

LETNIK 04 • ŠT. 04/05

2015_{10/11}

OKTOBER/NOVEMBER

svetstrojništva

Zveza Strojnih Inženirjev Slovenije

Mechanical Engineering World

Association of Mechanical Engineers of Slovenia

PREDSTAVLJAMO:

- Dinamična omočljivost premaza
- Dispergiranje zraka
- Latentni hladilnik toplote
- 3D merjenje človeškega telesa
- 3D tiskalnik ProJet 3510 SD
- Alumni klub FS
- Piezoelektrična zrcala
- ASM 15'
- Slovenian Case Challenge 2015

ZSIS

Mednarodni uredniški odbor, International editorial board:

1. Prof. Cristina H. Amon, University of Toronto
2. Assoc. Prof. Daniel Attinger, Iowa State University
3. Assoc. Prof. Ivan Bajsić, University of Ljubljana
4. Prof. Janez Diaci, University of Ljubljana
5. Assoc. Prof. Nazanin Emami, Luleå University of Technology
6. Prof. Iztok Golobič, University of Ljubljana
7. Assist. Prof. Mirko Halilovič, University of Ljubljana
8. Assoc. Prof. Niko Herakovič, University of Ljubljana
9. Prof. Matjaž Hriberšek, University of Maribor
10. Assoc. Prof. Matija Jezeršek, University of Ljubljana
11. Prof. Mitjan Kalin, University of Ljubljana
12. Assoc. Prof. Janez Kušar, University of Ljubljana
13. Asist. Prof. Nenad Miljkovic, University of Illinois
14. Prof. Adian Morina, University of Leeds
15. Prof. Marko Nagode, University of Ljubljana
16. Prof. Greg F. Naterer, Memorial University of Newfoundland
17. Prof. Zoran Ren, University of Maribor
18. Prof. Khallil Sefiane, The University of Edinburgh
19. Assoc. Prof. Roman Šturm, University of Ljubljana
20. Prof. Bruno Trindade, University of Coimbra
21. doc. dr. Nikolaj Mole
22. doc. dr. Peter Gregorčič

KAZALO

UVODNIK

- Uvodnik oktober/november 2015 3

ZNANOST NA DLANI

- Analiza dinamične omočljivosti premaza iz polidimetilsiloksana in hidrofobizirane silike 4
- Raziskava osnovnih karakteristik pri dispergiranju zraka v industrijskem fermentorju in modelni mešalni napravi 10
- Sistem z latentnim hranilnikom toplote za ogrevanje in hlajenje prostorov 14
- 3D merjenje delov človeškega telesa na osnovi digitalnega fotoaparata in strukturiranega osvetljevanja 18

V SREDIŠČU

- 3D Tiskalnik ProJet 3510 SD – nova pridobitev na Fakulteti za strojništvo 24
- Ustanovitev Alumni kluba FS 29
- Piezoelektrična deformabilna zrcala 30

JEZIKOVNI ODTENKI

INFORMATOR

- Strokovni posvet Avtomatizacija strege in montaže 2015 – ASM'15 34
- Prvič letos se je v Sloveniji odvil Slovenian Case Challenge 2015 35

- PLIN IN PLINSKE TEHNOLOGIJE 2015 36



UVODNIK oktober/november 2015

Spoštovani,

v tokratni številki revije Svet strojništva predstavljamo razvojno raziskovalne dosežke mladih, ki si utirajo pot v domačem in mednarodnem okolju, ter s svojim znanjem in inovacijami dosegajo najvišja priznanja na tujem.

Prijetno branje vam želimo!

Uredništvo
Svet strojništva



SVET STROJNIŠTVA

Na naslovnici: "Pogled na 3D tiskalnik"

Odgovorni urednik: Iztok Golobič

Urednica: Andreja Cigale

Tehnični urednik: Žiga Zadnik

Lektoriranje: Andreja Cigale

Ime in sedež založnika: ZSIS, Karlovška cesta 3, 1000 Ljubljana

Leto izida publikacije: 2015

Leto natisa ali izdelave publikacije: letnik 04, št. 04/05

Število natisnjenih izvodov: 150

Informacije so točne v času tiska.

Preverite www.zveza-zsis.si za posodobitve.

Svet strojništva (ISSN-1855-6493), revija, je vpisana v razvid medijev, ki ga vodi Ministrstvo za kulturo RS, pod zaporedno številko 872. Revija je brezplačna za člane Zveze strojnih inženirjev Slovenije, podjetja, izobraževalne ustanove in drugo zainteresirano javnost na območju Republike Slovenije.

Objavljeni avtorski prispevki v promocijskem delu revije Svet Strojništva izražajo mnenja in stališča avtorjev in ne izražajo nujno tudi mnenja uredniškega odbora ali izdajatelja. Avtorske pravice za revijo Svet strojništva so last izdajatelja. Uporabniki lahko prenašajo in razmnožujejo vsebino zgolj v informativne namene, ob pisnem soglasju izdajatelja.

Revija Svet strojništva je dosegljiva tudi na internetni strani v elektronski obliki pod www.zveza-zsis.si/svetstrojnistva. Copyright © Svet strojništva.



Prelistajte Svet strojništva tudi na spletu:
www.zveza-zsis.si/svetstrojnistva

Povabilo k sodelovanju:
www.zveza-zsis.si/svetstrojnistva/sodelovanje

ANALIZA DINAMIČNE OMOČLJIVOSTI PREMAZA IZ POLIDIMETILSILOKSANA IN HIDROFOBIZIRANE SILIKE

WICKABILITY ANALYSIS OF THE POLYDIMETHYLSILOXANE-SILICA COATING

Mitja Avguštinčič, Kristina Redenšek, Nejc Rožman, Matevž Zupančič*, Iztok Golobič

*University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia

*Corresponding author: Matevž Zupančič

University of Ljubljana

Faculty of Mechanical Engineering

Aškerčeva 6

1000 Ljubljana

Slovenia

Tel.: +386 1 4771 309

E-mail: matevz.zupancic@fs.uni-lj.si

Kratki znanstveni prispevek / Short scientific paper

Izvleček

Pri študiju prenosa toplote med vrenjem je razumevanje dogajanja na meji med delovno tekočino in vrelni površino ključnega pomena. Dosedanje raziskave na področju mehurčastega vrenja v bazenu so že pokazale vplivnost kota omočenja na koeficient toplotne prestopnosti in kritično gostoto toplotnega toka. Kljub vsemu pa statične meritve omočljivosti ne morejo pokazati, kako hitro se lahko nek del površine omoči ter v kolikšni meri. V članku predstavljamo razvoj merilne proge za analizo hitrosti omočljivosti površin. Metoda temelji na merjenju spremembe nivoja gladine vode v kapilari kot posledico vleka kapljevine zaradi delovanja medmolekularnih sil med kapljevino in merjeno površino. Hitrotekoča kamera omogoča zajemanje slik s frekvenco 1000 Hz in ločljivostjo 15.7 μm na slikovno točko. Meritve dinamične omočljivosti smo izvedli na jeklenih vzorcih, premazanih s hidrofobnim nanosom iz polidimetilsiloksana in hidrofobizirane silike. S postopkom žarjenja pri temperaturah med 500 °C in 850 °C smo izdelali površine, ki izkazujejo različne statične kote omočenja v območju med 129.8° in <1°. Največja hitrost omočenja je bila izmerjena na superhidrofilnem vzorcu (<1°) in je znašala 7 mm s-1. S povečevanjem kota omočenja se je hitrost omočenja zmanjševala in dosegla 0 mm s-1 pri vzorcu s statičnim kotom omočenja približno 78°. Predstavljena metoda je uporabna za določanje dinamične omočljivosti hidrofilnih površin in zajema vplive površinskih mikro- in nano-struktur, oblike površine, poroznosti in permeabilnosti, ki igrajo pomembno vlogo pri prenosu toplote med vrenjem.

Ključne besede: hitrost omočljivosti; statični kot omočenja; hidrofilne površine; izboljšani prenos toplote.

Abstract

Boiling heat transfer phenomena strongly relates with interactions between the working fluid and the heated surface. Static contact angle has already demonstrated to affect the heat transfer coefficient and critical heat flux during the nucleate pool boiling. However, boiling is highly dynamic process and the contact angle alone is not an adequate measure of wickability. This article presents the development of wickability measurement system that is based on tracking the volume of water being drawn from a capillary tube and into the surface. A high-speed camera records the surface level with 1000 fps and a spatial resolution of 15.7 μm per pixel. Measurements were performed on steel samples, coated with polydimethylsiloxane-silica coating. The coated samples were first annealed at temperatures between 500 °C and 850 °C to achieve variety of static contact angles (between 129.8° and <1°) while the same surface topography and porosity was kept constant. The highest wicked volume flux (7 mm s-1) was measured on super-hydrophilic surface. By increasing the static contact angle, the wicked volume flux decreased and reached 0 mm s-1 for a surface with a static contact angle of 78°. The presented method is useful for characterization of the wickability of hydrophilic surfaces. Unlike the static contact angle, the wicked volume flux covers the effects of micro and nanostructures, shape, permeability, and porosity of the surface. All of these parameters play an important role in phase-change heat transfer.

