

Naprava za zajemanje in obdelavo podatkov natezne trdnosti z uporabo mikrokrmilnika

Alen Skupek
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko,
Smetanova ulica 17, Maribor
alen.skupek@uni-mb.si
Mentor: Janez Pogorelc

DEVICE FOR DATA ACQUISITION AND DATA PROCESSING OF TENSILE STRENGTH BASED ON MICROCONTROLLER.

The article explains the concept of a device for data acquisition and data processing of tensile strength based on microcontroller. Presented are both hardware and software parts of the device, and an application for displaying data on PC. Also presented is the measurement process of tensile strength of composite carbon fibre used in construction of a Formula Student racing car.

Kratek pregled prispevka

V članku je predstavljen koncept naprave za zajemanje in obdelavo podatkov natezne trdnosti z uporabo mikrokrmilnika. Predstavljen je strojni in programski del naprave ter aplikacija za prikaz podatkov na osebem računalniku. Prikazan je tudi potek izvajanja meritve natezne trdnosti kompozitnih materialov iz karbonskih vlaken za izgradnjo dirkalnika Formule Student.

1 Uvod

V ekipi UNI Maribor Grand Prix Engineering se je pri razvoju dirkalnega avtomobila Formula Student [1] v okviru razvoja kompozitnih materialov pojavila potreba po izvajanju preizkusnih meritev nateznih trdnosti. V ta namen smo izdelali napravo za preizkušanje nateznih, tlačnih in upogibnih trdnosti. Natezni preizkus je eden temeljnih postopkov za določanje obnašanja materiala pri nateznih obremenitvah.

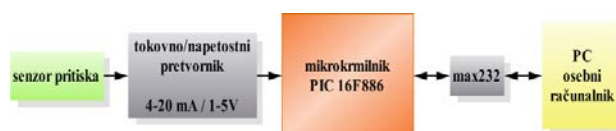
Za zajemanje in obdelavo podatkov pri meritvah preizkusov nateznih trdnosti je bila razvita in izdelana namenska naprava. Naloga projekta je temeljila na izdelavi elektronskega vezja za zajemanje podatkov ter na izdelavi aplikacije za obdelavo in prikaz zajetih podatkov na osebni računalnik. Smisel digitalizacije zajemanja meritve se izkaže v natančnem odčitku izmerjene vrednosti v širokem merilnem območju in v možnosti sistematične analize ter arhiviranja rezultatov.

V članku sta predstavljeni zasnova in realizacija celotnega sistema. Opisan je tudi potek izvajanja meritve natezne trdnosti kompozitnih materialov iz karbonskih vlaken.

2 Koncept naprave za zajemanje in obdelavo podatkov

Koncept naprave za zajemanje temelji na modulu z mikrokrmilnikom PIC16F886 [2]. Meritve se izvajajo z uporabo industrijskega senzorja tlaka, proizvajalca Ashcroft, tipa KXX [3]. Senzor je pritrjen na trgalnem stroju, kjer meri tlak tekočine v zaprtem sistemu hidravlične stiskalnice. Namenjen je za merilno območje od 0 do 600 barov z umerjenim industrijskim izhodom od 4 do 20 mA. Koncept zajemanja meritve temelji na zajemanju izhodnega signala senzorja pritiska. Na vhodnem vmesniku mikrokrmilnika je izvedena potrebna prilagoditev napetostnih nivojev. Izdelan je bil tokovno - napetostni pretvornik za pretvorbo izhodnega tokovnega signala senzorja v napetostno obliko, prilagojeno za vhodno

območje mikrokrmilnika. Pretvornik je izveden v obliki preciznega upora, na katerem se zajema padeč napetosti. Na mikrokrmilniku se izvaja program, ki je bil kodiran v C programskem jeziku. Program izvaja analogno digitalno pretvorbo ter obdelavo in posredovanje zajetih podatkov na osebni računalnik z uporabo serijskega protokola RS-232. Prilagoditev napetostnih vhodno / izhodnih nivojev med serijskimi vrati osebnega računalnika in mikrokrmilnikom je izvedeno z namenskim integriranim vezjem MAX232 [4]. Na sliki 1 je prikazana blok shema sistema za zajemanje in obdelavo podatkov.



