

## » Uređaj za ispitivanje kočionih pločica

**Ivan Vengust**  
**Martin Petric**

U članku je predstavljen razvoj uređaja za automatsko ispitivanje kočionih pločica. Predstavljene su zahtjevi koje tržište postavlja pred kočione sustave s diskom za motore, te razvoju kočionih materijala. Potreba za praćenjem trendova na tržištu je glavni povod za razvoj specijaliziranog uređaja za ispitivanje. Uređaj će omogućiti razvoj novih tarnih materijala i optimiranje postojećih. Kočione pločice moraju postizati odgovarajuću silu kočenja i životni vijek.

Važno je i kakva je sila kočenja pri prvim kočenjima nakon zamjene pločica i kakve su karakteristike pločica pri visokim temperaturama, koje se javljaju pri ekstremnim kočenjima. Sve to su zahtjevi za uređaj za ispitivanje, koji omogućuje simulaciju stvarnih uvjeta, programiranje mjernih sekvenci i mjerenje signala senzoričke. Opisan je izbor upravljačkog sustava, mjernih komponenata i specifikacija izvedbe programskog dijela projekta.

### 1 Uvod

Proizvođači kočionih pločica se neprekidno suočavaju s različitim izazovima, koje postavlja tržište ili zaštita okoliša. Jedan od bitnih posljednjih desetljeća je isto tako zabrana primjene azbesta, koji je prije toga bio jedan od najvažnijih komponenata kočionih materijala. S druge strane se pored zahtjeva, koji utječu na čitavu industriju, susrećemo sa specifičnim zahtjevima, koji zahvaćaju pojedini tržišni segment.

Pri ulasku na globalno tržište kočionih pločica (sl. 1) smo se susreli sa zahtjevima, koji na našim dosadašnjim tržištima nisu imali bitnu ulogu i koje s postojećom istraživačkom opremom nismo mogli ispitati. To je bio glavni povod za razvoj uređaja za testiranje kočionih pločica za motore.

### 2 Kočioni sustav s diskom

Kočioni sustav (sl. 2) služi za zaustavljanje vozila. Pri tome se kinetička energija vozila pretvara u toplinsku energiju. Pri kočionim sustavima s diskom se toplinski tok ostvaruje pri pritisku kočionih pločica na površinu kočionog diska. Radi toga se prije svega kočio-



» Slika 1: Kočiona čeljust i kočione pločice. Na dvije su postavljene kočione klipove iz čeljusti.

ni disk i kočione pločice jako zagriju, što dovodi do niza fizikalno-kemijskih reakcija, koje bitno utječu i na silu kočenja, kao i na životni vijek tarnog para.

Pri razvoju tarnih materijala kočionih pločica ključni su receptura frikcijske mješavine te procesni uvjeti, s kojima definiramo razvoj mikrostrukture materijala i osiguramo ponovljivost izrade. Tarni materijal kočionih pločica je u osnovi sastavljen od četiri različita tipa komponenata:

- armaturna vlakna osiguravaju mehanička svojstva tarnog materijala
- s punilima poboljšamo proizvodljivost tarne mješavine i smanjujemo cijenu
- modifikatori trenja određuju razinu koeficijenta trenja i posljedično silu kočenja
- veziva povezuju sve ostale komponente.

Omjeri između ta tri tipa ulaznih sirovina se međusobno bitno



Ivan Vengust • PS, d. o. o., Logatec, Slovenija

Martin Petric • SINTER, d. o. o., Ljubljana, Slovenija

razlikuju obzirom na tržišni segment i očekivanu aplikaciju kočnica.

S aspekta procesnih uvjeta, u prvoj fazi izrade moramo osigurati homogenost frikcijske mješavine i s time ponovljivost pojedinih šarži. Propisi o masi briketa frikcijskog materijala, temperaturi, tlaku i vremenu definiraju operaciju prešanja, tijekom koje materijal dobiva konačni oblik. S temperaturnim profilom naknadne toplinske obrade razvijamo mikrostrukturu tarnih materijala, koja bitno utječe na stlačivost i trošenje kočionog materijala.