Key words: wicked volume flux; static contact angle; hydrophilic surfaces; enhanced heat transfer

1. Uvod

Vrenje je najbolj učinkovit in hkrati tudi tehnično obvladljiv mehanizem prenosa toplote. Zaradi visokih latentnih toplot tekočin gre aplikativno uporabnost prenosa toplote s fazno spremembo iskati predvsem pri hlajenju sistemov, ki proizvedejo veliko količino toplote na enoto površine (na primer jedrske gorivne palice v nuklearnih elektrarnah [1] in integrirana vezja [2]). Kljub svojim mnogim prednostim je vrenje zelo kompleksen pojav, pri katerem se prepletajo različni mehanizmi prenosa toplote, ki so povezani z lastnostmi grelna površine, lastnostmi tekočine ter interakcijo med grelna površino in tekočino [3].

Vrenje v bazenu je v glavnem okarakterizirano s pomočjo koeficienta toplotne prestopnosti in kritične gostote toplotnega toka (CHF), pri katerem se pojavi prehod iz mehurčastega v filmsko vrenje, kar vodi v zmanjšanje toplotne prestopnosti in posledično do uničenja površine zaradi pregretja [4, 5]. Eden ključnih ciljev izboljšanja prenosa toplote pri vrenju je zakasnitev nastopa kritične gostote toplotnega toka, kar je že dokazano možno doseči z uporabo hidrofilnih ali super-hidrofilnih površin [6-8]. Te površine tvorijo v kontaktu z vodo kot omočenja manjši od 90°. Njihova povečana omočljivost pri vrenju zmanjšuje kontaktni polmer mehurčkov, povečuje vlek kapljevine proti nukleacijskim mestom in zato zmanjša možnost izsušitve površine. Nekateri modeli za napovedovanje kritične gostote toplotnega toka upoštevajo vpliv kota omočenja [9, 10]. Poleg samega kota omočenja pa na sposobnost omočenja vplivajo tudi drugi parametri, kot so na primer površinske mikro- in nano-strukture, oblika površine, poroznost in permeabilnost. Njihov medsebojni vpliv na prenos toplote pri vrenju še vedno ni dobro popisan.

V članku je predstavljena eksperimentalna proga za določanje dinamične omočljivosti površin in z njo povezane hitrosti omočljivosti. Po vzoru avtorjev Ahn, et al. [11] in Rahman, et al. [12] temelji meritev na določanju spremembe višine gladine vode v kapilari kot posledico vleka kapljevine zaradi delovanja medmolekularnih sil med kapljevino in merjeno površino. Meritve smo izvedli na različno omočljivih vzorcih, izdelanih na jeklenih folijah in prevlečenih z nanosom iz polidimetilsiloksana in pirogene silike. Zasnovana eksperimentalna proga je uporabna pri karakterizaciji dinamične omočljivosti hidrofilnih površin, ki se uporabljajo na primer pri študiju izboljšane prenosa toplote.

2. Merjenje dinamične omočljivosti

Metoda merjenja dinamične omočljivosti zajema merjenje hitrosti pretoka tekočine, ki jo površina zaradi delovanja medmolekularnih sil povleče iz tanke vertikalno orientirane kapilare. Opisano metodo so predlagali avtorji Ahn, et al. [11] pri preučevanju vpliva omočljivosti na kritično gostoto toplotnega toka pri mehurčastem vrenju na hidrofilnih površinah iz cirkonijevih zlitin. V nedavni objavi pa so Rahman, et al. [12] z eksperimenti vrenja v bazenu na različnih hidrofilnih površinah dokazali, da obstaja med kritično gostoto toplotnega toka in izmerjeno hitrostjo omočljivosti praktično linearna korelacija. Iz tega vidika je pri napovedovanju CHF bolj smiselno uporabiti hitrost omočenja oziroma tako imenovano dinamično omočljivost.

Pri meritvi dinamične omočljivosti uporabljamo plastično kapilaro z notranjim premerom 0,508 mm, ki je prevlečena s hidrofobnim premazom (tetrafluoroetilen/perfluoro vinil eter – PFA). Cevko napolnimo z vodo do višine 7–8 mm ter jo dodatno pomočimo v vodo, da se na koncu cevi ustvari prosto viseča kapljica, kot prikazuje slika 1. S pomočjo mikrometerskega vijaka se s kapilaro približamo vzorcu dokler se s kapljico ne dotaknemo površine. Po vzpostavitvi ravnatežnega premera omočenja oziroma ravnatežne omočene površine (A_w na sliki 1) se začne gladina vode v kapilari spuščati. S hitrotekočo kamero merimo spremembo gladine vode (ΔH), iz česar lahko izračunamo spremembo volumna vode (ΔV) v kapilari.

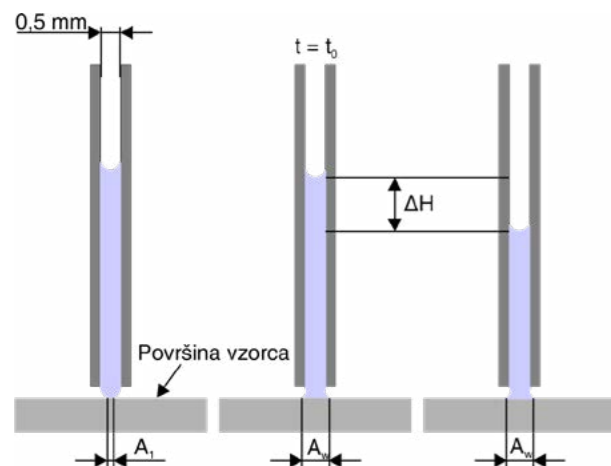
$$\Delta V = \Delta H \frac{\pi d^2}{4} \quad (1)$$

Pri tem je d notranji premer kapilare. Volumski pretok vode lahko v vsakem trenutno približno izračunamo kot razmerje med spremembo volumna vode med dvema zaporednima posnetkoma in periodo zajemanja slik (Δt). Hitrost omočenja, ki jo avtorji Rahman, et al. [12] označujejo z V_0^* , je definirana kot razmerje med začetnim volumskim pretokom vode in ravnatežno površino omočenja.

$$V_0^* = \frac{1}{A_w} \left(\frac{dV}{dt} \right)_{t=t_0} \approx \frac{1}{A_w} \left(\frac{\Delta V}{\Delta t} \right)_{t=t_0} \quad (2)$$

Pri tem predpostavljamo, da se kapljevina po površini širi v obliki krožnice. Opisano metoda združuje vplive površinskih mikro- in nano-struktur, oblike površine, poroznosti, permeabilnosti in realnega kota omočenja v en parameter, to je hitrost omočenja. Za razliko od statičnega kota omočenja nam ta parameter ne pove le

kako dobro kapljevina omoči neko površino, temveč nam da tudi informacijo o volumskem oz. masnem pretoku kapljevine kot posledice delovanja medmolekularnih sil.



Slika 1: Shematski prikaz merjenja dinamične omočljivosti.

2.1 EKSPERIMENTALNA PROGA

Za izvajanje meritev dinamične omočljivosti je bila zasnovana merilna proga (slika 2), ki omogoča natančno pomikanje vzorca vzdolž vseh treh koordinatnih osi ter pomik kapilare po z osi. Plastična kapilara (Upchurch Scientific, PFA 0.020") je bila nameščena na kovinski kapilari zunanega premera 0,5 mm, ta pa je bila preko cevke povezana z injekcijsko črpalko (Harvard Apparatus, PHD-200). Za vizualizacijo nivoja gladine v kapilari je bila uporabljena hitrotekoča kamera (IDS, uEye UI-3060CP) s frekvenco snemanja 1000 slik s⁻¹. Ločljivost določanja višine gladine je znašala 15,7 μm. Za osvetlitev so bile uporabljene tri LED (7 x CREE XM-L U2). Pri vseh meritvah dinamične omočljivosti je bila uporabljena deionizirana voda.

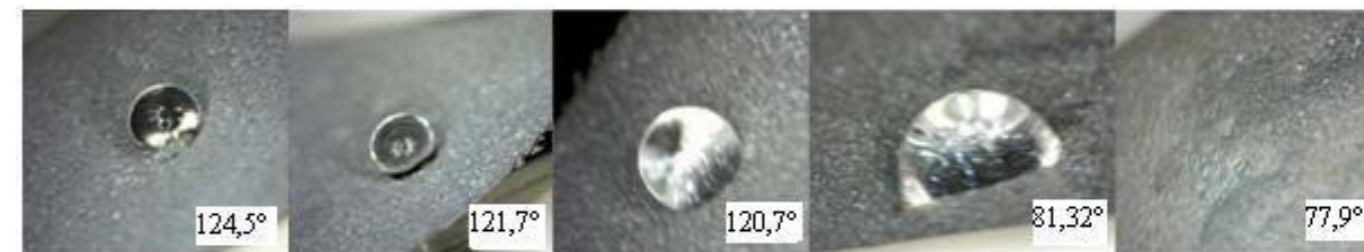
2.2 IZDELAVA POVRŠIN

Testni vzorci so bili izdelani na 25-μm debeli jekleni foliji (S316, Precision Brands) premazani z nanosom iz polidimetilsiloksana in hidrofobizirane pirogene silike. Voda izkazuje na tej površini velik statični kot omočenja (>135 °C) predvsem zaradi površinske mikro- in nano-hrapavosti ter prisotnosti polarnih metilnih skupin. Segrevanje nad 300 °C povzroči oksidacijo metilnih skupin in delno tudi nastanek silicijevega karbida, zaradi česar tak nanos iz prvotne hidrofobnosti postane hidrofilen ali celo superhidrofilen. To nam je omogočalo, da smo v tunnelski peči s pomočjo nastavljanja temperature in časa žarjenja vzorcev naredili površine z različnimi koti omočenja, kot je prikazano v Tabeli 1. Slika 3 prikazuje primere površin z različnimi koti omočenja med 124,5° in 77,9°. Podroben opis izdelave uporabljenega nanosa ter analiza površinske kemije in topografije je podano v ref. [13].

