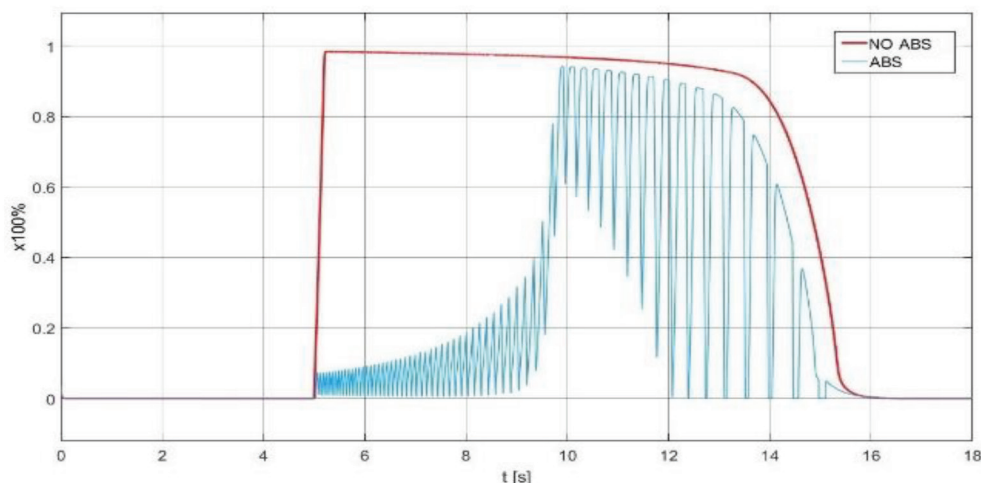
Slika 12 Graf brzine vozila

Figure 12 Vehicle speed graph



Slika 13 Graf prijeđenog puta

Figure 13 Traveled length graph



Slika 14 Graf postotka proklizavanja kotača
Figure 14 Wheel slip percentage graph

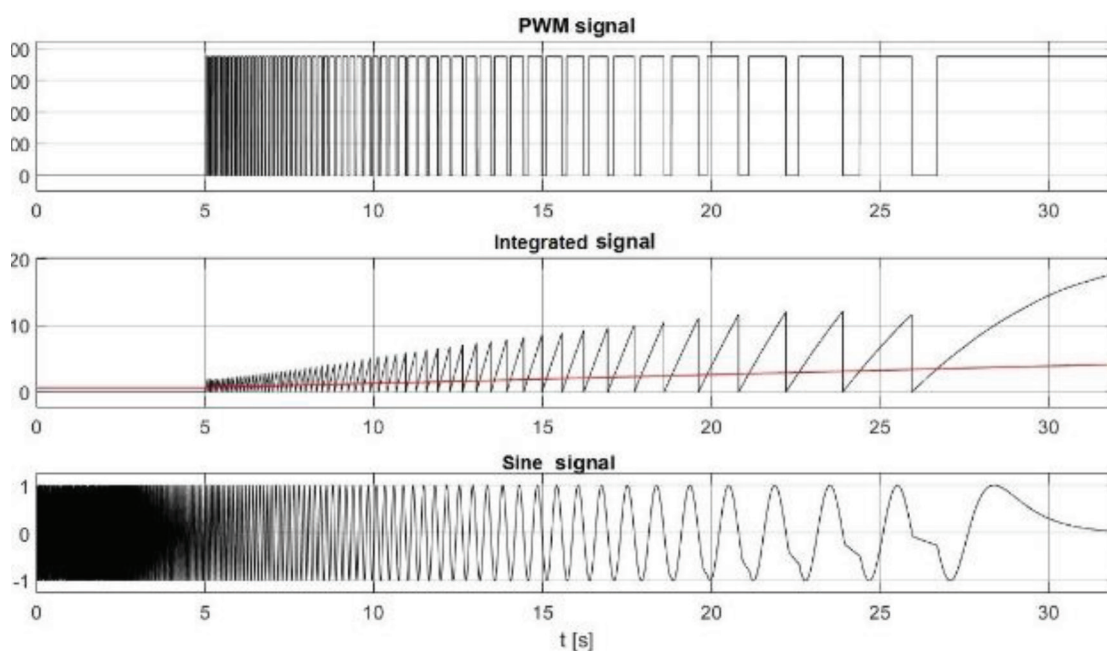
Kao i na prethodnom grafikonu, na slici 13, ABS krivulja završava ispod krivulje bez ABS-a, što znači da je hod kočenja nešto kraći s ABS-om. Ukupni put kočenja je, međutim, oko 25 metara duži nego na suhom asfaltu.

