

# Zasnova in testiranje brezkontaktnega merilnega sistema za nadzor raztezanja membrane mehanskega termostata

Jure REJC, Marko MUNIH

**Izvleček:** Članek opisuje izbiro ustreznega merilnika za merjenje razteška membrane diastata v fazi polnjenja s polnilnim oljem. Izbrali smo brezkontaktni merilnik razdalje, ki dimenzijsko ustreza vgradnji na obstoječe rotacijske polnilne naprave. Merilnik izmerjene vrednosti posreduje v obliki analogne napetosti, zato smo v ta namen razvili tudi mikrokrmilniški sistem z namensko programsko opremo, ki je skrbela za zajem, statistično analizo in posredovanje meritev centralnemu računalniku. Detajlna testiranja so pokazala, da je celoten merilni sistem sicer podvržen temperaturnemu lezenju, vendar so časovne konstante veliko večje od časa polnjenja enega diastata. Nelinearnost merilnega sistema se je izkazala za preveliko glede na podane zahteve, zato je bila v mikrokrmilniški program vnesena kompenzacija nelinearnosti. Celoten merilni sistem je del večjega regulacijskega sistema, ki je podjetju znatno znižal proizvodne stroške, predvsem pa dvignil kvaliteto napoljenosti diastatov.

**Ključne besede:** raztezanje membrane, brezkontaktno merjenje razdalje, nelinearnost, temperaturno lezenje

## 1 Uvod

Članek opisuje metodologijo in rezultate preverjanja parametrov merilnika oddaljenosti za izvajanje točnih meritev razdalje v industrijskem okolju za podjetje ETA Cerknjo, članico nemškega koncerna E.G.O. Merilni sistem je del večjega implementiranega sistema za nadzor polnjenja sistema, imenovanega diastat, s posebnimi olji na rotirajočih napravah.

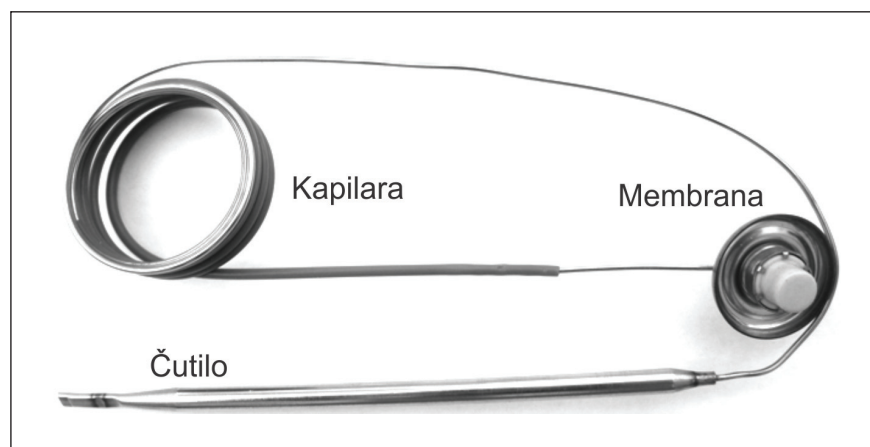
Dandanes podjetja razvijajo in v proizvodne sisteme vgrajujejo razne napredne sisteme za izboljšanje kvalitete svojih produktov, znižanje količine slabih kosov zaradi vhodnih surovin ali slabe proizvodnje [1] in tudi da zadostijo zahtevam medna-

rodnih standardov, kot recimo ISO. Mednje sodijo računalniško podprta proizvodnja [2], razni merilni sistemi [3] in sistemi za umetni vid [4].

Na področju industrijskih meritev je najbolj zeleno področje izvajanja meritev med 0,01 m in 40 m [5], kjer prednjačijo ultrazvočni merilniki, merilniki na principu laserske triangulacije [6] in merilniki na principu laser-

ske interferometrije [7]. Vendar pa se v proizvodne procese množično vgrajujejo tudi naprave, ki omogočajo merjenje izredno majhnih razdalj z zelo veliko merilno točnostjo [8].

V predstavljenem delu smo uporabili objavljeno literaturo in ustrezen merilnik razdalje ter testirali njegovo delovanje. Primerjalne meritve smo opravljali s cetrificiranim mi-



Slika 1. Diastat

Dr. Jure Rejc, univ. dipl. inž.,  
prof. dr. Marko Munih, univ.  
dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani,  
Fakulteta za elektrotehniko,  
Laboratorij za robotiko

krometrom in realnimi objekti. Ker s karakteristikami izbranega merilnika nismo bili zadovoljni, smo njegove karakteristike z matematičnimi pristopi znatno izboljšali, kar ponazarjamo s podanimi rezultati.

## ■ 2 Uporabljena oprema

### a) Diastat

Diastat je najpomembnejši del kapilarnega termostata, ki se množično uporablja v vsakodnevem življenju, predvsem v elementih bele tehnike kot glavni regulacijski temperaturni element [9, 10]. Termostati se razlikujejo po svoji zgradbi in namenu uporabe. Podjetje ETA Cerknjo ima v svojem programu 6 različnih družin termostatov, s katerimi pokrivajo regulacijska področja temperature med  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  in  $+550\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Diastat je sklop, ki ga sestavljajo membrana, kapilara in čutilo (slika 1). Sklop je napolnjen s posebnim oljem, polnjenje pa poteka na rotirajočih polnilnih napravah, kjer je v fazi polnjenja naenkrat 48 diastatov. Če je število družin termostatov nizko, pa je število različnih tipov diastatov zelo veliko, saj le tako lahko dosega jo regulacijo različnih temperaturnih območij. Različnih tipov diastatov je okrog 3200, na letni ravni pa se jih naredi 15.000.000.