Tabela 1: Parametri žarjenja in statični kot omočenja deionizirane vode za vse vzorce.

Oznaka	Temperatura žarjenja (°C)	Čas žarjenja (min)	Statični kot omočenja1 (°)
V130	500	15	129.8
V124	500	22	124.1
V125	500	26	124.5
V122	500	35	121.7
V81	500	45	81.32
V78	500	50	77.9
V30	500	71	29.5
V22	850	55	21.5
V97	500	60	97.05
V70	500	85	70.4
V35	500	100	35
V25	500	119	25
V0	600	480	<1

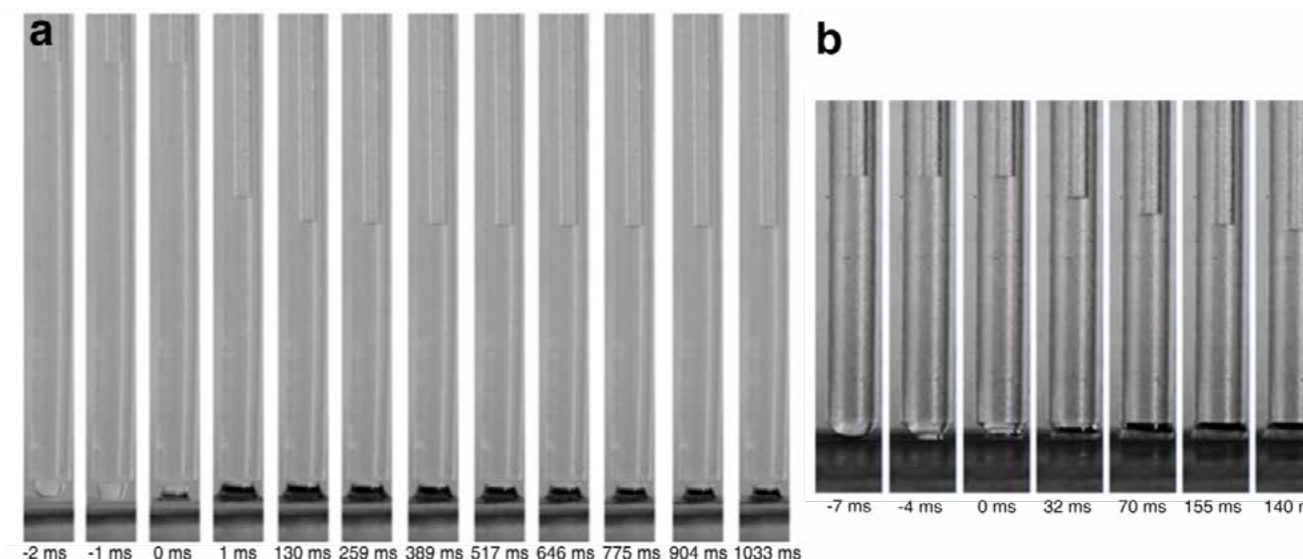
1 Statični kot omočenja je bil merjen z napravo Krüss DSA 100



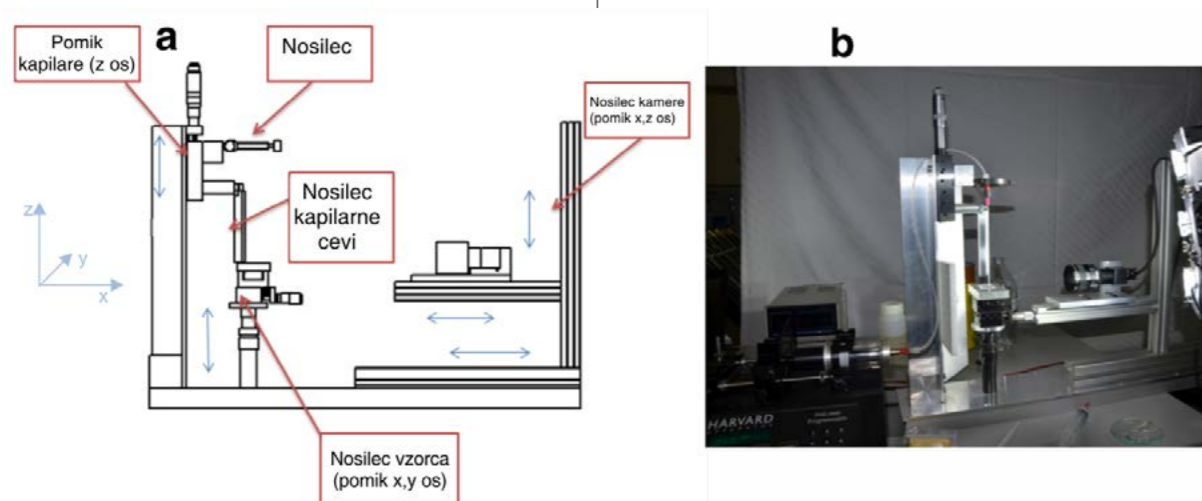
Slika 3: Različni koti omočenja žarjenih vzorcev z nanosom PDMS-silike na jeklenem substratu.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Na sliki 4 je prikazan primer posnetkov spreminjanja gladine vode v kapilari pri izvajanju meritev na vzorcih V0 in V35. Na sliki 4(a) je dobro vidno, da se v času 0 ms vzpostavi ravnotežna površina omočenja, ki se do konca meritve praktično ne spreminja. V primeru vzorca V0 je znašala velikost te površine 7.1 mm².



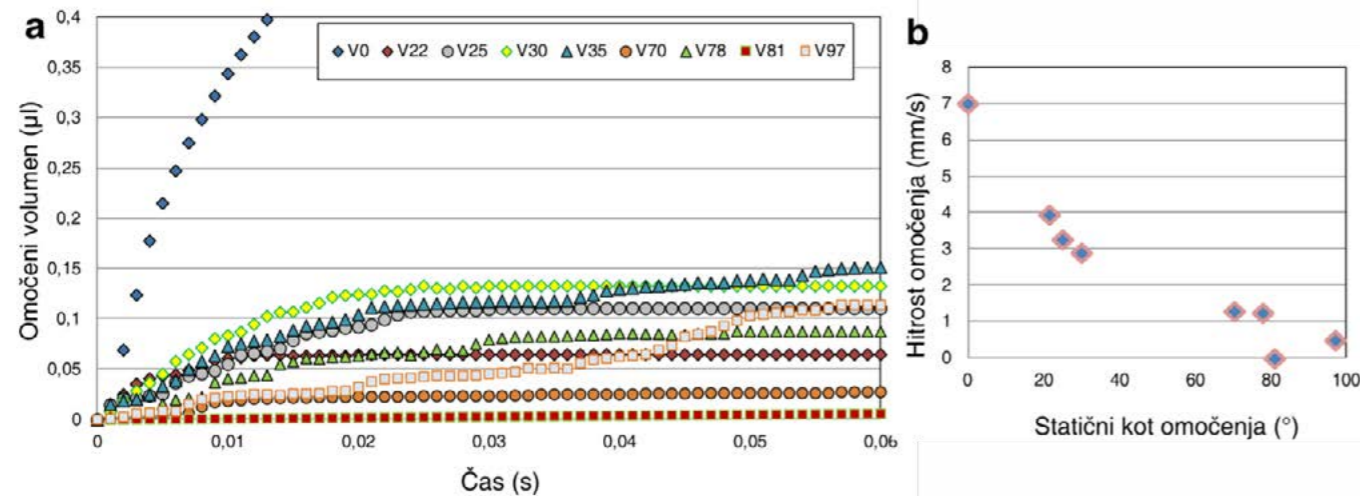
Slika 4: Spreminjanje višine gladine vode v kapilari za vzorca (a) V0 in (b) V35.



Slika 2: Eksperimentalna proga: (a) shematski prikaz in (b) fotografija dejanske postavitve.