Ispitivanje kočionih pločica odvija se na dinamometru, na kojeg stegnemo kočioni disk i kočionu čeljust, u koju se postavlja kočiona pločica. Program ispitivanja je sastavljen od određenog broja uzastopnih kočenja pri određenim uvjetima i može se definirati na različite načine. Često se regulacija odvija u ovisnosti o vremenu kočenja ili izmjerenoj temperaturi kočionog diska ili kočionih pločica. Obično pri tome mjerimo količine, koje omogućuju proračun koeficijenta trenja te trošenje kočionih pločica.

Tržište kočionih pločica za motore ima, pored gore navedenih općih zahtjeva, i dodatne koje do sada nije bilo moguće ispitati:

- popuštanje sile kočenja kod prvih kočenja pri povišenoj temperaturi
- sila kočenja na mokrom
- bježanje kočionih pločica
- kočenje s definiranom ustrajnošću.

Uređaj za ispitivanje mora, pored gore navedenih općih zahtjeva, osigurati stezanje čitavog sustava kočenja za kotač, pri čemu elektromotor služi za pogon osi na koju je stegnut zamašnjak koji simulira vozača. Uređaj će nam omogućiti kontrolu parametara tarnih materijala tijekom razvoja i omogućiti provedbu trenutačnih promjena.



» Slika 2: Koćioni sustav kotača s diskom [1].

### 3 Razvoj uređaja

Pri razvoju uređaja pratili smo dvije važne funkcije, koje uređaj mora osigurati. To su okretanje kočionog diska i kontrola kočenja.

Os kočionog diska sa zamašnjakom pokreće elektromotor preko remenskog prijenosa (sl. 3). Pogon mora osigurati visoku dinamičnu djelovanja, prije svega veliko ubrzanje. Dodatni zahtjev je mo-

**MiniTec d.o.o.**  
Teharska cesta 41  
3000 Celje  
Tel.: +386 59 071 390

[www.minitec.si](http://www.minitec.si)  
[info@minitec.si](mailto:info@minitec.si)

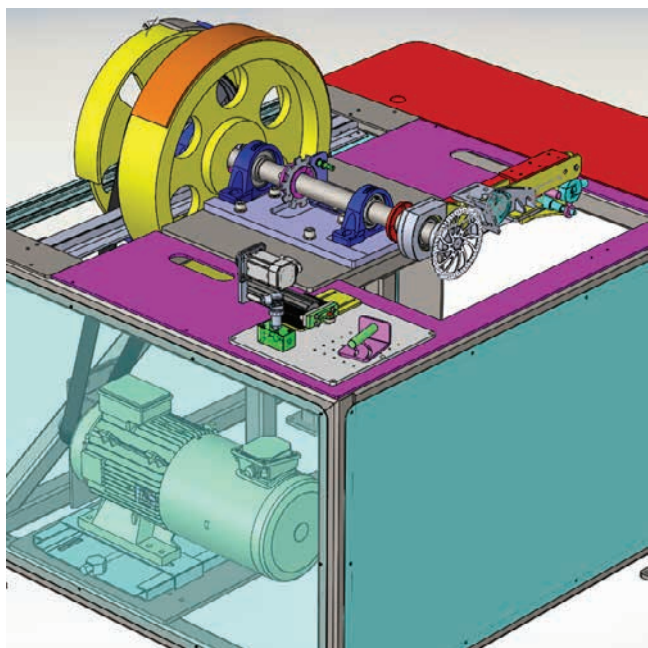
**MiniTec**  
THE ART OF SIMPLICITY

## Automatizacija<sup>2</sup> proizvodnih procesa

Tehnološka cjelovita rješenja postizemo sa stručnim znanjem i s prodajnim programom MiniTec, koji obuhvaća provjerena rješenja s više od 15.000 proizvoda.