Slika 1: Blok diagram naprave za zajemanje in obdelavo podatkov

Obdelava podatkov in skaliranje v inženirske enote se vrši na osebni računalnik, v namenski aplikaciji, kjer se na uporabniškem vmesniku izrisuje graf zajemanja meritve, prav tako pa se izpisuje numerična vrednost trenutno izmerjene sile. Aplikacija je zgrajena v LabView [5] programskem orodju. Na sliki 2 je prikazana shema celotnega sistema z umeščeno napravo za zajemanje in obdelavo podatkov.

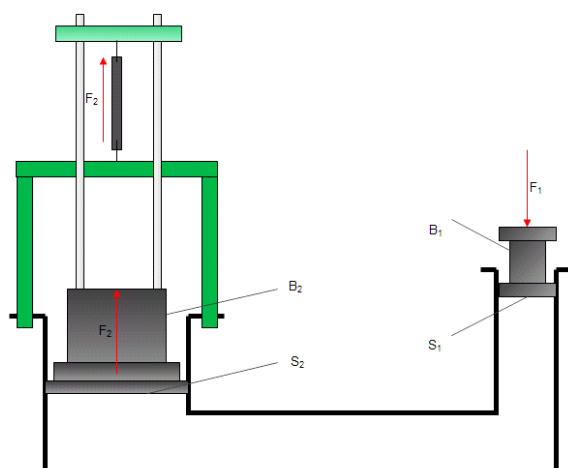


Slika 2: Shema celotnega sistema

3 Trgalni stroj

Trgalni stroj deluje na principu hidravlične stiskalnice. Pri tem se sila prenaša preko vpenjalnega mehanizma na vpeti preizkušanec. Delovanje naprave temelji na lastnosti nestisljivih tekočin, za katere velja, da se širijo enakomerno v vse smeri. Princip delovanja je

prikazan na sliki 3. Površina S_2 bata B_2 (aktuatorski bat) je nekajkrat večja od površine S_1 bata B_1 (stiskalni bat). Z ustvarjanjem sile F_1 na bat B_1 deluje ta sila na tekočino, pri tem se ustvarja tlak p (1). Ustvarjeni tlak se širi v vse smeri enako. Enak je tudi na mestu bata B_2 . Posledica delovanja tlaka na bat B_2 je sila F_2 (2), ki je usmerjena navzgor. Sila F_2 deluje na preizkušanca, katerega obremenjuje z enoosno natezno napetostjo.



Slika 3: Skica principa delovanja trgalnega stroja

$$p = \frac{F_1}{S_1} \quad (1)$$

$$F_2 = p \cdot S_2 \quad (2)$$

Iz teh dveh enačb lahko izrazimo enačbo za razmerje med silama (3) F_1 in F_2 .

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} \quad (3)$$

Pri tem nas zanima predvsem izraz (2), ki opisuje matematično zvezo med silo F_2 in tlakom p pri znani površini aktuatorskega bata S_2 . To enačbo uporabimo pri izračunu skalirnega razmerja med zajeto vrednostjo izmerjenega tlaka p in proizvedeno silo F_2 , ki je iskani podatek za določitev natezne trdnosti. V procesu umerjanja naprave za zajemanje in obdelavo podatkov je potrebno poznati nekaj pomembnejših tehničnih specifikacij trgalnega stroja:

- največja proizvedena sila 58840 [N]

- hod vpenjalnega mehanizma 160 [mm]
- premer bata S_1 11 [mm]
- premer bata S_2 35,6 [mm]
- merilno območje senzorja tlaka 0-600[bar]
- izhod senzorja tlaka 4-20 [mA]

4 Naprava za zajemanje

Srce izdelanega elektronskega vezja za zajemanje podatkov predstavlja mikrokrmilnik PIC 16F886 [2]. Izbran mikrokrmilnik vsebuje vse zahtevane sklope za realizacijo naprave. Uporabljena je bila Microchipova razvojna kartica 28-Pin Demo Board [6] (sliki 4).