Največji kumulativni omočeni volumen in najvišjo hitrost omočenja smo izmerili na superhidrofilnem vzorcu V0 (slika 5). V primerjavi z ostalimi vzorci ta izkazuje najmanj 2-krat višjo hitrost omočenja. S primerjavo rezultatov na sliki 5(a) lahko ugotovimo, da manjši kot omočenja površine ne pomeni nujno tudi večjega kumulativnega volumna vode, ki se razleže po površini. To lahko opazimo na primer pri vzorcu V22. Poleg napake meritve je možen razlog za tak pojav nehomogenost omočljivosti merjene površine ali pa neustrezna velikost vzorca. Pri uporabi majhne površine vzorca lahko voda omoči celotno njegovo površino, preko roba vzorca pa se ne širi več, zato od tistega trenutka dalje tudi ni več zaznati spremembe gladine v kapilari. Kljub nižjemu kumulativnemu volumnu pa vzorec V22 izkazuje višjo začetno hitrost omočenja v primerjavi z ostalimi, bolj hidrofobnimi vzorci, kar je razvidno in slike 5(b). Pri procesu vrenja je ključnega pomena hitrost ponovnega omočenja nukleacijskega mesta po odcepitvi mehurčka iz površine. Iz tega vidika je pri merjenju dinamične omočljivosti hitrost omočenja ključni merjeni parameter.

Iz slike 5(b) vidimo zmanjševanje hitrosti omočenja z večanjem statičnega kota omočenja površine. Največja hitrost omočenja znaša 7 mm s⁻¹ in je bila izmerjena na vzorcu V0, pri vzorcu V25 znaša ta hitrost le še 3.3 mm s⁻¹ in pri vzorcu V78 pade na 0 mm s⁻¹. Pri vseh vzorcih z večjim kotom omočenja od 78°, razen pri vzorcu V97, je bila hitrost omočenja ravno tako enaka 0 mm s⁻¹.



Slika 5: (a) Sprememba omočenega volumna v odvisnosti od časa in (b) hitrost omočenja v odvisnosti od statičnega kota omočenja

V nedavni objavi [12] je bilo pokazano, da je na zelo gladkih hidrofilnih površinah hitrost omočenja praktično enaka 0. Po kontaktu kapljice in površine se le-ta hitro omoči in ustvari se ravnotežna površina omočenja (A_w), zaradi pomanjkanja mikro- in nano-struktur pa ni zaznati skoraj nobenega volumskega pretoka. Izkazalo se je tudi, da za razliko od strukturiranih hidrofilnih površin, gladke površine ne izkazujejo praktično nobenega izboljšanja CHF. V splošnem torej ni za pričakovati korelacije med statičnim kotom omočenja in hitrostjo omočenja. V našem primeru pa izvajamo meritve na različno omočljivih površinah, ki pa imajo praktično enake topografske značilnosti in enako poroznost [13]. To je po našem tudi razlog za dobro korelacijo med statičnim kotom omočenja in hitrostjo omočenja.

4 Zaključek

Zasnovana je bila eksperimentalna proga za analizo dinamične omočljivosti površin, ki nam omogoča spremljanje hitrosti omočljivosti in omočenega volumna. Z uporabljenimi hitrotekočo kamero spremljamo nivo gladine v kapilari pri frekvenci zajema 1000 slik s-1 in ločljivostjo 15.7 μm na slikovno točko.

Z namenom ugotovitve odvisnosti med statičnim kotom omočenja in hitrostjo omočenja so bile izdelane površine z različnimi omočljivostmi. Jeklene folije, premazane s hidrofobnim nanosom iz polidimetilsiloksana in pirogene silike, smo žarili pri temperaturah med 500 °C in 800 °C in na podlagi različnih časov žarjenja dosegli različne omočljivosti. Statični kot omočenja vzorcev je znašal med 0 ° in 129.8 °. Največja hitrost omočenja je znašala 7 mm s-1 in je bila izmerjena na superhidrofilnem vzorcu, ki izkazuje statični kot omočenja manjši od 1 °. Z večanjem kota omočenja se je hitrost omočenja zmanjševala in dosegla 0 mm s-1 pri vzorcu s statičnim kotom omočenja približno 78 °. Dobro korelacijo med izmerjenim statičnim kotom omočenja in hitrostjo

omočenja pripisujemo dejstvu, da so imeli vzorci kljub različnim omočljivostim praktično enako poroznost in enake topografske značilnosti.

Analiza dinamične omočljivosti na podlagi merjenja hitrosti omočljivosti je glede na naše rezultate primerna metoda pri obravnavi hidrofilnih in superhidrofilnih površin. Velika prednost obravnavane merilne metode je tudi možnost določanja omočljivosti na majhnih hidrofilnih področjih, kar srečamo na primer pri tako imenovanih bifilnih površinah. Razviti merilni sistem bo možno zato v prihodnje uporabljati pri karakterizaciji hidrofilnih, superhidrofilnih in bifilnih površin.

Hitrost omočljivosti ni odvisna le od kota omočenja neke površine, temveč zajema tudi vplive površinskih mikro- in nano-struktur, oblike površine, poroznosti in permeabilnosti. Pri prenosu toplote med vrenjem so vse te značilnosti pomembne pri gibanju kapljic na vrelni površini ter vplivajo na koeficient toplotne prestopnosti in kritično gostoto toplotnega toka.

Reference

- [1] I.C. Bang, J. Buongiorno, L.-W. Hu, H. Wang, Measurement of key pool boiling parameters in nanofluids for nuclear applications, *Journal of Power and Energy Systems* 2 (2008) 340-351.
- [2] Z. Yao, Y.W. Lu, S.G. Kandlikar, Effects of nanowire height on pool boiling performance of water on silicon chips, *International Journal of Thermal Sciences* 50 (2011) 2084-2090.
- [3] I. Golobič, A.E. Bergles, Effects of heater-side factors on the saturated pool boiling critical heat flux, *Exp. Therm Fluid Sci.* 15 (1997) 43-51.
- [4] K. Ferjančič, I. Golobič, Surface effects on pool boiling CHF, *Exp. Therm Fluid Sci.* 25 (2002) 565-571.
- [5] J. Petkovsek, Y. Heng, M. Zupancic, H. Gjerkes, F. Cimerman, I. Golobic, IR thermographic investigation of nucleate pool boiling at high heat flux, *Int J Refrig* 61 (2016) 127-139.
- [6] H.S. Ahn, C. Lee, H. Kim, H. Jo, S. Kang, J. Kim, J. Shin, M.H. Kim, Pool boiling CHF enhancement by micro/nanoscale modification of zircaloy-4 surface, *Nucl. Eng. Des.* 240 (2010) 3350-3360.
- [7] C. Lee, H. Kim, H.S. Ahn, M.H. Kim, J. Kim, Micro/nanostructure evolution of zircaloy surface using anodization technique: Application to nuclear fuel cladding modification, *Appl. Surf. Sci.* 258 (2012) 8724-8731.
- [8] Y. Chen, D. Mo, H. Zhao, N. Ding, S. Lu, Pool boiling on the superhydrophilic surface with TiO₂ nanotube arrays, *Sci. China Ser. E* 52 (2009) 1596-1600.
- [9] S.G. Kandlikar, A theoretical model to predict pool boiling CHF incorporating effects of contact angle and orientation, *J. Heat Transfer* 123 (2001) 1071-1079.
- [10] N. Zuber, On the stability of boiling heat transfer, *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers* 80 (1958) 711-720.
- [11] H.S. Ahn, G. Park, J.M. Kim, J. Kim, M.H. Kim, The effect of water absorption on critical heat flux enhancement during pool boiling, *Exp. Therm Fluid Sci.* 42 (2012) 187-195.
- [12] M.M. Rahman, E. Ölçeroğlu, M. McCarthy, Role of wickability on the critical heat flux of structured superhydrophilic surfaces, *Langmuir* 30 (2014) 11225-11234.
- [13] M. Zupančič, M. Steinbücher, P. Gregorčič, I. Golobič, Enhanced pool-boiling heat transfer on laser-made hydrophobic/superhydrophilic polydimethylsiloxane-silica patterned surfaces, *Appl. Therm. Eng.* 91 (2015) 288-297.

RAZISKAVA OSNOVNIH KARAKTERISTIK PRI DISPERGIRANJU ZRAKA V INDUSTRIJSKEM FERMENTORJU IN MODELNI MEŠALNI NAPRAVI

RESEARCH OF THE BASIC CHARACTERISTICS BY AIR DISPERSING IN AN INDUSTRIAL FERMENTOR AND IN A PILOT-SCALE MIXING DEVICE

Matej Vidic^a, Andrej Bombač^{a*}

^a Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

* korespondenčni avtor: Andrej Bombač
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
Slovenija

Tel.: +386 1 4771 406

E-pošta: andrej.bombac@fs.uni-lj.si

Kratki znanstveni prispevek / Short scientific paper

Izvleček

Izvedli smo analizo delovanja industrijskega fermentorja z vidika osnovnih karakteristik pri mešanju in dispergiranju zraka v kapljevino. Nato smo v Laboratoriju za dinamiko fluidov in termodinamiko postavili geometrijsko podobno modelno napravo, ponovili serijo meritev in rezultate med seboj primerjali. V drugi fazi meritev smo izvedli rekonstrukcijo večstopenjskega mešala in primerjali izmerjene vrednosti s trenutno nameščeno konfiguracijo mešal.