Područja koja pokrivamo su:

- >> ručne montažne linije
- >> automatske montažne linije
- >> tračne, valjkaste i lančane – paletne linije
- >> robotizacija radnih procesa
- >> oprema za sigurnost i posluživanje u procesima s robotima
- >> transportni sustavi
- >> manipulatori
- >> ergonomska radna mjesta



» Slika 3: Pogon kočionog diska.

gućnost izbora dodavanja energije tijekom kočenja, tj. simulacije kočenja tijekom vožnje po nizbrdici. Radi razmjerno velikih masa zamašnjaka i kratkih ciklusa ubrzanja, za pogon je bio izabran asinkroni elektromotor snage 11 kW i vektorski frekvencijski regulator, koji može raditi u momentnom načinu rada. U elektromotor je ugrađen inkrementalni mjerac pozicije za točno mjerenje brzine okretanja. Mjerac pozicije motora je i uvijek za momentni način rada.

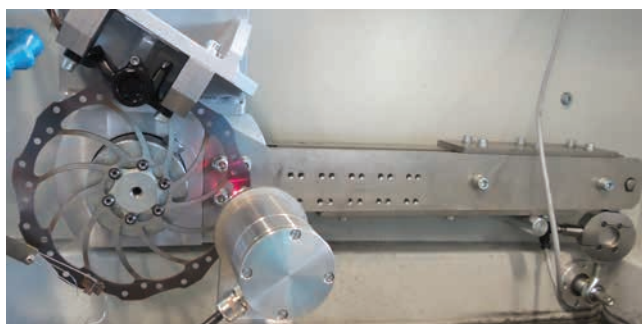
Kontrola kočenja je izvedena s linearnim aktuatorom, upravljanim preko servo pogona. Cilindar pritišće na kočionu pločicu i simulira različite sekvencije kočenja (sl. 4). Specifični zahtjevi su kočenje s konstantnom silom kočenja i kočenje u određenom vremenu od početne do konačne brzine. Za kočenje s konstantnom silom, motor mora omogućiti kontrolu pozicije s pomoću ograničavanja momenta, a za kočenje u određenom vremenu, momentni način rada motora i cikličku promjenu trenutačnog momenta. Tijekom ispitivanja je potrebno mjeriti promjene sile na pedali za kočenje. To izvodimo posredno, mjerenjem opterećenja motora



» Slika 4: Koćioni aktuator može pritiskati na pedalu za kočenje konstantnom ili promjenjivom silom.

tijekom kočenja. Izabran je bio servo pogon, koji može djelovati u pozicijskom i momentnom načinu rada i ima ciklički pristup internim podacima (regulator B&R ACOPOS micro i odgovarajući servo motor).

Tijekom izvođenja ispitivanja, uređaj mjeri, računa i pohranjuje brojne parametre. Na uređaju su senzori za mjerenje sile kočenja, tlaka u kočionom sustavu, temperature diska i kočione čeljusti. Silu kočenja, odnosno moment kočenja mjerimo na pedali, na koju je postavljena kočiona čeljust (sl. 5). Lijevi dio pedale je uležišten na os osovine s kočionim diskom, a na drugi dio je postavljen a potezna mjerna ćelija s mjernim listićima i pojačalom izlaznog signala. Senzor tlaka u kočionom sustavu postavljen je između pedale za kočenje i kočione čeljusti. Tlak ulja može tijekom snažnog kočenja doseći i vrijednosti do 60 bara. Za mjerenje temperature rotacijskog diska primijenjena su dva senzora. Beskontaktni infracrveni senzor mjeri energiju zračenja diska u području 100 do 600 °C. Klizni senzor kliže po površini diska. Ima ugrađen termopar tika K, koji može mjeriti temperaturu u još većem rasponu (-200 do 1350 °C). Temperatura diska tijekom intenzivnog ispitivanja može premašiti 500 °C.



» Slika 5: Mjerenje sile kočenja i temperature diska.