Najpomembnejši del diastata je membrana, ki s svojimi mehanskimi zasnovami in dimenzijami omogoča pretvarjanje spremembe temperature olja v linearne raztezke oz. skrčke. Izdelujejo in vgrajujejo se predvsem membrane s keramičnim gumbom, poleg njih pa se v manjših količinah vgrajujejo tudi take s kovinsko sijočo ploščico, vendar razlika ne vpliva na delovanje termostata.

Na rotirajočih polnilnih napravah se polnijo diastati z enim in drugim tipom membrane v mnogo kombinacijah z različnimi dolžinami čutil ter kapilar. Za pravilno delovanje termostata v pravem temperaturnem območju je potrebno zagotoviti ustrezno napolnjenost diastata z ustreznim oljem. Za pravilno na-

polnjenost diastata je potrebno pri izmerjeni polnilni temperaturi olja z ustreznim tlakom v sklop potisniti olje in sklop, ko je membrana ustrezno raztegnjena, zapreti s stiskanjem in točkanjem konice čutila. Zaradi zagotavljanja večje kvalitete polnjenja se je pojavila težnja, da bi se med samim polnjenjem meril raztezek membrane in glede na meritve prilagajal polnilni tlak. Detajli, povezani s teorijo pravilne napolnjenosti diastata, presegajo temo tega članka.

Evropski standard EN 14597 [11] na področju kvalitete temperaturnih regulacijskih elementov predpisuje, da je lahko največje odstopanje termostata od nastavljene temperature  $\pm 5\%$ , kar pri temperaturi  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  pomeni tolerančno območje  $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V podjetju so zaradi težnje po izpolnjevanju standarda svoje interne tolerance postavili na  $\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na tolerančno območje regulacije temperature mehanskega termostata vpliva predvsem izdelava mehanskih delov, najbolj pa pravilna napolnjenost diastata.

Ozke tolerance smo morali upoštevati pri zasnovi merilnega sistema. Namreč: raztezek membran je pri polnjenju na polnilni napravi med  $0,07\text{ mm}$  in  $0,5\text{ mm}$ , odvisno od uporabe termostata. Če raztezke membrane preračunamo na temperaturno območje najpogostejšega pečniškega termostata, potem raztezek membrane za  $0,01\text{ mm}$  pomeni spremembo temperature za okrog  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ta podatek narekuje merilno točnost

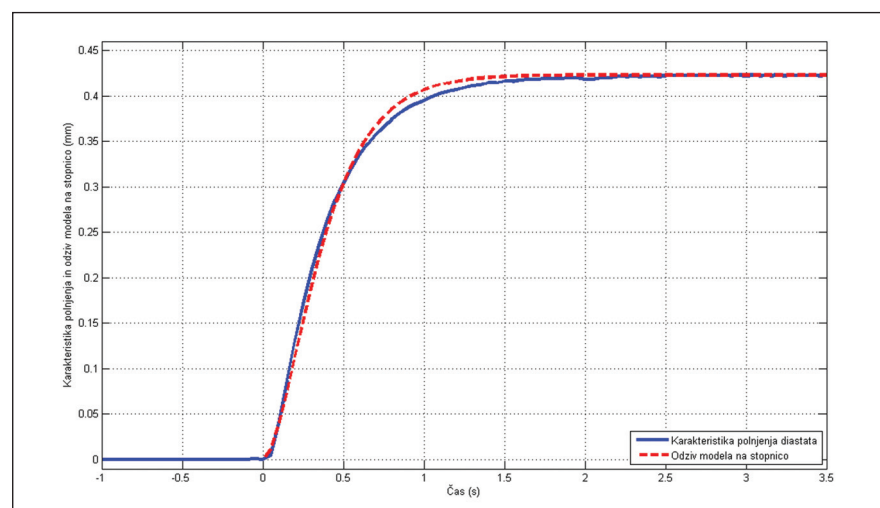
vgrajenega sistema v območju vsaj  $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ , kar predstavlja napako temperature od  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### b) Dinamika raztezanja membrane med polnjenjem

Pri izbiri ustreznega merilnika je potrebno upoštevati tudi dinamiko merjenega sistema. V ta namen smo z merilnikom, ki ima sicer preveliko merilno glavo, na posebni pripravi izmerili polnilno karakteristiko za izbrani diastat in polnilno olje. Uporabili smo merilnik podjetja Micro-Epsilon, tip ILD2200-10, z mejno frekvenco  $10\text{ kHz}$  in merilnim območjem  $10\text{ mm}$ .