Ključne besede: industrijski fermentor, poplavno stanje, delež plinaste faze, čas pomešanja, karakteristika moči, večstopenjska mešala

1 Uvod

Proces fermentacije v vitkem reaktorju običajno poteka pri aeraciji fermentacijske brozge z uporabo (večstopenjskega) mešala [2,5], ki je ključnega pomena za optimalno izvedbo procesa. Vsiljeno mešanje pogojuje namreč osnovne karakteristike kot so moč mešanja, čas pomešanja ter delež plinaste faze [1,3]. V obravnavanem industrijskem fermentorju prihaja pri določenih režimih obratovanja do izrazito nehomogene porazdelitve plinaste faze, kar imenujemo poplavno stanje [6,7,8], zato je bilo potrebno izvesti temeljito analizo delovanja mešala in podati ustrezne rešitve.

Abstract

We carried out an analysis of the functioning of an industrial fermenter in terms of the basic characteristics during the process of mixing and dispersion of the air into the liquid. In the Laboratory of Fluid Dynamics and Thermodynamics we later on made a model device, repeated a series of measurements and compared the obtained results with each other. In the second phase we performed a reconstruction of a multi-stage impeller, and we made a comparison between the measured values and the currently installed configuration of impellers.

Key words: industrial fermenter, flooding, pilot scale mixer, mixing power, gas hold up, mixing time, power number, multi stage impeller

2 Metode merjenja

Na obstoječem industrijskem fermentorju, v katerem je prihajalo pri določenih režimih obratovanja do anomalij pri dispergiranju zraka, so bile izvedene številne meritve, kot npr:

- merjenje moči mešanja v kapljevini – vodi,
- merjenje moči mešanja pri dispergiranju zraka v vodo,
- meritve deleža plinaste faze v vodi in
- čas pomešanja

in predstavljajo nekatere osnovne karakteristike delovanja obstoječe industrijske naprave. Večstopenjsko mešalo je bilo sestavljeno iz modificiranega Rushtonovega mešala (HiT) in treh aksialnih mešal tipa Intermig.

Meritve moči smo na industrijskem fermentorju merili s frekvenčnim pretvornikom. Moč mešanja pri posameznem parametru smo določili s povprečno vrednostjo, ki smo jo izračunali na podlagi odčitanih vrednosti. Porast gladine vode zaradi vnosa zraka smo merili z ultrazvočnim merilnikom razdalje. Količino zraka v vodi smo izrazili z globalnim deležem plinaste faze, ki smo ga izračunali z enačbo 1 [1].

$$\alpha = \frac{H_g - H}{H_g} \cdot 100 \quad (1)$$

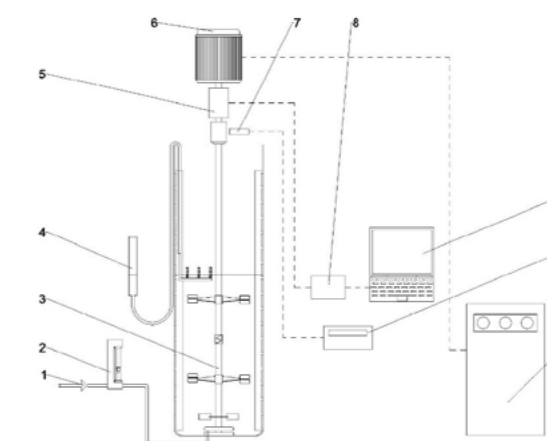
Pri analizi moči mešanja smo upoštevali vse disipacije moči zaradi trenja v reduktorju in ležajih, pretok zraka smo izrazili pri standardnih normnih pogojih. Za namen izračuna časa pomešanja smo opravljali meritve po metodi motnja/odziv, kjer smo merili časovni potek pH vrednosti na izbranih lokacijah. Pri tem je motnja predstavljala baza oziroma kislina, ki je ob ulitju privedla do nenadne spremembe pH vrednosti. Čas pomešanja je določen s časom od zaznane spremembe pH vrednosti pa do časa, ko se le-ta ustali.

V LFDT smo postavili pomanjšano laboratorijsko napravo z ustrezno pomanjšanim večstopenjskim mešalom, na kateri smo po metodi pomanjšanja (scale-down) ponovili ekvivalentno serijo meritev. Geometrijske parametre modelne naprave smo preračunali glede na geometrijsko podobnost, procesne parametre pa iz brez-dimenzijskih števil; vrtilno frekvenco iz Froudovega števila (Fr) in pretok

zraka iz pretočnega števila (F). Ker se temperatura in tlak okolice na izstopu iz rotametra razlikujeta od tovarniških pogojev, smo odčitani pretok zraka preračunali na normne pogoje po enačbi (2), ki jo podaja proizvajalec rotametrov.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \sqrt{\frac{p_1 \cdot T_1}{p_2 \cdot T_2}} \quad (2)$$

Pri meritvah časa pomešanja je bila uporabljena vrela voda kot motnja, ustrezen odziv pa sprememba temperature, ki smo jo merili na točno predpisanih mestih. Merilno shemo podrobneje predstavlja slika 1.



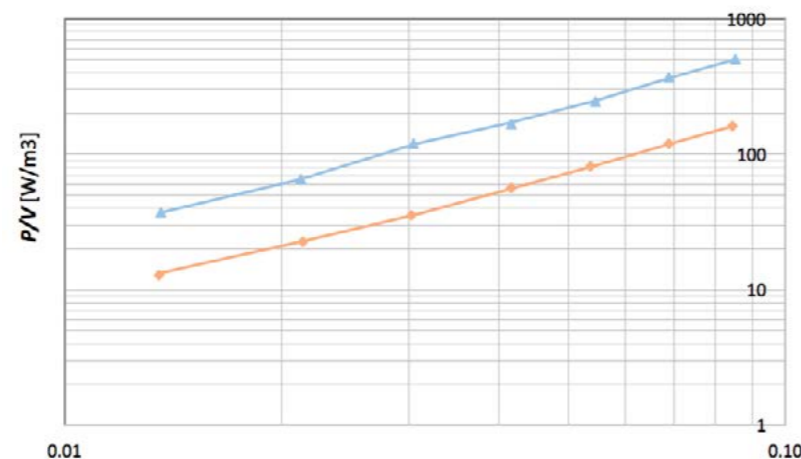
Slika 1: Shema merilne proge, pri čemer pomenijo: 1 – dovod komprimiranega zraka, 2 – rotameter, 3 – sklop mešal, 4 – sistem z U cevjo za merjenje višine gladine vode, 5 – dinamometer, 6 – elektromotor, 7 – merilnik vrtilne frekvence, 8 – merilna kartica, 9 – osebni računalnik, 10 – prikazovalnik vrtilne frekvence, 11 – frekvenčni regulator

3 Rezultati

Cilj primerjave rezultatov z industrijskega fermentorja in modelne naprave je bil dobiti medsebojno podobnost tokovnih struktur, ki bi jih lahko podali z ustrezno korelacijo karakteristik, kot npr. specifična moč pri mešanju kapljevine, slika 2.

Cilj je bil delno dosežen pri mešanju kapljevine, medtem ko se pri dispergiranju plina zaradi prisotnosti poplavnega stanja v obeh napravah tokovna režima preveč razlikujeta, da bi z dobljenimi korelacijami podali zaupanja vredno napoved.

Slika 2: Razmerje moči na enoto volumna v odvisnosti od Froudovega števila pri mešanju kapljevine z industrijskim (trikotnik) in modelnim mešalom (karo)



4 Rekonstrukcija mešala

Ker se poplavnemu stanju nismo v celoti uspeli izogniti, smo bili primorani izvesti rekonstrukcijo večstopenjskega mešala. Posamezna mešala smo izbrali glede na izkušnje LFDT in vire iz literature [3,4,5,6]. Tako smo izvedli analizo naslednjih mešal, ki so prikazani na sliki 3:

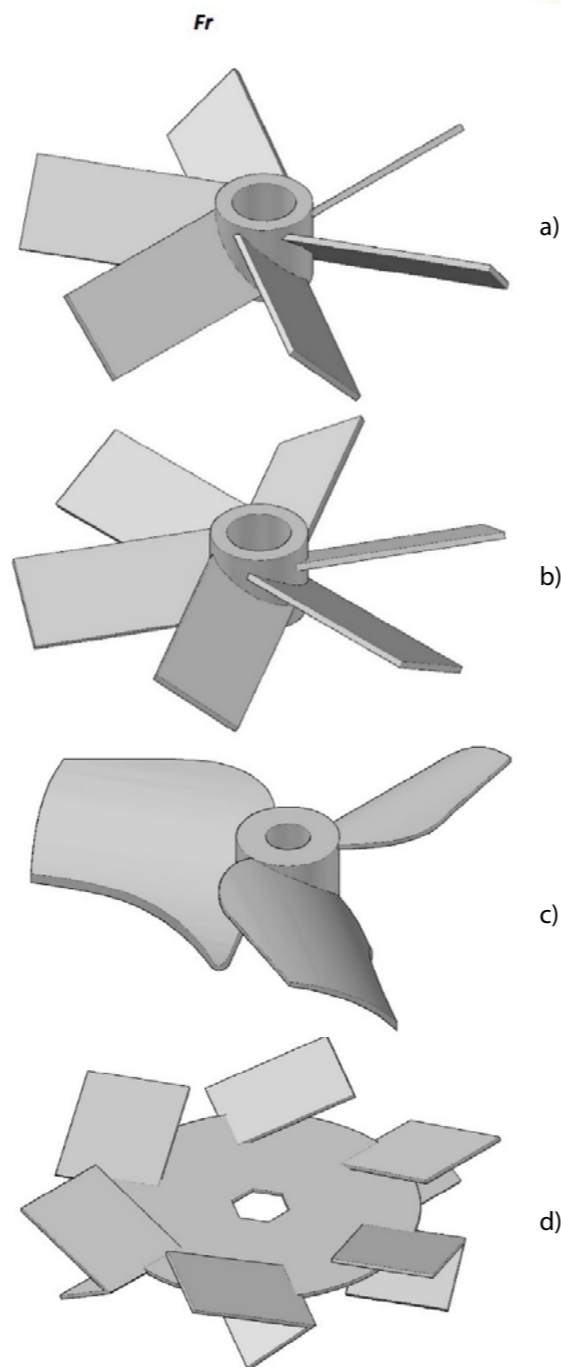
- turbinskega aksialnega mešala s šestimi nagnjenimi lopaticami pod kotom 30° - 6PBT45,
- turbinskega aksialnega mešala s šestimi nagnjenimi lopaticami pod kotom 30° - 6PBT30,
- aksialnega lopatičnega mešala - 3SHP1,
- radialnega diskastega mešala z asimetrično zapognjenimi lopaticami - ABT.