Grafikon na slici 14 je lošiji u odnosu na prethodnu simulaciju jer u 9. sekundi ABS krivulja naglo povećava vrijednost na osi y, što znači da postoji klizanje, ali je upravljanje vozilom i dalje osigurano.

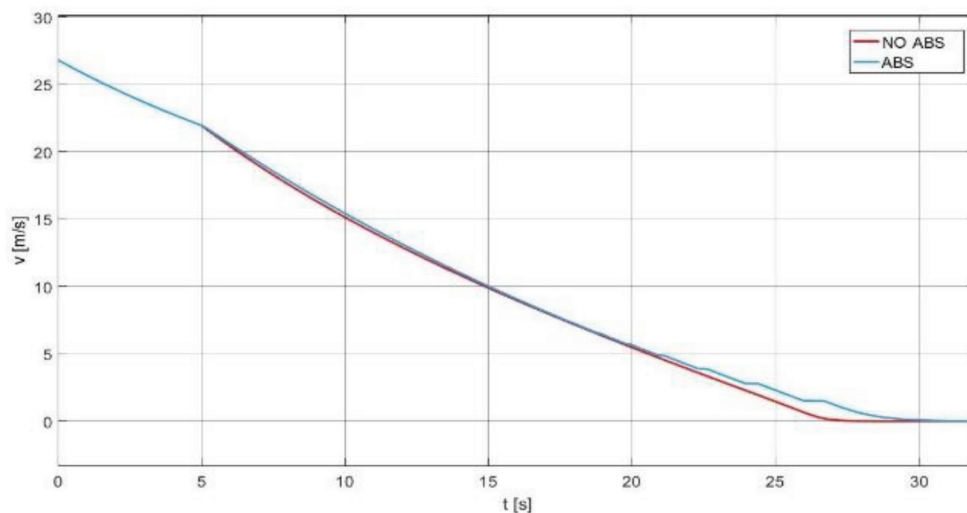
Snijeg na cesti

U ovoj simulaciji uspoređivat će se kočenje i upravljanje vozilom na snježnoj cesti. Modeli u podsustavima Sine (Slika 5) i ABS (Slika 6) su identični, ali su parametri promijenjeni. U ABS podsustavu:

- blok rampa 1:
 - o Početni izlaz – 750
- blok rampa2:
 - o Nagib – 0,13
 - o Početni učinak – 0,65