Iz množice posnetih polnilnih karakteristik smo izbrali tisto, ki ima najbolj strmo polnilno karakteristiko. Tak diastat je napolnjen z zelo tekočim polnilnim oljem. Nastavljeni polnilni tlak je bil  $7,0\text{ bar}$ , temperatura polnilnega olja pa  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Prvotno smo hoteli karakteristiko opisati s sistemom 1. reda, vendar smo pri analizi opazili, da imajo vse karakteristike prevojno točko, ki pa je značilna za sisteme višjih redov. Za matematični opis karakteristike polnjenja smo uporabili Strejčev metodo [12], ki temelji na določanju značilnih parametrov: ojačenja  $K$ , časa zakasnitve  $TZA$  in čas izravnave  $TIZ$  oziroma umiritveni čas. Z omenjeno metodo smo določili naslednje parametre: red sistema je 2, ojačenje  $0,06043$ , časovna konstanta ( $\tau$ )  $0,19819\text{ s}$  in mejna frekvenca približno  $5\text{ Hz}$ .



Slika 2. Karakteristika polnjenja diastata in odziv modela na stopnico

S polno črto na *sliki 2* je označena dejanska polnilna karakteristika, z rdečo črtkano črto pa prenosna funkcija sistema. Na *sliki 2* vidimo matematični opis polnilne karakteristike s sistemom 2. reda, ki je za naše potrebe povsem zadovoljiv.

### c) Izbira ustreznega merilnika razdalje

V našem primeru smo pri izbiri ustreznega merilnika poleg merilne točnosti, ustrezne dinamike ter merilnega območja morali upoštevati tudi dejstvo, da dodelujemo starejše polnilne naprave z zelo omejenim prostorom. Pri izbiri merilnika je imela odločilno vlogo tudi odločitev, da se v začetni fazi izbira in testiranje merilnika podvržeta karakteristikam diastata s keramičnim gumbom zaradi večjega števila izdelanih diastatov tega tipa.

Za izvajanje točnih meritev je najprimernejši pristop v obliki kontaktnega merilnika, kjer bi ob vstavljanju čutila diastata v poseben nosilec vstavili tudi membrano ter primarni kontaktni merilnik. Po tehtnem premisleku smo zaključili, da uporaba kontaktnega merilnika zahteva eno operacijo preveč oziroma da je trajanje cikla polnilne naprave prekratko. Poleg tega je bil vprašljiv tudi prostor namestitve, saj bi merilnik že segal v območje naslednje polnilne glave. Ta dva razloga sta bila dovolj, da smo posegli po brezkontaktnem pristopu merjenja raztezka. Ena izmed možnosti je videokamera, vendar bi tudi tak sistem zasedel preveč prostora. Tako smo našli rešitev v triangulacijskem merilniku razdalje. Največja težava teh je običajno v zelo veliki merilni glavi in v laserskem izvoru svetlobe, kar v skrajnih primerih lahko povzroči nevarnost za delavce [13]. Obe prepreki smo premostili z izbiro triangulacijskega merilnika Keyence PT-165.

### d) Merilnik Keyence PT-165

Izbrani merilnik zadosti tako zahtevi po velikosti merilne glave kot po varnosti, saj kot vir svetlobe uporablja običajno rdečo LED-diodo. Sprejemni element ni CCD (Charge Coupled Device), ampak PSD (Position Sensitive Device) [14].

Merilna glava je velika samo  $36 \times 39$  mm in ima oznako PT-165, priključena pa je na analogni krmilnik z oznako PT-A160. Merilnik ima 4 mm merilnega območja oziroma  $\pm 2$  mm s sredino območja oddaljeno 22 mm od merilne glave. Proizvajalec navaja, da je njegova ponovljivost merjenja  $3 \mu\text{m}$  na beli papirnati površini. Temperaturno delovno območje je med  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  ter pri relativni vlažnosti med 35 % in 85 %.

Proizvajalec navaja tudi temperaturno odvisnost za merilno glavo in krmilnik. Temperaturna odvisnost je definirana kot sprememba analognega napetostnega izhoda glede na spremembo temperature okolice za  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Za merilno glavo je temperaturna odvisnost na celotnem merilnem območju  $0,1 \text{ } \%/^\circ\text{C}$  ( $4 \mu\text{m}$ ), za krmilnik pa  $0,05 \text{ } \%/^\circ\text{C}$  ( $2 \mu\text{m}$ ). Žal pa proizvajalec ne navaja izredno pomembnega podatka, in ta je linearnost meritev, kot tudi ne stopnje zaščite merilne glave ter krmilnika (IP – Ingress Protection).

Merilna glava je priključena na krmilnik, ki z dvema potenciometroma uporabniku omogoča nastavljanje izhodne vrednosti 0 V in tudi naklon ojačenja izhodne karakteristike. Krmilnik omogoča podajanje meritev le preko napetostnega analognega izhoda, ki je v območju  $\pm 2 \text{ V}$ , torej povsem sorazmeren merilnemu območju. Na krmilniku je nameščeno tudi majhno stikalo, s katerim lahko spreminjamo frekvenčni odziv merilnika. Možnosti sta dve, in to 1 ms in 10 ms, sami pa uporabljamo le 1 ms. Frekvenčni odziv je mišljen v smislu