Slika 4: Razvojna kartica 28-Pin Demo Board

4.1 Senzor in prilagoditve izhodno / vhodnih nivojev

Senzor proizvajalca Ashcroft, tipa KXK [3] je namenjen za merjenje pritiska fluidov v merilnem območju od 0 do 600 barov. Uporablja se v industrijskih aplikacijah in ustreza industrijskemu varnostnemu standardu IP65. Tovarniško umerjen izhod senzorja zagotavlja izhodni signal v standardni industrijski obliki v območju od 4 do 20 mA. Senzor razreda točnosti 1% predstavlja zadovoljivo izbiro, ki ustreza tehničnim zahtevam za izvedbo naprave. Povezava senzorja je izvedena dvožično in skrbi za napajanje senzorja, hkrati pa je ta ista zanka tokovni izhod senzorja (4 - 20 mA). Nalogo pretvorbe tokovnega izhodnega signala v napetostno obliko, primerno vhodnemu območju mikrokrmilnika (0 - 5 V), opravlja v tokovno zanko zaporedno vezan precizni upor

R6. Tokovni izhod sensorja povzroči padec napetosti na uporu R6. Tokovni izhodni signal in povzročeni padec napetosti sta v premer sorazmerju. Izračun vrednosti upora R6 je prikazan v spodnji enačbi (4).

$$R6 = \frac{U_{vhodna(max)}}{I_{izhodna(max)}} = \frac{5 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 250 \Omega \quad (4)$$



Slika 5: Vezava sensorja in tokovno napetostnega pretvornika

4.2 Mikrokrmilniško vezje

Mikrokrmilnik za delovanje potrebuje stabiliziran vir enosmerne napetosti 5 V. Poleg tega potrebuje za delovanje še nekaj zunanjih elektronskih elementov. Integrirano vezje MAX232 [4] je namenjeno za prilagoditev izhodno/vhodnih nivojev, in sicer iz TTL logičnega nivoja (0 - 5 V) v obliko, primerno za serijska vrata RS-232 (-12 - +12 V) ter obratno. Za priključitev sensorja je na vhodni strani naprave nameščen moški računalniški konektor DB9. Priključitev na serijska vrata (COM port) PC računalnika omogoča na izhodni strani vezja nameščen ženski računalniški konektor DB9. Elektronska vezja so vgrajena v plastično ohišje, končna izvedba naprave za zajemanje je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Končna izvedba naprave za zajemanje

4.3 Program za mikrokrmilnik

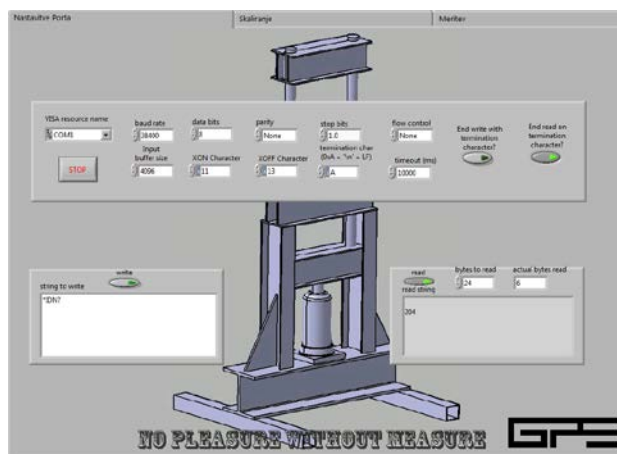
Izvorna programska C koda je napisana z uporabo razvojnega programskega paketa PCW proizvajalca CCS (Custom Computer Services, Inc.). Bistvo programa na mikrokrmilniški strani se izvaja v prekinitveni rutini. Vzrok sprožanja

prekinitvene rutine je Timer0, ki sproži izvajanje programa prekinitvene rutine, v kateri se izvedeta AD pretvorba in prenos podatkov na osebni računalnik. Čas vzorčenja je nastavljen na 10 ms.

5 Aplikacija za osebni računalnik

Aplikacija, ki se izvaja na osebem PC računalniku, je realizirana z uporabo programskega orodja LabVIEW [5]. Izdelana aplikacija služi za skaliranje zajetih podatkov v inženirske enote in za prikaz skaliranih vrednosti. Zajeti in skalirani podatki se izpišejo in izrišejo na grafu v uporabniškem vmesniku. Uporabniški vmesnik vsebuje 3 zavihke.