Za kvalitetnejše dispergiranje je bilo nujno tudi povečati vrtilno frekvenco mešal, ki smo jih določili glede na predhodnje izkušnje LFDT [7] in glede na zmožnosti industrijskega fermentorja. S tem omogočimo večji delež dispergiranega zraka v vodi in se z večjo gotovostjo izognemo poplavnemu stanju.

Meritve s posameznimi mešali smo izvedli pri 0,4 in 0,5 premera modelne mešale posode. Analiza posameznih mešal je obsegala merjenje moči mešanja v kapljevini, s čimer smo mešalu določili karakteristiko moči, ki jo opisuje brezdimenzijsko Newtonovo število.

Pri dispergiranju zraka v vodo smo za posamezno mešalo iskali mejo poplavnega stanja, ki smo jo določali na podlagi razmerja moči in globalnega deleža plinaste faze, slika 4. Tako smo za posamezno vrtilno frekvenco določili največji možen pretok zraka, ki ga je mešalo še sposobno dispergirati v vodo. Glede na dobljene karakteristike posameznih mešal smo sestavili novo tristopenjsko mešalo, sestavljajo iz ABT

Slika 3: Analizirana mešala: (a) 6PBT45, (b) 6PBT30, (c) 3SHP1, (d) ABT



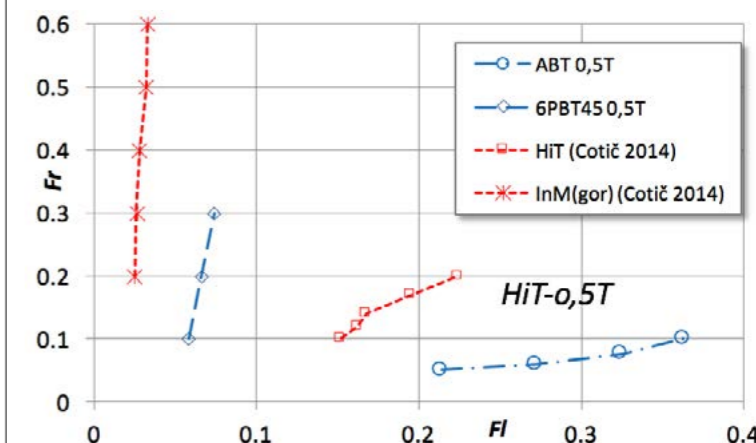
mešala, mešala 6PBT45 in mešala 3SHP1. Ugotovili smo, da dosežemo z novo konfiguracijo mešal (i) manjšo moč mešanja v vodi, (ii) pri dispergiranju zraka v vodo manjšo zamnjanje moči, ki je potrebno za vzdrževanje cirkulacije ter (iii) večji delež plinaste faze v vodi. Da je tri-stopenjsko mešalo za mešanje v vodi bolj primerno, so potrdili tudi rezultati časa pomešanja, ki so bili v primerjavi s predhodnim štiri-stopenjskim mešalom bistveno krajši.

6 Zaključki

Ugotovili smo, da s štiri-stopenjskim mešalom v industrijskem fermentorju v določenih hidrodinamskih režimih ne dosegamo zadovoljivega dispergiranja plinaste faze. Zaradi tega smo bili primorani izvesti rekonstrukcijo mešala (nova konfiguracija tri-stopenjskega mešala) in podati nove procesne parametre obratovanja fermentorja. Te smo smiselno določili glede na predhodne izkušnje LFDT in analizirane vrednosti meritev tako na industrijski kot na modelni mešalni naprave ter virov iz literature. Z novim tri-stopenjskim mešalom smo dosegli izrazito izboljšanje karakteristik. Zaradi tega lahko trdimo, da je nova konfiguracija tri-stopenjskega mešala primernejša od predhodne štiri-stopenjske izvedbe mešala. V prihodnje nameravamo izvesti meritve z novim tri-stopenjskim mešalom še v kompleksnejši ne-Newtonski tekočini, ki je kot delovna tekočina najbolj podobna lastnostim predvidene fermentacijske brozge.

Oznake

H – višina gladine vode v mešalni posodi [m],
 H_g – višina gladine vode pri vnosu zraka v kapljevino [m],
 Q_1 – odčitani pretok zraka [m^3/s],
 Q_2 – korigiran pretok zraka [m^3/s],
 p_1 – tlak okolice pri kalibrirani vrednosti proizvajalca [Pa],
 p_2 – dejanski tlak okolice [Pa],
 T_1 – temperatura zraka pri kalibrirani vrednosti proizvajalca [$^\circ C$],
 T_2 – dejanska temperatura zraka [$^\circ C$].



Slika 4: Meje poplavnega stanja posameznih mešal

Literatura

- [1] K.M. Gezork, W. Bujalski, M. Cooke, A.W. Nienow, Mass Transfer and Hold-up Characteristics in a Gassed, Stirred Vessel at Intensified Operating Conditions, Chemical Engineering Research & Design 79 (2001) 965-972
- [2] S.T. You, A.A.A. Raman, R. Shah, M. Nor: Multiple-impeller stirred vessel studies; Reviews in Chemical Engineering 30 (2014) 323-336
- [3] T. Moucha, V. Linek, E. Prokopova, Gas hold-up, mixing time and gas-liquid mass transfer coefficient of various multiple impeller configurations: Rushton turbine, Pitched blade and Techmix impeller and their combinations, Chemical Engineering Science 58 (2003) 1839-1846
- [4] M. M. C. G Warmoeskerken, Gas-liquid dispersing characteristics of turbine agitators, PhD thesis, Delft University, Delft, 1986.
- [5] P. Vrabel, R.G.J.M. van der Lans, K.C.A.M. Luyben, L. Boon, A.W. Nienow, Mixing in large-scale vessels stirred with multiple radial or radial and axial up-pumping impellers: modelling and measurements, Chemical Engineering Science 55 (2000) 5881-5896.
- [6] A. Bombač, Diskasto mešalo z asimetričnimi lopaticami, v: KRAVANJA, Zdravko (ur.), BRODNJAK-VONČINA, Darinka (ur.), BOGATAJ, Miloš (ur.). Slovenski kemijski dnevi 2013, pp. 1-8.
- [7] A. Bombač, I. Žun: Flooding-Recognition Methods in a Turbine-Stirred Vessel; Strojniški vestnik 48 (2002) 663-676.
- [8] A. Bombač, I. Žun, Individual impeller flooding in aerated vessel stirred by multiple-Rushton turbines, The chemical engineering journal, 116/2 (2006) 85-95.

SISTEM Z LATENTNIM HRANILNIKOM TOPLOTE ZA OGREVANJE IN HLAJENJE PROSTOROV

Eneja Osterman^a, Vincenc Butala^a, Uroš Stritih^{a*}

^aUniverza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

* korespondenčni avtor: Uroš Stritih
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
Slovenija

Kratki znanstveni prispevek / Short scientific paper

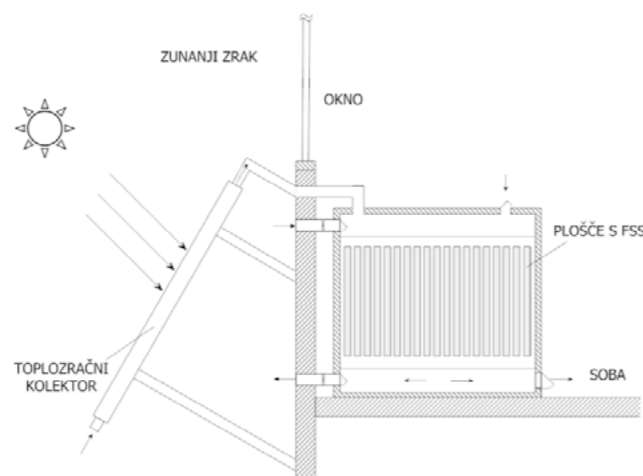
Izvleček

V tem članku analiziramo prenos toplote v latentnem hranilniku toplote (LHT), primernemu za aktivno naravno ogrevanje in hlajenje prostorov v stavbah. Zasnovali in izdelali smo prototipni latentni hranilnik toplote s ploščami, napolnjenimi s fazno spremenljivo snovjo (FSS), in sicer je bil to parafin RT22HC kot medij za prenos toplote/hladu pa je bil uporabljen zrak. Z eksperimentalnimi rezultati smo validirali numerični model in z njim izvedli analizo delovanja LHT na letni ravni. Ugotovili smo, da je za Ljubljano najprimernejša temperatura tališča za zimo ter poletje enaka (t.j. 20.5 °C), najprimernejši volumski pretok zraka 125 m³/h in najboljše geometrije z debelino plošče 12,5 mm in zračnim kanalom 25 mm. Na letni ravni lahko s takšno izbiro parametrov zmanjšamo rabo energije v prostoru za 187 kWh.