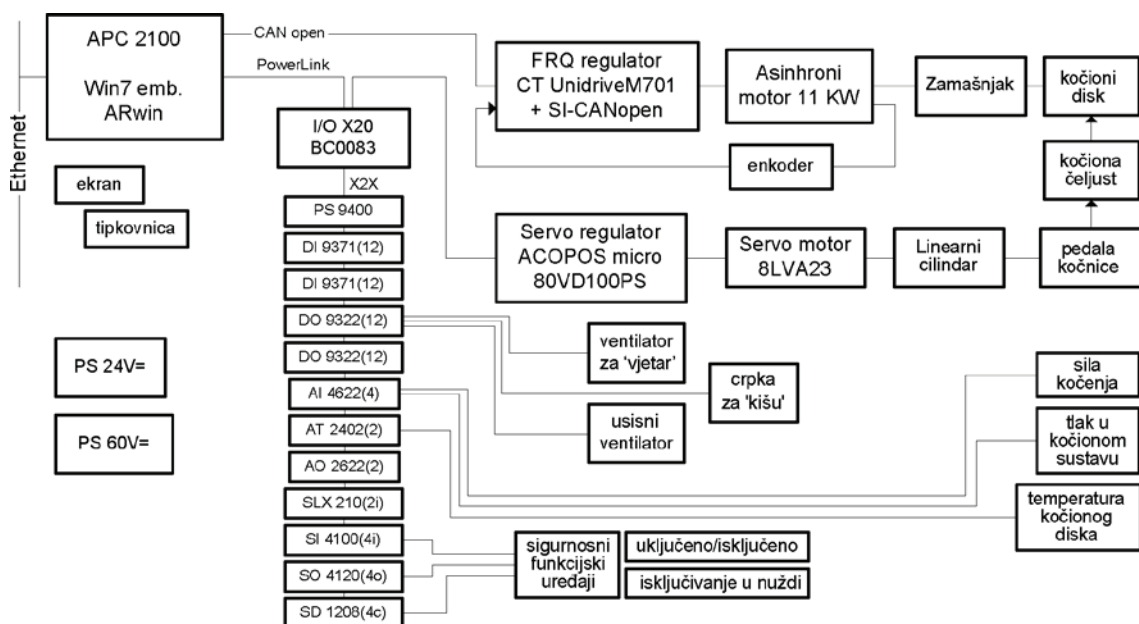
Upravljački sustav uređaja je prikazan na slici 6. Središnji element upravljanja je kompaktno industrijsko računalo B&R APC2100 [2]. Kućište je maleno (200 x 115 x 40 mm), slične veličine kao np. vanjska CD jedinica. Procesor je dvojezgreni Intel Atom E3827, sustav ima 4 GB RAM-a i 24 V napajanje. Umjesto diska, primjenjuje 64 GB CFast karticu, koja je slična CompactFlash karticama, jedino što umjesto PATA priključka, primjenjuje brži SATA priključak. Sve to omogućuje da PC može raditi bez ventilatora za hlađenje. Na jedinici su dva Ethernet priključka, te dodatni priključak za PowerLink, CAN i RS232 komunikacije. Operacijski sustav PC-a je Windows Embedded 7, a paralelno s njim radi i sustav ARwin za rad u stvarnom vremenu, koji osigurava determinističke odzive upravljačkog sustava. Win7 i ARwin podatke razmjenjuju preko virtualnog TCP/IP sučelja preko RAM-a s dvostrukim pristupom. Oba sustava su međusobno neovisni. Program za upravljanje uređajem odvija se unutar ARwin sustava i može raditi, čak i ako se operacijski sustav Win7 zaustavi radi greške.

Većino jedinica upravljačkog sustava povezuje brza Ethernet veza s protokolom PowerLink [3]. PowerLink je standardizirani protokol sa svojstvima realnog vremena. Osigurava determinističke prijenose podataka u vremenskim intervalima od 400 µs nagore. PowerLink povezuje APC2100, I/O jedinice (X20 BC0083) i servo regulator ACOPOS micro.

Jedinica X20 BC0083 je sučelje do X2X sabirnice, na kojoj su I/O moduli sustava, digitalni ulazi i izlazi i analogni temperaturni priključak za termoparove. Na X2X sabirnici je i sigurnosno upravljanje SLX 210 sa sigurnosnim I/O modulima.

Servo regulator ACOPOS micro prima naredbe i cikličke referencije preko PowerLink veze, prek koje vraća PC-u stanje i trenutačne podatke o položaju i opterećenju.

Regulator CT UnidriveM 701 je s APC2100 povezan preko CAN



» Slika 6: Blok dijagram upravljačkog sustava uređaja

priključka. Primjenjuje se CANopen protokol. Isto kao što PowerLink omogućuje cikličke prijenose naredbi, referenci i statusa, jedino je prijenos podataka donekle sporiji.