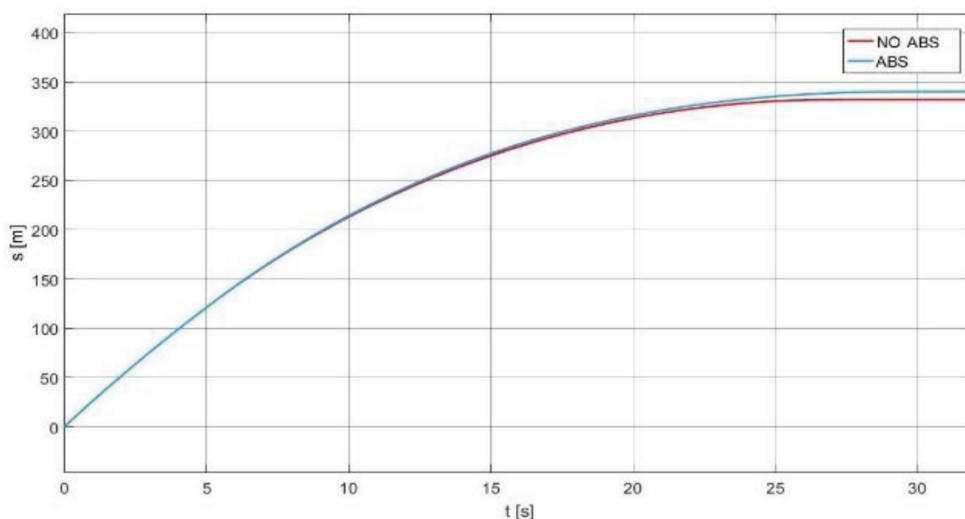


Slika 15 Graf PWM, pilastog i sinusnog signala
Figure 15 PWM, saw and sine graph



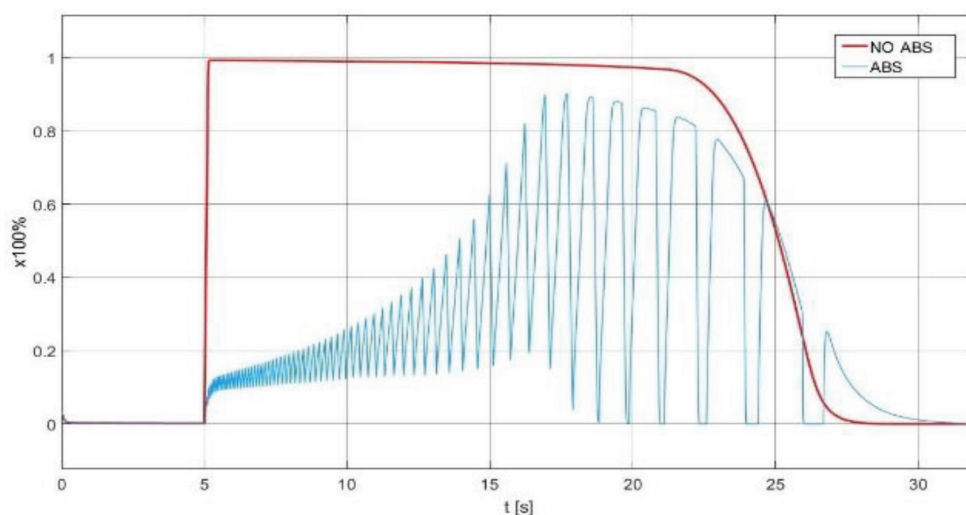
Slika 16 Graf brzine vozila

Figure 16 Vehicle speed graph



Slika 17 Graf prijeđenog puta

Figure 17 Traveled length graph



Slika 16 Graf postotka proklizavanja kotača

Figure 16 Wheel slip percentage graph

Parametri bloka kotača također su promijenjeni:

- Sila guma:

o Koeficijent magične formule B – 5

o Koeficijent magične formule D – 0,3

o Koeficijent magične formule C – 2

o Koeficijent magične formule E – 1

U ovoj simulaciji, grafikoni kočenja na slici 15 su znatno duži i stoga je raspon promjene frekvencije također veći. Kao rezultat toga, zbog crvene linije (koja siječe integrirani signal), parametri se mijenjaju kako bi se dobio potreban PWM signal kočenja.

Na slici 16, ABS krivulja prati krivulju bez ABS-a, ali na kraju kočenja zaostaje za nekoliko sekundi kao što se očekivalo.

Na slici 17, ukupni put kočenja je znatno duži nego u prethodne dvije simulacije. Kočenje bez ABS-a ima nešto kraće vrijeme kočenja od ABS kočenja.

U bloku *Ramp1* sila pritiska kočnih pločica na disk kočnice smanjena je s 2000 na 750 N. Razlog tome je preveliko proklizavanje kotača unatoč ABS kočenju. Rezultat promjene parametra sile kočenja je da graf na slici 18 izgleda slično grafu na slici 14 u prethodnoj simulaciji. Upravljanje vozilom je osigurano.

7. ZAKLJUČAK

7. CONCLUSION

Nakon svih simulacija napravljenih na modelu može se reći da ABS nije savršen kočioni sustav vozila, ali je svakako bolji od brzog i snažnog kočenja koje blokira kotače. Bolje je iz nekoliko razloga. Prvi razlog je, naravno, osobna sigurnost. Vozilo ima bolju upravljivost i vozač većinu vremena može izbjeći sudar. U nekim okolnostima, npr. mokrim cestama, čak je i put kočenja smanjen, što je dokazano u simulacijama. Drugi razlog je očuvanje gaznoga sloja gume. Pri velikim brzinama i naglom kočenju gume su podvrgnute jakom zagrijavanju i trošenju materijala. ABS omogućuje ravnomjerno trošenje gume i sprječava pregrijavanje.