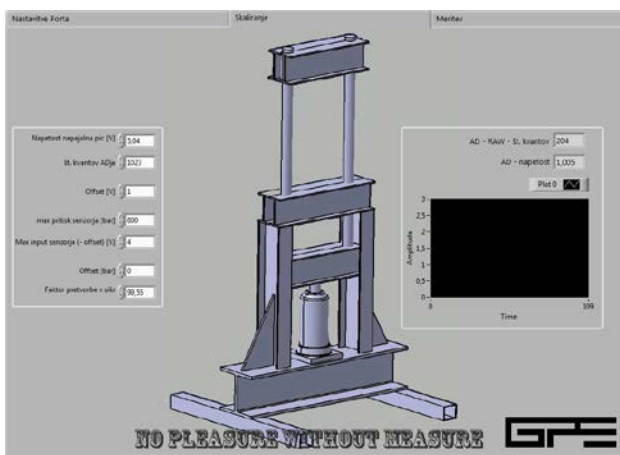
Na sliki 7 je prikazan zavihek "Nastavitve Porta". Ta zavihek se uporablja za nastavitev komunikacijskih vrat. Izberemo serijska vrata osebnega računalnika, na katera je priključena naprava za zajemanje. Potrebno je nastaviti naslednje komunikacijske parametre: "baudno" hitrost, število podatkov v bitih, pariteto, stop bit, velikost pomnilnika (bufferja) in "termination" karakter.



Slika 7: Uporabniški vmesnik, nastavitve komunikacijskih vrat

Zavihek "Skaliranje" (slika 8) je namenjen vnosu vrednosti, ki so potrebne za skaliranje. Potrebno je vpisati napajalno napetost PIC mikrokrmilnika in maksimalno število kvantov pri AD pretvorbi. Pri 10-bitni AD pretvorbi je najvišje možno število kvantov 1023. "Offset" je namenjen nastavitvi ničelne točke. Maksimalna vrednost sensorja pritiska predstavlja zgornjo

mejo vhodnega območja senzora. Maksimalni vhod senzora predstavlja največjo napetost izhodnega signala. Pri maksimalni vhodni vrednosti senzora pritiska 600 barov je tokovni izhod senzora 20 mA. Ta tok na uporu 250Ω povzroči padec napetosti 5 V. Tej vrednosti odštejemo "offset" napetost (1 V) in dobljeno število vnesemo v okno "Max input senzora (-offset) [V]". "Offset [bar]" je namenjen nastavitvi ničelne točke v primeru, ko na trgalni stroj namestimo vpenjalni mehanizem, katerega lastna teža povzroča odstopanje ničelne točke. Za pretvorbo pritiska v silo vnesemo skalirni faktor v okno "Faktor pretvorbe v silo".



Slika 8: Uporabniški vmesnik, skaliranje

Prikaz zajetih vrednosti se izvaja v zavihku "Meritev" (slika 9). Na levi strani uporabniškega vmesnika se prikazuje trenutna vrednost pritiska v sistemu v barih, na desni strani pa proizvedena sila v Newtnih. Obe vrednosti se izrisujeta na grafu v odvisnosti od zaporedno zajetih vzorcev.



Slika 9: Uporabniški vmesnik, meritve

Uporabnik ima možnost prilagoditve območja, v katerem želi spremljati meritev. Ravno tako lahko prilagaja območje izrisanega grafa. Programska tipka STOP je namenjena za zaustavitev zajemanja meritve.

5.1 Skaliranje

Vhodno / izhodna karakteristika senzora pritiska KXK [3] in izhod tokovno/napetostnega pretvornika sta popolnoma linearna. Skalirni postopek je v nekaj korakih opisan s spodnjimi enačbami (5, 6, 7).

$$\text{št. kvantov ADCja} \cdot \left(\frac{\text{napajalna napetost PIC MCU-ja [V]}}{\text{max št. kvantov A/D pretvorbe}} \right) = \text{napetost AN5 vhoda [V]} \quad (5)$$

$$(\text{napetost AN5 vhoda [V]} - \text{offset [V]}) \cdot \left(\frac{\text{max pritisk senzora [bar]}}{(\text{max izhod I/U pretvornika [V]} - \text{offset [V]})} \right) = \text{pritisk [bar]} \quad (6)$$

$$(\text{pritisk [bar]} - \text{offset [bar]}) \cdot \text{faktor pretvorbe v silo} = \text{sila [N]} \quad (7)$$

Za izračun faktorja pretvorbe v silo si pomagamo z enačbo (2), matematična operacija pa je opisana z enačbama (8, 9).