Za sigurnost djelovanja uređaja primijenjeno je sigurnosno upravljanje B&R SLX 210. To upravljanje je neovisno i ostalim jedinicama upravljačkog sustava. Preko svojih ulaza i izlaza omogućuje

uključivanje i isključivanje snage uređaja, izvodi logiku isključivanja u nuždi, sprječava djelovanje uređaja ako su vrata otvorena, ne dopušta otvaranje vrata ukoliko se disk okreće itd.

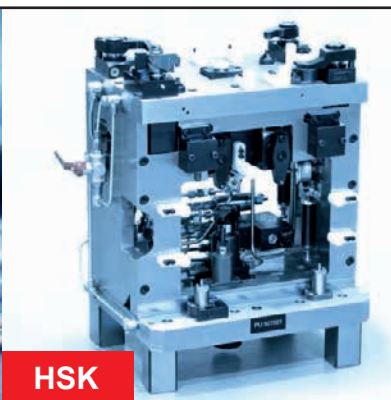
Razvoj aplikacije za uređaj odvija se u programskom okruženju B&R Automation Studio sa svim PLCopen jezicima, te jezicima C, C++, BASIC. Programske jezike je moguće kombinirati, a možemo



HSM

Visokobrzinska motorna vretena

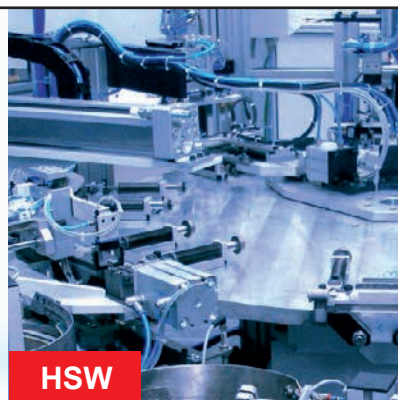
Motorna vretena za glodanje, brušenje, bušenje, specijalne izvedbe prema zahtjevima kupca. Dodatne opcije: integrirani sustav za balansiranje, senzori vibracija,...



HSK

Komponente obradnih strojeva

Stežne naprave, linearne jedinice, viševretene glave, obradne jedinice s ugrađenim torque ili linearnim motorima, specijalne izvedbe za automatizaciju proizvodnih procesa



HSW

Specijalni strojevi i uređaji

Automatski montažni i proizvodni strojevi, strojevi za kontrolu proizvodnih procesa, strojevi za poliranje i mjerenje za staklarsku industriju



HSR

Robotska automatizacija

Robotsko posluživanje strojeva, glodanje, poliranje, brušenje, automatizacija ljevaoničkih procesa, zavarivanje, napredna primjena tehnologije robotskog vida

Razvoj i projektiranje

Razvoj i projektiranje visokobrzinskih motornih vretena, specijalnih obradnih strojeva, komponenti obradnih strojeva i robotske automatizacije

Servis i popravci

Montaža, ispitivanje, optimizacije i popravci motornih vretena i ostalih komponenti obradnih strojeva svih vodećih svjetskih proizvođača

Proizvodnja strojnih dijelova

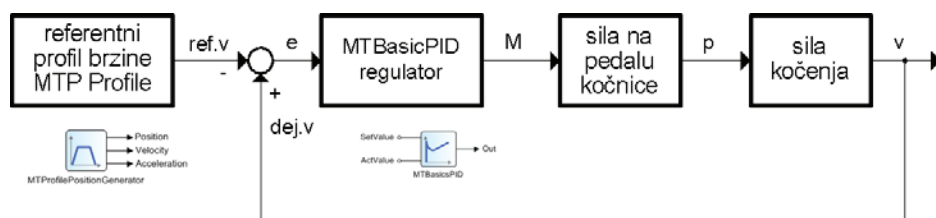
Maloserijska proizvodnja visoko preciznih pozicija  
CNC tokarenje  
CNC glodanje  
Ravno i okruglo brušenje