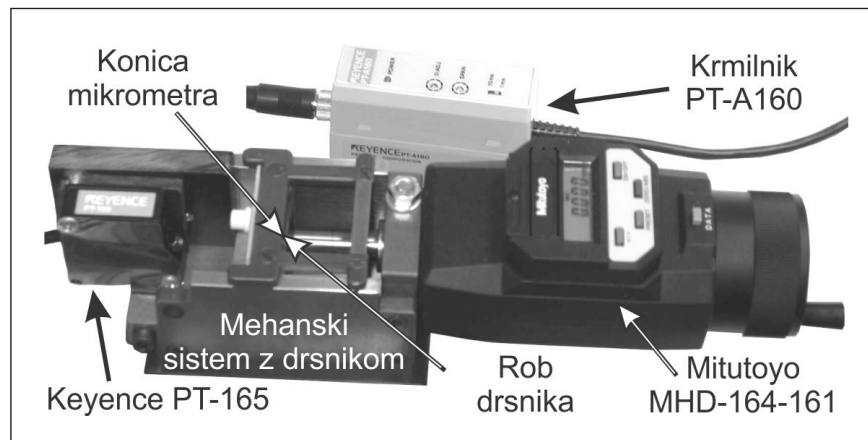
hitrosti spreminjanja merjene razdalje, kar se odraža na napetostnem izhodu meritve. Proizvajalec navaja, da je slabljenje izhodnega napetostnega signala  $-3 \text{ dB}$  za nastavitev 1 ms pri frekvenci 400 Hz, za nastavitev 10 ms pa pri 40 Hz.

### e) Mikrokrmilniški sistem za zajem analogne izmerjene vrednosti

Ker merilnik podaja izmerjene vrednosti v analogni napetostni obliki, je bilo potrebno realizirati pretvorbo v digitalno obliko. V ta namen smo razvili povsem namenski mikrokrmilniški sistem za vsako izmed šestih polnilnih naprav, ki služi za zajem analognih vrednosti, njihovo obdelavo in nadaljnje brezžično posredovanje z vsake polnilne naprave posebej. Tako je tudi mikrokrmilniški sistem postal del merilnega sistema.

Srce mikrokrmilniškega sistema je 8-bitni mikrokrmilnik Mega8 proizvajalca Atmel, v katerem teče namenski program. Sistem zajema analogno vrednost s konstantno frekvenco 1 kHz, jo statistično obdelava in pošilja centralnemu računalniku s frekvenco 20 Hz. Programska oprema omogoča tudi vnos parametrov kompenzacije nelinearnosti v obliki koeficientov polinoma. Za pretvorbo analognih izmerjenih vrednosti v digitalno obliko smo uporabili 12-bitni AD-pretvornik.

Ker so največji polnilni raztezki membran do 0,5 mm, smo se odločili, da uporabimo samo polovico merilnega območja merilnika, torej od 0 mm do 2 mm (0 V do 2 V izho-



Slika 3. Testni sistem brez mikrokrmilniškega dela

dne napetosti). Glede na vgrajeno notranjo referenčno napetost AD-pretvornika 4,096 V in uporabljeno polovično merilno območje 2,048 V smo dosegli ločljivost analognega signala 0,5  $\mu\text{m}$  na bit.

#### f) Referenčni kontaktni merilnik

Slika 3 kaže testni sistem brez mikrokrmilniške enote. Sestavlja ga merilna glava PT-165, umerjen kontaktni mikrometer Mitutoyo MHD-164-161 z merilnim pogreškom  $\pm 2 \mu\text{m}$  in ločljivostjo 1  $\mu\text{m}$ . Med obema merilnikoma je namenska mehanska priprava, ki omogoča premik drsnika med obema merilnikoma. Mehanski sistem je izredno točno izdelan, skoraj brez zračnosti, vendar vseeno brez vodil in mazil, pa vseeno lahek za premikanje. Drsnik na eni strani potiska mehanski mikrometer v smeri brezkontaktnega merilnika Keyence.

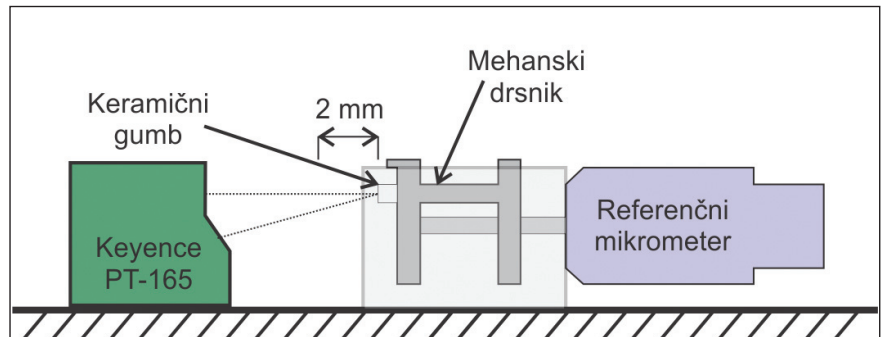
### ■ 3 Metodologija

#### a) Določanje nelinearnosti merilnika Keyence PT-165

Proizvajalec v katalogu za izbrani merilnik podaja mnogo karakteristik, vendar ne navaja zelo pomembnega parametra – linearnosti merilnika. Linearnost merilnika je običajno standardni podatek takih merilnikov, ki ga od proizvajalca nismo dobili.