Ključne besede: aktivno naravno ogrevanje in hlajenje, fazno spremenljive snovi, shranjevanje toplote, parametrična analiza

1 Uvod

V direktivi Evropske Unije (Direktiva o energetski učinkovitosti stavb 2002/91/ES in prenova direktive 2010/31/UE [1]) je navedeno, da naj bi imele nove stavbe nizek učinek na okolje in da je potrebno za praktično uporabo izbrati alternativne rešitve za ogrevanje ter hlajenje. Ena od možnosti za energijske prihranke je aktivno naravno hlajenje stavb (angl. free cooling), pri katerem se hlad iz zraka v nočnem času shrani v fazno spremenljivi snovi (FSS) v obliki latentne toplote, sprosti pa se podnevi naslednji dan, ko se pojavi potreba po hlajenju (slika 1) [2]. V zimskem času lahko takšen latentni hranilnik toplote (LHT) uporabimo tudi za naravno aktivno ogrevanje, kjer toploto iz sprejemnikov sončne energije (SSE) akumuliramo in jo tako dovajamo v prostor, ko ni več toplotnih dobitkov na račun sonca. Problem v izkoriščanju naravnih pogojev je v majhnih temperaturnih razlikah zraka med dnevom in nočjo (primer hlajenja), čemur pa se izognemo ravno z uporabo FSS. Te snovi imajo veliko gostoto shranjene energije v majhnem temperaturnem območju, zaradi česar je možno načrtovati kompaktne enote in na tak način umiriti in časovno prerezporediti velika nihanja zunanje temperature.



Slika 1: Princip prostega hlajenja v povezavi s sprejemnikom sončne energije

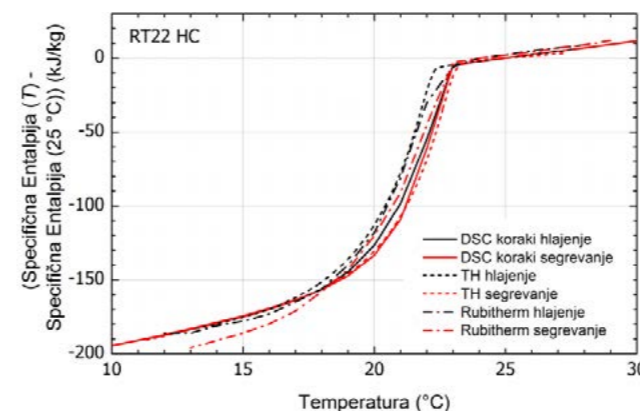
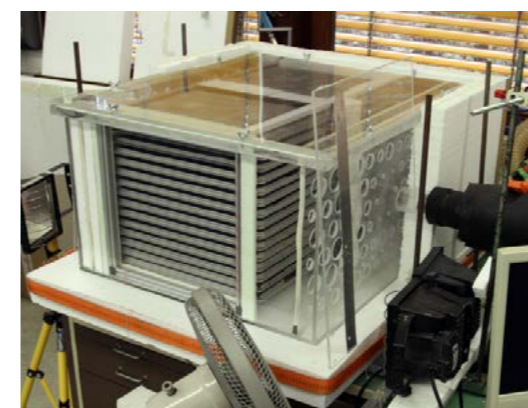
Latentni hranilniki toplote s ploščami so že bili predmet različnih raziskav [3-5], ki pa so se večinoma osredotočale samo na hlajenje ali pa samo na ogrevanje, v literaturi ni možno zaslediti primera, kjer bi bil LHT s ploščami namenjen uporabi preko celega leta. Namen raziskave je zasnovati in izdelati LHT, preveriti, če bi ga bilo možno uporabiti za shranjevanje toplote ter hladu in ovrednoti njegovo delovanje na letnem nivoju. Vprašanje je tudi, kakšen set parametrov je treba izbrati (npr. volumski pretok zraka skozi LHT, razmik med ploščami...), da bodo energijskih prihranki takšnega LHT največji.

2 Metode

2.1 EKSPERIMENTALNO TESTIRANJE

Za validacijo numeričnega modela smo izdelali LHT, postavili eksperimentalno progo in določili snovne lastnosti izbrane FSS.

Ohišje LHT je bilo narejeno iz 8 mm debelih polimetilmetakrilatnih (PMMA) plošč z zunanji merami 0,77 m x 0,67 m x 0,42 m, z zunanje strani pa je bil LHT toplotno izoliran z 8 cm ekspandiranega polistirena (EPS) (slika 2a). Znotraj LHT je bilo 15 ali 30 plošč (odvisno od



Slika 2: (a) LHT z delno odkrito toplotno izolacijo, (b) Entalpijske krivulje za parafin RT22HC.

primera), ki so bile napolnjene s parafinom RT22HC. Temperaturo tališča in latentno toploto smo določili s pomočjo diferenčne dinamične kalorimetrije (angl. DSC) in metode temperaturnega spremljanja (angl. T-history). Temperatura tališča je bila med 22 in 23 °C, latentna toplota v območju od 15 do 25 °C pa 181 kJkg⁻¹K⁻¹ (slika 2b), zunanje dimenzije plošč so bile 0,30 m x 0,45 m x 0,015 m.

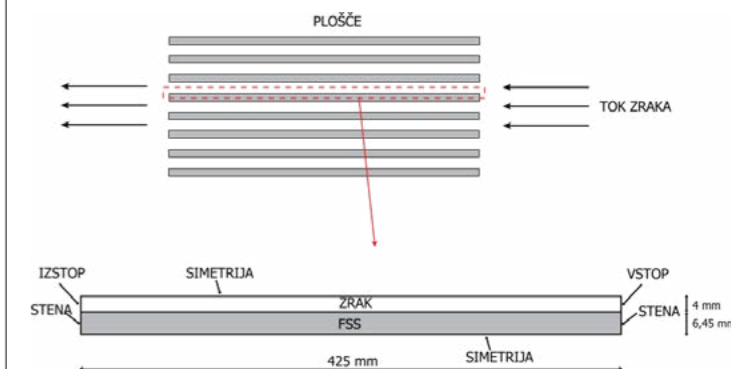
Zrak smo zajemali na zunanji strani stavbe in ga vodili skozi LHT. S pomočjo termoparov smo merili temperaturo na vstopu in izstopu iz LHT in tako spremljali toplotni odziv LHT na koračno spremembo temperature na vstopu, ki smo jo uporabili za validacijo numeričnega modela. Podrobnejši opis eksperimenta in rezultate je mogoče najti v [6].

2.2 NUMERIČNI MODEL

Toplota, ki jo odda ali sprejme FSS, prispeva k spremembi notranje energije zraka. Iz energijske bilance (En. 1) vidimo, da je temperatura zraka na izstopu iz LHT odvisna od toplotnega toka v oz. iz FSS.

$$P_{LHT} = \frac{dQ_{PCM}}{dt} = q_{m,a} \cdot h_{a,out} - h_{a,in} \quad (1)$$

kjer PLHT predstavlja toplotno moč LHT, QPCM shranjeno toploto v FSS, t čas, q_{m,a} masni pretok zraka, h_{a,out} in h_{a,in} entalpija zraka na izstopu in vstopu. Prenos toplote je nestacionaren. Če torej želimo določiti toplotni tok v oz. iz FSS, moramo poznati hitrostno in temperaturno polje na zračni strani in temperaturno polje v FSS, kar naredimo s pomočjo računalniške dinamike tekočin (RDT) oz. s programskim paketom Fluent za geometrijo na Sl. 3. S takšnim numeričnim modelom lahko simuliramo odziv LHT na koračno funkcijo in s tem tudi proces strjevanja/taljenja. Model je bolj podrobno predstavljen v [7].

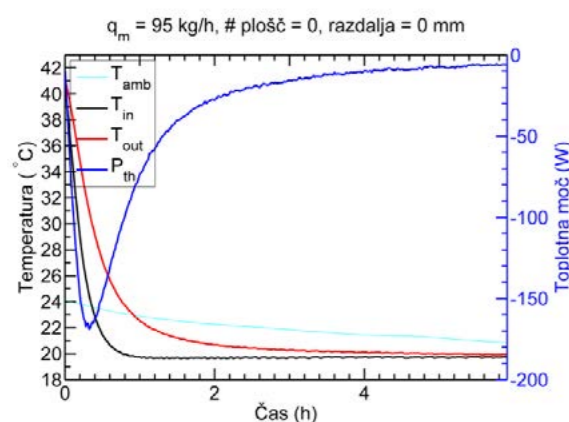


Slika 3: Skica geometrije uporabljene pri izračunih.