**HSTec**  
HIGH SPEED TECHNIQUE

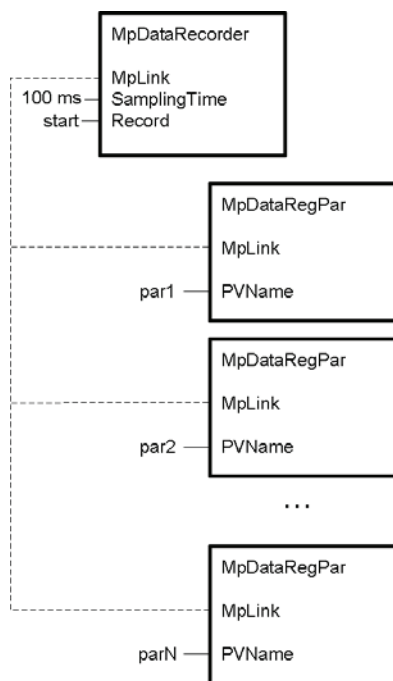
HSTEC d.d.  
Zagrebačka 100  
HR-23000 Zadar

T. +385 23 205 405  
F. +385 23 205 406

info@hstec.hr  
service@hstec.hr  
www.hstec.hr



» Slika 7: PID regulacija kočenja



» Slika 8: Realizacija funkcije zapisivanja podataka s mapp komponentama.

izabrati najprimjereniji za određenu funkciju. Aplikacija je napisana u ANSI C i PLCopen jeziku ST (Structure Text). Sastavljena je od tri dijela: od programske i sekvencijske logike, logike za sigurnosno upravljanje i grafičko sučelje HMI.

Središnji dio sekvencijske logike je zadužen za izvođenje sekvence ispitivanja uređaja. Način izvođenja sekvence ispitivanja određuje program, koji sastavljaju podesivi parametri i varijabilni broj parametriziranih blokova. Parametri bloka određuju kako se kontrolira glavni motor za pogon kočionog diska, na kakav način kočimo, te kako uključujemo ili isključujemo dodatne jedinice uređaja. Kao primjer je naveden program koji izvodi sljedeće:

**blok 0:** 90 s ponavljanje ciklusa kočenja s ubrzavanjem diska do 25 km/h u 2 s i kočenjima do 5 km/h u 7 s, tijekom kočenja motor pokreće disk sa snagom 800 W, uključeni su usisni ventilator i ventilator za vjetar s fiksnom brzinom 25 %

**blok 1:** 10 s odmor, u kojem se disk vrti brzinom 3,0 km/h

**blok 2:** 60 s ponavljanje ciklusa kočenja, ostalo jednako kao u bloku 0

**blok 3:** hlađenje diska na temperaturu 50 °C, dok se disk vrti brzinom 5,0 km/h, uključen je ventilator za vjetar s brzinom 100 %

**blok 4:** isključivanje jedinica, te zaustavljanje izvođenja programa

Blok 0 zadržati naredbu za kočenje od brzine 25 km/h na 5 km/h u 7 s. Tijekom takvog kočenja potrebno je regulirati silu pritiska na pedalu kočnice. Cilj je da željeno vrijeme kočenja bude postignuto što je moguće točnije. Primijenjen je PID regulator (MTBasicPID), koji uspoređuje referentni profil brzine sa stvarnim i obzirom na trenutačnu grešku povećava ili smanjuje silu kočenja (sl. 7). S optimiranjem PID parametara, postignuto je točno praćenje referenci (sl. 9).

Brojne kompleksne funkcije uređaja su realizirane primjenom

mapp komponenta. Mapp tehnologija [4][5], koja primjenjuje razvojno okruženje B&R Automation Studio, je temeljena na objektivnim načelima gradnje programa.

Mapp komponente predstavljaju provjerene modularne elemente koje dodajemo u program, povezujemo međusobno i zatim s njima u programu upravljamo preko pripremljenog korisničkog sučelja. Mapp komponente su nadogradnja tehnologije funkcijskih blokova, koju je uvela PLCopen standardizacija [6]. Udružuju veći broj funkcijskih blokova u kompleksnije jedinice.