Opisali smo že zelo ozko dovoljeno območje pogreška in zato smo podatek o linearnosti merilnika potrebovali ter ga izmerili. V merilni verigi ni samo merilnik, ampak tudi mikrokrmilniški sistem. Tako smo določali linearnost merilnika skupaj z mikrokrmilniškim sistemom v določenem delovnem področju od 0 mm do 2 mm. V ta namen smo uporabili mehanski sistem (slika 3), shematično predstavljen na sliki 4.

Postopek določanja nelinearnosti smo pričeli tako, da smo premični mehanski sistem, opremljen s keramičnim gumbom, z merilnikom Mitutoyo premikali toliko časa, da je merilnik Keyence s pripadajočo elektroniko vračal 0 V oziroma 0,000 mm. V tej poziciji smo na 0,000 mm



Slika 4. Testni sistem za določanje nelinearnosti merilnega sistema

nastavili tudi mehanski mikrometer. Z vrtenjem gumba mikrometra smo ga premaknili za 2,000 mm v smeri merilnika Keyence. V tem trenutku smo opazovali izhod merilnega sistema, ki običajno ni kazal 2,000 mm. Da bi merilni sistem kazal pravo vrednost, smo s priloženim plastičnim izvijačem vrteli potenciometer na krmilniku PT-A160. S tem smo karakteristiko merilnega sistema vpeli med 0,000 mm in 2,000 mm.

Da smo določili karakteristiko linearnosti merilnega sistema med tema dvema točkama, smo z referenčnim mikrometrom premikali premični sistem s keramičnim gumbom. Premiki so bili po korakih približno 0,1 mm. Pri vsakem koraku smo odčitali vrednost referenčnega mikrometra in vrednost, ki ga vrača merilni sistem z merilnikom Keyence. Postopek smo večkrat ponovili brez nastavljanja potenciometrov krmilnika, tudi z daljšimi časovnimi premori.

#### b) Stabilnost merjenja fiksne razdalje z merilnikom Keyence PT-165

Kljub navedenim podatkom proizvajalca glede temperaturne stabilnosti meritev smo te v proizvodnih prostorih opravili tudi sami. S tem smo v meritve hoteli zajeti tudi vse vplivne parametre iz proizvodnje: spremembe temperature, vibracije, morebitne elektromagnetne motnje, spremembe vlažnosti itn. Zanimala nas je predvsem kratkotrajna stabilnost, saj je opravljanje meritev raztezka membrane relativna, in to za čas okrog 2 minut, kar je cikel polnjenja enega diastata. Meritve smo opravljali z vsemi komponentami, ki sestavljajo merilni sistem na polnilni napravi:

- triangulacijski merilnik oddaljenosti Keyence,
- mehanski sistem z zaklenjenim drsnikom,
- mikroprocesorski sistem,
- brezžični WLAN-oddajnik Moxa NPort W2150.

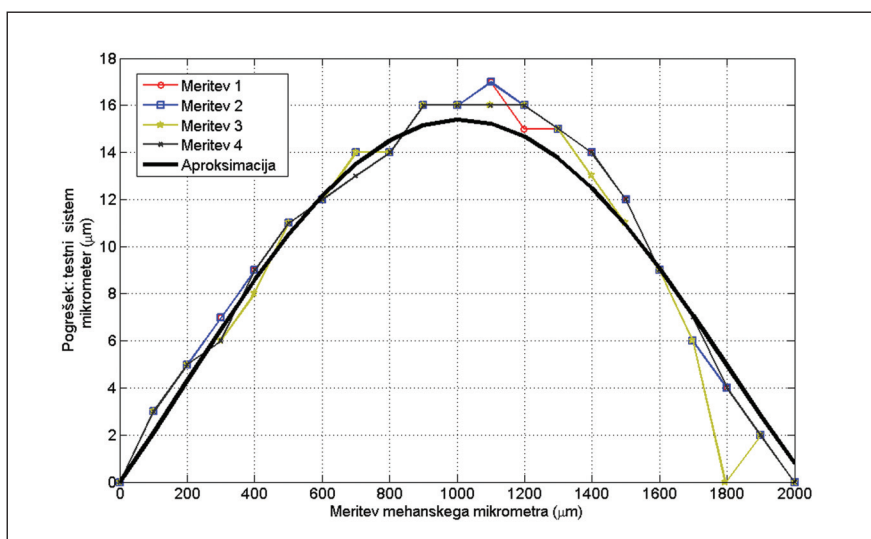
Komponente smo postavili na rotirajočo polnilno napravo, ki je bila v običajnem delovanju, torej je na njej potekalo polnjenje diastatov. Podatke smo prejemali in shranjevali na prenosnem računalniku, kjer smo jih analizirali s programom Matlab. Merilni sistem smo, s predhodnim vnosom potrebnih parametrov v mikrokrmilniški sistem, linearizirali. Meritve so trajale več ur, temperature prostora pa nismo zajemali.