$$S_2 = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (17,8 \text{ mm})^2 = 995,382 \text{ mm}^2 = 9,95382 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (8)$$

$$\text{faktor pretvorbe} = \frac{F [\text{N}]_2}{p [\text{bar}]} = 10^5 \cdot S_2 = 10^5 \cdot 9,95382 \cdot 10^{-4} = 99,5382 \quad (9)$$

6 Izvajanje preizkusnih meritev

Pri izdelavi dirkalnika Formula Student smo za potrebe razvoja in verifikacije izvajali preizkusne meritve na nekaterih delih. Ker je pri konstruiranju in razvoju dirkalnika ena najpomembnejših karakteristik vozila prav njegova masa, so vsi sestavni deli konstruirani in optimizirani na limitu z minimalnimi varnostnimi faktorji. Za doseganje minimalne mase smo uporabljali kompozitne materiale, predvsem karbonska vlakna. Ravno deli iz teh materialov so zahtevali verifikacijo, saj lahko le s preizkusom zagotovo potrdimo nazivne vrednosti. V fazi razvoja in proučevanja lastnosti različnih vzorcev karbonskih vlaken, smo izvajali meritve natezne trdnosti. Pri tem smo preizkušali različne tipe karbonskih vlaken in uporabljenih plasti. Dobljeni rezultati so ključnega pomena za izbiro tipa in plasti karbonskih vlaken, potrebnih v konstrukciji:

volana, obes, karoserije, pedalnih sklopov, manjših nosilcev in dna dirkalnika.

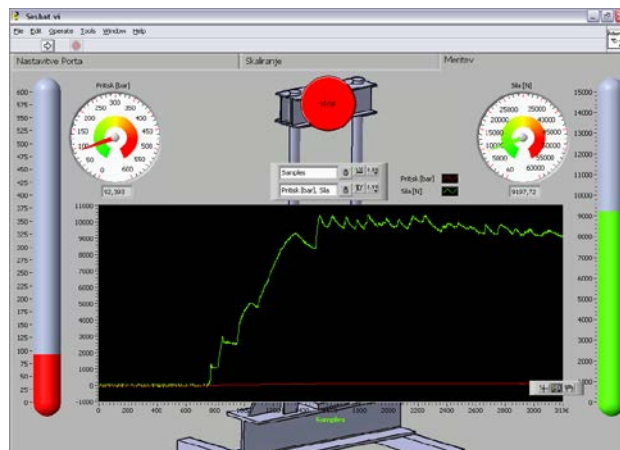
6.1 Preizkušanje zlepnih spojev

Pri izdelavi obes kolesnega sklopa smo uporabljali metodo spajanja kovine in kompozitnega materiala z zlepnim spojem. Aluminijast vstavek se vstavi v karbonsko cev, vmes pa se vbrizga posebno, za to namenjeno lepilo. Na izvedbo zlepnega spoja vpliva več faktorjev: temperatura, človeški faktor, starost lepila in predpriprava materiala. Za verifikacijo nazivne sile, ki jo mora zlepni spoj zdržati, smo izvajali preizkuse zlepnih spojev. Zahtevana je bila izvedba preizkusa, pri katerem enosno obremenjujemo preizkušane s silo 9,5 kN, pri čemer pa zlepni spoj ne sme popustiti. Na sliki 10 je prikazana preizkusna naprava v fazi izvajanja preizkusa zlepnega spoja.



Slika 10: Izvajanje preizkusa zlepnega spoja

Izrisan graf poteka preizkusa je prikazan v uporabniškem vmesniku na sliki 11. Iz grafa je razvidna velikost sile, ki obremenjuje preizkušane, ter trajanje preizkusa v številu zajetih vzorcev. Iz poteka grafa je razvidno, da zlepni spoj ni popustil. S tem smo verificirali zlepna spoja preizkušane in zadovoljili zahtevo po preizkusu. V primeru, da bi zlepni spoj popustil, bi sila na izrisanem grafu v trenutku padla na vrednost 0 N.



Slika 11: Uporabniški vmesnik z izrisanim grafom poteka preizkusa zlepnega spoja

Slika 12 prikazuje preizkušane. Zgornji preizkušane ni prestal testiranja. Spodnji preizkušane pa je test prestal in je bil vgrajen v dirkalnik Formule Student.