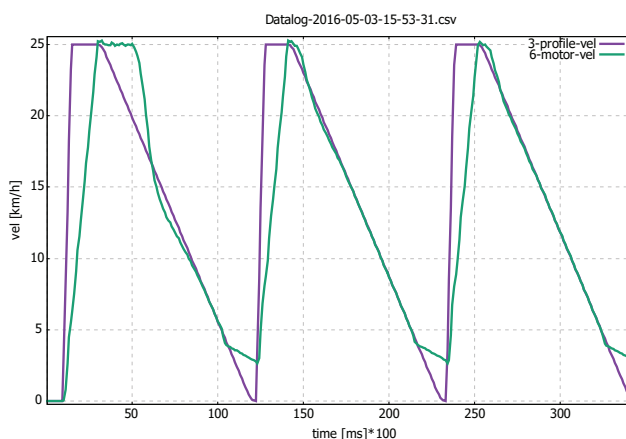
U našem programu su mapp komponente primijenjene za kontrolu osi za kočenje i osi za okretanje glavnog motora (MpAxisBasic), za zapisivanje izmjerenih i izračunatih podataka MpDataRecorder i MpDataRegPar) te za učitavanje i pohranu ili učitavanje programa tijekom ispitivanja (MpRecipeXml i MpRecipeRegPar). Osnovnim komponentama možemo dodati dodatne i tako proširiti funkcionalnost. Primjerice pri kontroli osi za kočenje komponenta MpAxisCyclicSet funkcijama pozicioniranja osi dodaje i mogućnost cikličke promjene momenta motora.

Na slici 8 su prikazane mapp komponente za zapisivanje podataka u izlaznu datoteku. S ulaznim parametrima komponente MpData Recorder (RecordMode, SamplingTime) odredimo način zapisivanja podataka i vrijeme uzorkovanja (npr. uzorkovanje u ujednačenim vremenskim intervalima, interval 10 ms). Parametri komponenta MpDataRegPar (PVName) definiraju varijable koje zapisujemo.

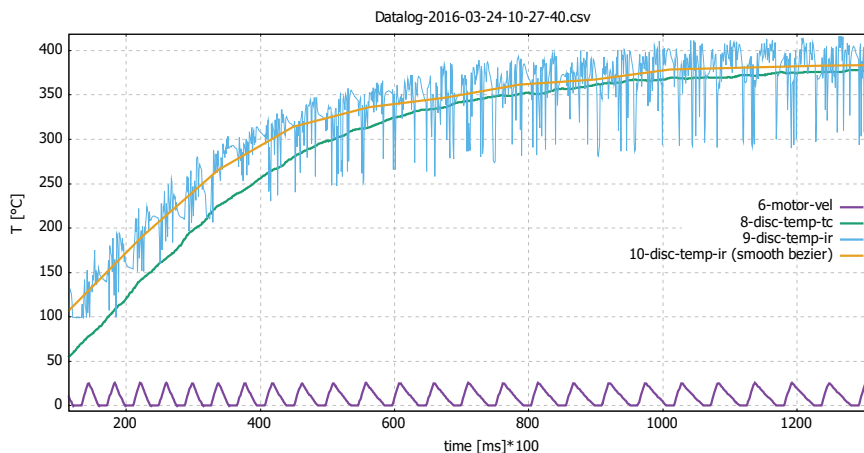
Pored navedenih postoji i opširan izbor drugih mapp komponenta za funkcije kao što su: realizacija alarma, vizualizacija podataka, HMI.

Prikazano je svega nekoliko snimljenih podataka provedenih ispitivanja. Dijagrami su pripremljeni s pomoću programa gnuplot [7], koji je izvrstan alat za brze analize podataka i vizualizaciju.

Poleg omenjenih obitava se opširen nabor drugih mapp komponent za funkcije kot so: realizacija alarmov, vizualizacija podatkov, HMI vmesniki, povezana gibanja osi kot je leteče žaganje [5], večosni CNC krmilniki, kontrola različnih robotskih rok ipd.



» Slika 9: Dijagram PID kočenja s promjenjivom silom; prikazana je referenca brzine (3) i stvarna brzina diska (6).