### ■ 4 Rezultati

#### a) Določanje nelinearnosti merilnika Keyence PT-165

Slika 5 kaže merilno karakteristiko merilnika Keyence PT-165, merjeno skupaj z mikrokrmilniškim sistemom v primerjavi z umerjenim mikrometrom. Na abscisni osi je vrednost mikrometra Mitutoyo v  $\mu\text{m}$ , na ordinatni osi pa pogrešek merilnega sistema glede na mikrometer. Izrisane so štiri meritve od več opravljenih. Največji pogrešek znaša 17  $\mu\text{m}$ , meritve pa so izredno ponovljive, tudi v časovnem obdobju nekaj dni. Največje odstopanje med izmerjenimi karakteristikami je namreč le 4  $\mu\text{m}$ . Na sliki je opaziti tudi debelejšo črto črne barve, ki predstavlja aproksimacijo navedenih štirih karakteristik s polinomom 4. stopnje.

Omeniti velja, da je prikazana karakteristika določena na enem komple-



**Slika 5.** Pogrešek testnega merilnega sistema in polinomska aproksimacija pogreška

tu merilnega sistema za eno polnilno napravo in ni popolnoma enaka pri drugih kompletnih merilnega sistema, zato omenjeni polinom ne opiše stanja merilne karakteristike vseh izdelanih kompletov. Skupno vsem kompletom je, da je mogoče vse merilne karakteristike dokaj dobro opisati s polinomom 4. stopnje.

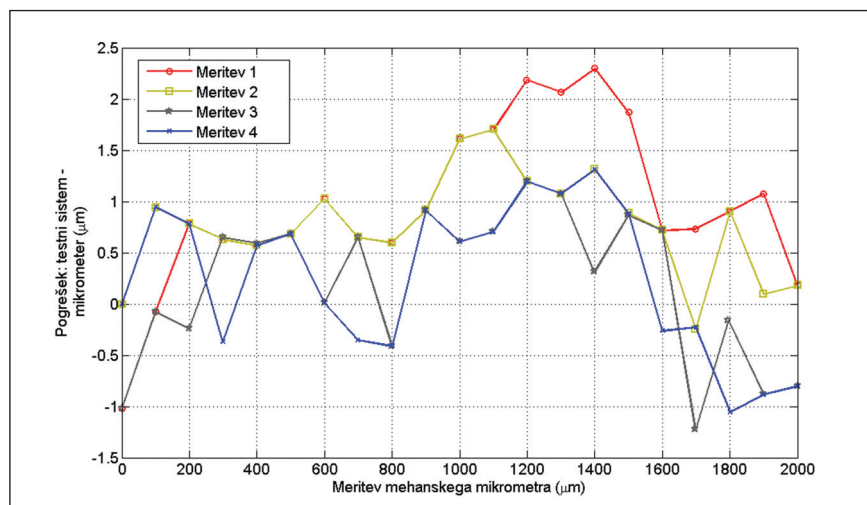
Omenjeno je že bilo, da je največji raztezek membrane v fazi polnjenja v območju do 0,5 mm. Zato je potrebno pri ugotavljanju pogreška upoštevati merilno okno 0,5 mm in ne celotnega merilnega območja merilnika oddaljenosti. Glede na obliko karakteristike in okno 0,5 mm je pomembno, kje v karakteristiki je to merilno okno. Če upoštevamo okno od 0,0 mm do 0,5 mm, je pogrešek 11  $\mu\text{m}$ , pri oknu od 0,8 mm do 1,3 mm pa je pogrešek le 3  $\mu\text{m}$ . Ker je pogrešek lahko večji od želenega, smo se zaradi dobre ponovljivosti karakteristik odločili, da vpeljemo kompenzacijo nelinearnosti merilnika s polinomi. V prid kompenzacije govori tudi dejstvo, da je v proizvodnji zelo težko zagotoviti popolno ponovljivost vpenjanja diastatov, torej zagotavljanje merilnega območja znotraj okna z nizkim pogreškom.

Z enačbo polinoma s *slike 5* smo kompenzirali druge izmerjene merilne karakteristike, kar kaže *slika 6*. Na abscisni osi so navedene vrednosti mikrometra, na ordinatni pa

pogrešek merilnega sistema glede na referenčni mikrometer. Vpeljana kompenzacija omeji pogrešek znotraj območja 4  $\mu\text{m}$  na celotnem merilnem območju 2 mm.

#### b) Stabilnost merjenja fiksne razdalje z merilnikom Keyence PT-165

Značilno merilno karakteristiko fiksne razdalje v daljšem časovnem obdobju kaže *slika 7*. Na horizontalni osi je podan čas v urah, merjena razdalja v mikrometrih pa je na vertikalni osi. Čas merjenja je dobrih 8 ur. Karakteristika je zanimiva, ker lahko opazimo ne samo naraščanje merjene razdalje zaradi ogrevanja prostora, ampak tudi padanje. Prvotna merjena razdalja je znašala 790  $\mu\text{m}$ , nato je narasla na 810  $\mu\text{m}$ .