Slika 12: Preizkušane - zlepni spoj

6.2 Meritev natezne trdnosti

V fazi izvajanja meritev natezne trdnosti smo preizkušali različne tipe karbonskih vlaken z različnim številom položenih plasti. Natezna trdnost je definirana kot mehanska lastnost materiala in predstavlja največjo natezno napetost, ki jo material prenese, preden se strga oziroma poruši. Enota za natezno trdnost je N/mm². Označuje se z oznako R_m . Natezno trdnost izračunamo z enačbo (10).

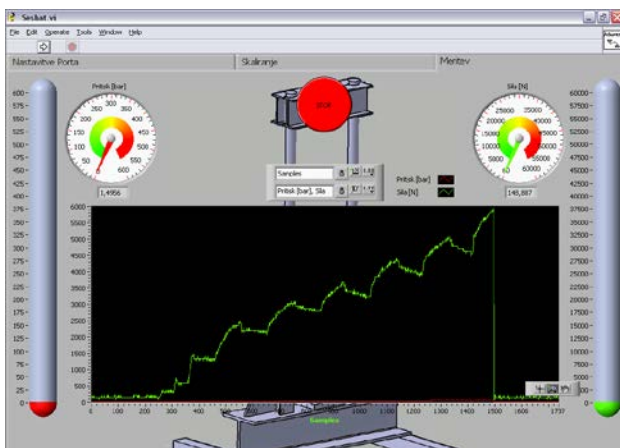
$$R_m = \frac{\text{maksimalna vrednost sile pred poružitvijo [N]}}{(\text{debelina preizkušane [mm]} \cdot \text{širina preizkušane [mm]})} \quad (10)$$

V nadaljevanju je prikazan primer dobljenih merilnih rezultatov. Slika 13 prikazuje preizkusno napravo v fazi meritve natezne trdnosti. Meritev izvajamo tako, da postopoma, z vedno večjo silo, obremenjujemo preizkušane, dokler se ta ne poruši oziroma strga. Iskani podatek je največja sila, ki jo

preizkušanec še zdrži. S podatkom o največji sili in s fizičnimi merami preizkušanca določimo natezno trdnost R_m . Graf poteka meritve je prikazan v uporabniškem vmesniku na sliki 14. Iz grafa je razvidno postopno povečevanje sile. V trenutku, ko se preizkušanec strga, pade sila na vrednost 0 N. S pomočjo orodja za prilagajanje območja izrisa grafa približamo točko, v kateri se je preizkušanec strgal.



Slika 13: Izvajanje meritve natezne trdnosti



Slika 14: Uporabniški vmesnik z izrisanim grafom poteka meritve

Odčitana maksimalna vrednost sile pred poružitvijo preizkušanca je 5520 N. Fizične mere preizkušanca, izmerjene s kljunastim merilom so: debelina: 0,65 mm; širina: 12,5 mm.

Izračun natezne trdnosti preizkušanca je prikazan v enačbi (11).

$$R_m = \frac{5520 \text{ N}}{(0,65 \text{ mm} \cdot 12,5 \text{ mm})} = 679,385 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 679,385 \text{ MPa} \quad (11)$$



Slika 15: Vzorca karbonskih preizkušancev po in pred meritvijo natezne trdnosti

7 Zaključek

V razvoju dirkalnika nam je naprava za zajemanje in obdelavo podatkov natezne trdnosti z uporabo mikrokrmilnika omogočila optimalno izbiro kompozitnih materialov. V bodoče načrtujemo dodatni razvoj naprave za zajemanje meritev z uporabo mikrokrmilnika in programske opreme za osebni računalnik. Smiselno bi bilo implementirati USB komunikacijo z osebnim računalnikom. Prav tako načrtujemo posodobitev programske opreme z "dataloging" funkcijo, funkcijo izdelave tehnične dokumentacije in možnostjo prikaza grafa karakteristike elastičnosti.

8 Literatura

- [1] Formula Student - Institution of Mechanical Engineers, <http://www.formulastudent.com/>, feb 2013
- [2] PIC 16F886 datasheet, <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en026562>, feb 2013
- [3] Ashcroft tip KXX datasheet, http://www.ashcroft.eu/pictures/pdf/KXD_E.pdf, feb 2013
- [4] MAX 232 datasheet, <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/1798>, feb 2013
- [5] NI LabVIEW - National Instruments, <http://slovenia.ni.com/labview>, feb 2013
- [6] 28-Pin Demo Board datasheet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41301A.pdf>, feb 2013