» Slika 10: Dijagram porasta temperature tijekom kočenja; brzina diska (6) i temperatura diska mjerena s kliznim (8) i IR senzorom (9).

#### 4 Ispitivanja i analiza podataka

Na uređaju se mogu izvoditi automatizirana ispitivanja kočionih pločica i kompenzata kočionih sustava s diskom. S programom i parametrima programskih blokova možemo utjecati na provedbu ispitivanja. Tijekom izvođenja ispitivanja snima se 14 parametara, a podaci su zapisani u ASCII 'csv' datoteku, koju možemo kasnije analizirati u tabličnom prikazu ili s drugim programom.

Slika 9 prikazuje početak ispitivanja kočenja, gdje kočimo s brzine 25 na 5 km/h u 7 s, glavni motor tijekom kočenja dodatno pokreće disk snagom 800 W. Možemo vidjeti da PID regulator nakon početnog zaleta brzo postiže referentnu brzinu. Ispitivanje služi za usporedbu namještanja frikcijskih materijala, jer se sila na pedali mijenja ovisno o uhođanosti kočione pločice, te obzirom na temperaturu na disku. Ujedno je dobar pokazatelj za analizu naknadne toplinske obrade s kojom se kočione pločice moraju pripremiti na uvjete primjene.

Slika 10 prikazuje temperaturu kočionog diska pri ispitivanju, gdje ponavljamo oštra kočenja od 25 km/h na 2 km/h, a sila na pedalu kočnice je tijekom kočenja konstantna i iznosi 70 N. S tim testom pratimo ili koeficijent trenja ili vrijeme kočenja u ovisnosti o temperaturi. Navedene informacije su ključne pri planiranju frikcijskih mješavina te pri određivanju procesnih uvjeta s kojima nastojim osigurati ujednačenu silu kočenja neovisno o radnoj temperaturi. Prikazana su dva mjerenja temperature diska. Mjerenje sa IR senzora rezultira s mnogo šuma, koji je posljedica rupica za hlađenje na površini diska. Gnuplot omogućuje s funkcijom 'smooth bezier' prikaz prosječne vrijednosti temperature.

#### 5 Zaključak

Uređaj za automatizirano ispitivanje kočionih pločica je bio razvijen i načinjen u tvrtki PS d.o.o. Logatec za tvrtku Sinter d.o.o. Ljubljana. Oba partnera su udružila znanja i iskustva iz svojih područja pri planiranju, specifikaciji i razvoju tehnološki zahtjevnog uređaja za ispitivanje. Uređaj omogućuje kontrolu parametara tarnih materijala tijekom njihovog razvoja i trenutačne promjene, ukoliko su potrebne, dakle brži i kvalitetniji razvojni ciklus.

##### Izvori:

- [1] BikeRumor.com: (<http://www.bikerumor.com/2013/04/15/sram-hydro-r-hydraulic-road-rim-disc-brakes-unveiled-details-first-rides>) 2009.
- [2] B&R\_APC2100: (<https://www.br-automation.com/en-in/products/industrial-pcs/automation-pc-2100>)
- [3] Ethernet PowerLink Standardization Group: Industrial Ethernet facts 2nd Edition, Sep. 2013.
- [4] B&R mapp technology:
- [5] LIAM Lab: White Paper, mapp technology Bench-mark - flying saw ([www.br-automation.com/smc/d8fa16e36ce14990f40a77fcb7c42bbf2ae1f6cf.pdf](http://www.br-automation.com/smc/d8fa16e36ce14990f40a77fcb7c42bbf2ae1f6cf.pdf))
- [6] PLCopen.org: (<http://www.plcopen.org>)
- [7] Gnuplot: ([http://www.gnuplot.info/gnuplot homepage](http://www.gnuplot.info/gnuplot%20homepage))

# PASIVNI RAZDJELNICI

## Simpflikatori

- Pasivni razdjelnici uklanjaju klupko kabela u strojevima i postrojenjima
- Znatno manji utrošak vremena za stavljanje u pogon i traženje smetnji
- Tvrtka Murrelektronik nudi veliki asortiman različitih razdjelnika



## PAMETNA RJEŠENJA ZA INSTALACIJU STROJEVA