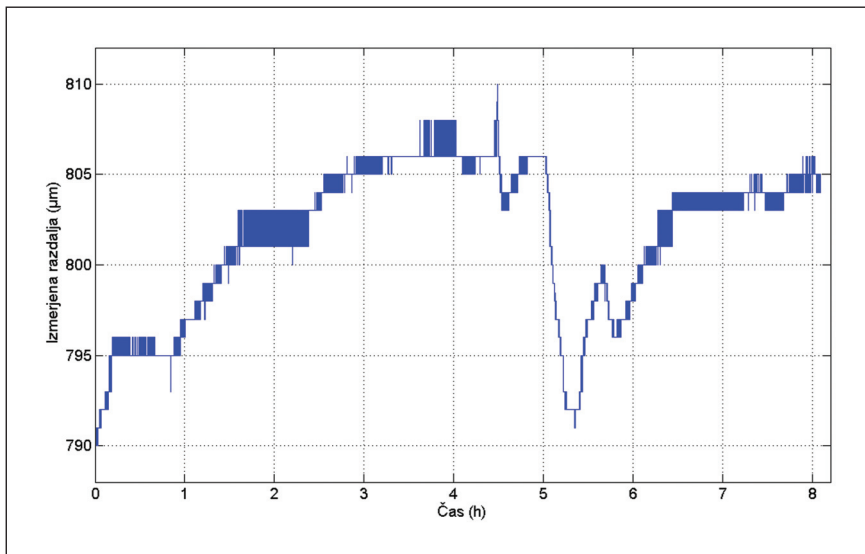
**Slika 6.** Pogrešek testnega merilnega sistema z upoštevanjem kompenzacijskega polinoma

Ta sprememba znaša 20  $\mu\text{m}$  v času nekaj ur. Vendar se je v prostoru zaradi odprtja okna temperatura zelo hitro znižala, saj so meritve potekale v zimskem času. Ker smo poznali čas začetka meritev, smo lahko tudi določili, da se je dogodek z odprtim oknom zgodil med menjavo izmene, ko so zaposleni prezračili prostor. Tako se je merjena razdalja spremenila z 806  $\mu\text{m}$  na 791  $\mu\text{m}$ .

Meritve so nazorno pokazale, da je merilni sistem temperaturno občutljiv, vendar v veliko daljših časovnih intervalih kot traja dvominutni proces polnjenja diastata. Meritve so demonstrirale možnost velikih težav zaradi odpiranja oken, kar vpliva na temperaturo polnilnih olj in še bolj utemljuje potrebo po izdelavi in vpeljavi avtomatskega merilno-regulacijskega sistema za nadzor polnjenja diastatov, ki bi meril in upošteval tudi temperaturo polnilnega olja.

## 5 Zaključek

Razvili smo brezkontaktni merilni sistem za merjenje raztezka membrane v fazi polnjenja sklopa, imenovanega diastat, s polnilnim oljem. Glavni del tega sistema je merilni del, ki je sestavljen iz brezkontaktnega merilnika razdalje Keyence PT-165, analognega krmilnika PT-A160 in mikroprocesorskega sistema za zajem in po-



**Slika 7.** Stabilnost celotnega merilnega sistema v daljšem časovnem obdobju

sredovanje izmerjenih podatkov na centralni računalnik. V osnovi je bil sistem razvit za membrane diastata s keramičnim gumbom, ki se jih v primerjavi s takimi s kovinsko ploščico izdela 3-krat več, vendar pa smo med vpeljavo sistema v proizvodnjo našli rešitev tudi za merjenje raztezka membran s kovinsko ploščico.

Vgrajeni merilni senzor je bil izbran zaradi svoje kompaktnosti in dobrih merilnih karakteristik. Obstoječe polnilne naprave so rotacijske in omogočajo polnjenje 48 diastatov naenkrat. Izkazalo se je, da merilne karakteristike izbranega merilnika skupaj z mikrokrmilniškim sistemom niso bile povsem zadovoljive, zato jih je bilo potrebno izboljšati. S kompenzacijskim polinomom smo kompenzirali nelinearnost celotnega merilnega sistema in tako zagotovili pogrešek pod 4 µm na merilnem območju 2 mm. Poleg merilne točnosti smo testirali tudi temperaturni vpliv na meritve v daljšem časovnem obdobju. Merilna točnost merilnega sistema na posamezni napravi se testira vsakih 14 dni in v primeru merjenja izven toleranc se ponovi postopek kalibracije, ki pa presega tematiko članka.

Ustreznost celotnega merilnega sistema skupaj s celotnim regulacijskim sistemom je v daljšem časovnem obdobju pokazala, da je

rešitev dobra in zato so se pokazali tudi ekonomski učinki, predvsem v obliki večje kvalitete napolnjenosti diastatov ter posledično manjšega števila reklamacij. Po oceni podjetja ETA Cerknjo sistem na letni ravni privarčuje podjetju vsaj 130.000 € zaradi povečanja kvalitete napolnjenosti diastatov.

## Literatura

- [1] K. Vacharanukul, S. Mekid, »In-process dimensional inspection sensors«, *Measurement*, Vol. 38, No. 3, 2005, pp. 204–218.
- [2] Hossein, Golnabi, »Role of laser sensor systems in automation and flexible manufacturing«, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 19, No. 1–2, 2003, pp. 201–210.
- [3] J. Rejc, J. Činkelj, M. Munih, »Dimensional measurements of a gray-iron object using a robot and a laser displacement sensor«, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 25, No. 1, 2009, pp. 155–167.
- [4] R. T. Chin, C. A. Harlow, »Automated visual inspection: A survey«, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on PAMI*, Vol. 4, No. 6, 1982, pp. 557–573.
- [5] J. Thiel, T. Pfeifer, M. Hartmann, »Interferometric measurement of absolute distances of up to 40 m«,

*Measurement*, Vol. 16, No. 1, 1995, pp. 1–6.