Simulink je vrlo koristan alat za simulaciju ABS kočenja. ABS model je vrlo teško napraviti da bude učinkovit, budući da ovisi o puno parametara koji utječu na ponašanje vozila, kotače, gume, ovjes, promjenu podloge po kojoj se vozilo vozi itd. Ima još dosta prostora za poboljšanje.

U simulacijama je pokazano da ABS daje kontrolu nad upravljanjem i da put kočenja ostaje približno jednak putu kočenja bez ABS-a.

Najučinkovitije je kočenje na mokroj cesti, zatim na snijegu i na kraju na suhom asfaltu. Naravno, sva tri ABS stanja kočenja su bolja od kočenja bez ABS-a.

Zbog jednostavnosti ovaj model i simulacija su napravljeni kao eksperimentalni model s jednom osovinom i dva kotača. Za daljnji razvoj simulacije i testiranje modela koji radi kao pravo vozilo, potrebno je izraditi cjelovit model vozila s minimalno 4 kotača i 4 kočnice. U tako razvijenom modelu potrebno je napraviti testove s poboljšanim, složenijim ABS sustavom. Naravno, uz opsežnu optimizaciju ABS parametara, površine ceste i komponenti vozila, simulacija bi postala puno

8. REFERENCE

8. REFERENCES

- [1.] Ivezić B.; Simulacija upravljivosti vozila prilikom kočenja ABS sustavom u Simulinku, završni rad, Zagreb 2018, Tehničko veleučilište u Zagrebu
- [2.] ABS logo: https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-lock_braking_system#/media/File:Anti-lock_braking_system_logo.png
- [3.] O Simulinku: <https://www.mathworks.com/help/simulink/>
- [4.] MATLAB & SIMULINK logo: https://www.okan.edu.tr/uploads/c_1920x760/slider/matlab-simulink/mlsl-12062018.jpg
- [5.] Prikaz sustava kočenja i ABS sustava na automobilu: https://autoportal.hr/clanak/abs_anti_lock_braking_system
- [6.] Princip rada ABS-a: <https://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/anti-lock-brake1.htm>

AUTORI · AUTHORS**• Davor Gadže**

Rođen je 05.07.1972. god u Zenici, maturirao 1990. god MIOC u Zagrebu, diplomirao 1996. god FER u Zagrebu na smjeru elektrostrojarstvo i automatizacija, magistrirao 2002 na istom fakultetu. Radio prvih 9 godina kao asistent na matičnom fakultetu, a od 2005. god radi na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu kao viši predavač. Područja interesa su mu projektiranje i nadzor električnih instalacija, nužni izvori napajanja i mjerenja prijelaznih pojava na NN.

Korespondencija · Correspondence

davor.gadze@tvz.hr

• Borna Ivezić

Rođen 07.05.1996. god u Varaždinu, maturirao 2015. god na Prvoj gimnaziji Varaždin, završni rad obranio 2018. god, a diplomski 2021. god., oboje na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu. Radi od 2021. god u Geico Taikisha Controls d.o.o. Područja interesa su mu industrijska automatizacija i razvijanje softvera programirljivih logičkih kontrolera.

Korespondencija · Correspondence

borna.ivezic@windowslive.com

• Marin Mutić

Rođen 05.09.1991. god u Zagrebu, maturirao 2010. god u Sesvetama, završni rad obranio 2013. god na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, gdje trenutno pohađa specijalistički diplomski studij. Radi od 2015. god u Mehatronika d.o.o. Područja interesa su mu projektiranje i nadzor električnih instalacija.

Korespondencija · Correspondence

marin.mutic@mehatronika.hr

• Krunoslav Martinčić

Rođen 29. prosinca 1962. god. u Zagrebu. Maturirao 1981. god. pri COIUO "Ruđer Bošković" na smjeru računarke tehnike, na ETF-u u Zagrebu diplomirao 1987. god. na smjeru računarska tehnika a magistrirao 1998. god. na smjeru jezgra računarskih znanosti. Radio je kao asistent na matičnom fakultetu a trenutno radi kao viši predavač na Elektrotehničkom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu. Područja interesa su mu ugradbeni, namjenski računalni sustavi profesionalnih primjena te ultra brzi bežični komunikacijski sustavi.

Korespondencija · Correspondence

krunoslav.martincic@tvz.hr