- [6] Z. Ji, M. Leu, »Design of optical triangulation devices«, *Optics & Laser Technology*, Vol. 21, No. 5, 1989, pp. 339–341.
- [7] R. Bapna, R. Verma, D. Joshi, »Interferometric inspection of glass shell laser targets«, *Optics & Laser Technology*, Vol. 24, No. 1, 1992, pp. 51–53.
- [8] X. Xing, M. Li, S. Ozono, J. Kato, G. Bai, W. Zheng, C. Li, »High accuracy microdimension measurement system by using laser and CCD«, *Measurement*, Vol. 5, No. 2, 1987, pp. 91–95.
- [9] T. Peffer, M. Pritoni, A. Meier, C. Aragon, D. Perry, »How people use thermostats in homes: A review«, *Building and Environment*, Vol. 46, No. 12, 2011, pp. 2529–2541.
- [10] European standard EN 60947-5-1, Low-voltage switch gear and control gear, Part 5–1: »Control circuit devices and switching elements – Electromechanical control circuit devices« (IEC 60947-5-1:2003), Chapter 4: Characteristics, 4.2.1. (2003).
- [11] European standard EN 60335-1, »Household and similar electrical appliances – Safety, Part 1: General requirements« (IEC 60335-1:2001, modified), Chapter 4: General requirements. (2001).
- [12] M. Alexik, »Tutorial 2: Precise parameter identification of dynamic systems verified by simulation experiments«, *Computer Modelling and Simulation, UKSim 13<sup>th</sup> International Conference*, pp. 28–30.
- [13] European standard EN 60825-1:2007, Edition 2, »Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements«, (2007).
- [14] M. K. Shin, H. S. Yoon, K. H. Park, »Study on comparing the signal processing of a linear ccd with a psd for displacement measurement«, *Intelligent Signal Processing and Communication Systems - ISPACS 2004, Proceedings of 2004 International Symposium*, pp. 762–766.

### Evaluation of the Contactless Distance Measuring System for Membrane Expansion

**Abstract:** The article describes how a suitable micrometer range distance sensor for diastat membrane expansion measurements during diastat oil filling was chosen. The contactless distance sensor was chosen for its dimensions that were appropriate for mounting on the existing filling rotary machines. The distance measurement is given as an analog voltage and that is why a dedicated microprocessor with dedicated software was also developed. This system samples analog voltage as input data, performs statistical calculations and transmits the data to the central computer. Comprehensive testing of the developed measuring system demonstrated that the time constant of the whole system temperature drift is much higher than the time of a single diastat filling process. The tests also showed that the output of the entire measuring system is nonlinear and for this reason nonlinearity compensation was added to the microprocessor system. The entire measuring system is part of the main control system which has significantly decreased the manufacturing costs and raised the quality of diastat filling with the special oil.

**Keywords:** membrane expansion, contactless distance measurements, non-linearity, temperature drift



Univerza v Mariboru  
Fakulteta za Strojništvo  
Laboratorij za Oljno Hidravliko



University of Maribor  
Faculty of Mechanical Engineering  
Oil Hydraulics Laboratory

M A R I B O R , 1 7 . & 1 8 . S E P T E M B E R 2 0 1 5

jubilejna mednarodna konferenca

## Fluidna Tehnika 2015

### Vabilo

Mednarodna konferenca Fluidna Tehnika 2015 je osrednji bienalni strokovni dogodek s področja hidravlike in pnevmatike v Sloveniji in JV delu Evrope. Z že 20 letno tradicijo je brez dvoma pravi barometer dogajanja na področju uporabe te tehnike pri nas in v svetu.

Poslanstvo konferenc FLUIDNA TEHNIKA je predstaviti nova spoznanja in dosežke domačih in tujih strokovnjakov, pospešiti prenos najnovejših raziskovalno-razvojnih dosežkov ter spoznanj v vsakodnevno prakso, kot tudi predstaviti nove proizvode in storitve z vseh področij tehnike, kjer sta prisotni hidravlika ali pnevmatika.

Vabimo vas, da kot avtor prispevka, kot razstavljaivec ali kot pokrovitelj konference najavite svoje sodelovanje.

Podrobnejše informacije o konferenci, tematikah, okvirnem programu in spremljajočih dogodkih, kot tudi vse informacije o načinu prijave, lahko najdete na domači spletni strani konference.

jubilee international conference

## Fluid Power 2015

### Invitation

The International Fluid Power 2015 Conference is a two day event which is, by its content, intended for all those professionally-involved with hydraulic or pneumatic power devices.

The gathering of internationally-recognised experts at this conference in Maribor has been a tradition since 1995, and is organised by the Faculty of Mechanical Engineering at the University of Maribor.

The main purpose of the conference Fluid Power is to introduce the latest achievements and results of research and development work, to offer insights into daily practice, as well as to present new products and services over a wide-range of applications.

We would like to invite you to participate as an author, exhibitor or sponsor of the conference.

Visit the conference web-site for more information.



<http://ft.fs.um.si>