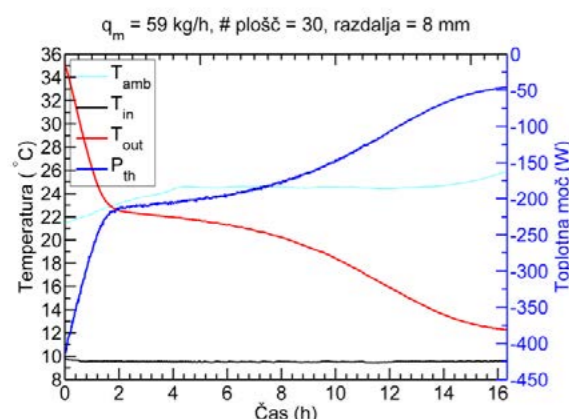
3 Rezultati in diskusija

3.1 TOPLOTNI ODZIV LHT

Na sliki 4 sta prikazana izmerjena toplotna odziva LHT za primera brez (a) oz. s ploščami (b). Merjene količine so: vstopna T_{in} in izstopna T_{out} temperatura zraka, temperatura okolice T_{amb} , volumski pretok zraka q_v , med tem ko je toplotna moč P prikazana na desni ordinati. V primeru brez plošč imamo opravka s toplotnim odzivom prvega reda, v primeru s ploščami pa latentni del shranjene energije spremeni potek izstopne temperature zraka. To je razvidno s slike 4b za primer strjevanja, kjer se pri 22,5 °C temperatura skoraj ustali, saj pride do fazne spremembe. V tem področju se temperatura počasi znižuje, ko pa snov zopet preide v senzibilno področje, je gradient temperature zopet večji. Eksperimentalno dobljene toplotne odzive LHT smo primerjali z rezultati simulacij (rezultati so predstavljeni v [7]) in potrdili ustreznost našega modela.

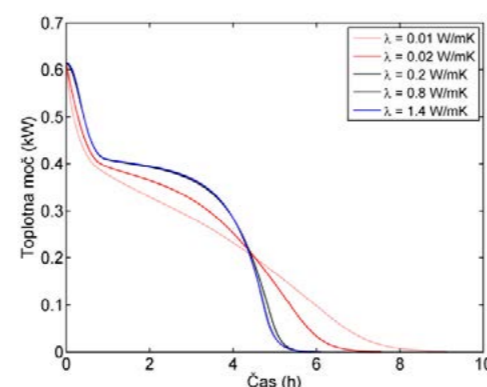


Slika 4: Potek toplotne moči za različne toplotne prevodnosti FSS.



3.2 PARAMETRIČNA ANALIZA ENKRATNEGA STRJEVANJA/TALJENJA

Validirani model smo uporabili v parametrični analizi, kjer smo spreminjali različne parametre in zasledovali njihov vpliv na toplotni odziv LHT. S tem smo izsledili geometrijske in snovne parametre ter robne pogoje, ki dejansko vplivajo na hidravlične razmere ter toplotni odziv LHT in so tako pomembni pri vrednotenju modela na letnem nivoju. Kot glavna vplivna parametra smo prepoznali volumski pretok zraka in temperaturo tališča FSS. Presenetljivo je imela toplotna prevodnost FSS za takšen sistem, kjer je kot nosilec toplote uporabljen zrak in za izbrane volumske pretoke, zanemarljiv vpliv v območju predvidene toplotne prevodnosti za FSS, t.j. 0,2 W/mK (slika 5). Enako smo zaključili za ohišje plošč.



3.3 PARAMETRIČNA ANALIZA NA LETNEM NIVOJU

Z validiranim numeričnim modelom lahko izvedemo analizo na letni ravni. Pod določenimi časovnimi in temperaturnimi pogoji hranilnik shranjuje ali oddaja toploto/hlad. S poznavanjem temperatur zraka na vstopu in izstopu iz LHT ter volumskih pretokov zraka lahko določimo shranjeno toploto/hlad in iz tega izračunamo energijske prihranke. Če takšen izračun naredimo za različne sete parametrov, lahko najdemo najboljšo različico.

Analizo smo izvedli za vremenske podatke za Ljubljano, in sicer za različne volumske pretoke zraka skozi LHT (75 m³/h, 100 m³/h, 125 m³/h, 150 m³/h), temperature tališča FSS (premik temperature tališča od originalne 22,5 °C za -4 K, -2 K, 0 K, 2 K), debeline plošč (5,0 mm, 7,5 mm, 10,0 mm, 12,5 mm, 15,0 mm) in širine zračnih

kanalov (2,5 mm, 5,0 mm, 7,5 mm, 10,0 mm). Iz tabele 1 vidimo, da je za letno delovanje LHT in vremenske pogoje v Ljubljani najboljši naslednji set parametrov: geometrija 125_25 (širina plošč 12,5 mm in razdalja med ploščami 2,5 mm), $q_v = 100$ m³/h, $T_{m,shift} = -2$ K (opredeljena s temperaturo vrha navidezne specifične toplote). Za slednjo smo na začetku raziskave predvidevali, da bo za ogrevanje višja, kot če bi bil LHT namenjen samo hlajenju, toda izkaže se, da je najbolj primerna temperatura tališča z vrhom pri 20,5 °C. To je posledica načina obratovanja, saj je pozimi sprejemljiva katera koli temperatura vtoka zraka v prostor, le da je večja od temperature okolice. Enaka temperatura tališča pomeni tudi, da bi bil za zimo in poletje dovolj en set plošč (t.j. z eno FSS). Letni energijski prihranek za najboljši set parametrov je 189 kWh, podobno velja za ostale geometrije z enakimi: zračnim kanalom (2,5 mm), pretokom zraka in temperaturo tališča. V dejanski aplikaciji bi se verjetno odločili za geometrijo 150_25, saj bi to pomenilo manj plošč in nižjo končno ceno LHT.

Tabel 1: Prihranki energije za različne sete parametrov na letnem nivoju

Geometrija	Premik tališča $T_{m,shift}$ (°C)	Volumski pretok zraka q_v (m ³ /h)	Prihranek energije (kWh)
125_25	-2	100	189
150_25	-2	100	189
100_25	-2	100	188
75_25	-2	100	185
125_50	-2	100	177
50_25	-2	100	176
100_50	-2	100	176
75_50	-2	100	171

4 Zaključki

Zasnovali in izdelali smo prototipni latentni hranilnik toplote s ploščami napolnjenimi s fazno spremenljivo snovjo (FSS). Le-to smo izbrali na podlagi njenih toplotnih lastnosti in tržne dosegljivosti. Izbrana snov je bil tako parafin RT22HC, kot nosilec toplote/hladu pa zrak. Z razvitim numeričnim modelom smo izvedli parametrično analizo na letni ravni, kar do sedaj še ni bilo možno zaslediti v literaturi.

Na osnovi opravljenih simulacij toplotnega odziva LHT v obdobju poletnega hlajenja in

zimskega ogrevanja stavb smo za Ljubljano določili set parametrov, pri katerih so energijski prihranki na letni ravni največji. Izkazalo se je, da so najprimernejši: geometrija 125_25, FSS s temperaturo tališča 20,5 °C in volumski pretok zraka 100 m³/h. Kljub temu da je LHT namenjen letnemu delovanju, lahko za ogrevanje in hlajenje uporabimo isto temperaturo tališča in s tem isto FSS.

Literatura

- [1] EU. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union, 2010.
- [2] E. Osterman, V. Tyagi, V. Butala, N. Rahim, U. Stritih, Review of PCM based cooling technologies for buildings, *Energ Buildings*, 49 (2012) 37-49.
- [3] P. Charvát, L. Klimeš, M. Ostrý, Numerical and experimental investigation of a PCM-based thermal storage unit for solar air systems, *Energ Buildings*, 68 (2014) 488-497.
- [4] E. Halawa, W. Saman, Thermal performance analysis of a phase change thermal storage unit for space heating, *Renew Energ*, 36 (2011) 259-264.
- [5] A. Waqas, S. Kumar, Thermal performance of latent heat storage for free cooling of buildings in a dry and hot climate: An experimental study, *Energ Buildings*, 43 (2011) 2621-2630.
- [6] E. Osterman, K. Hagel, C. Rathgeber, V. Butala, U. Stritih, Parametrical analysis of latent heat and cold storage for heating and cooling of rooms, *Appl Therm Eng*, 84 (2015) 138-149.
- [7] E. Osterman, V. Butala, U. Stritih, PCM thermal storage system for 'free' heating and cooling of buildings, *Energ Buildings*, 106 (2015) 125-133.

3D MERJENJE DELOV ČLOVEŠKEGA TELESA NA OSNOVI DIGITALNEGA FOTOAPARATA IN STRUKTURIRANEGA OSVETLJEVANJA

3D MEASURING OF HUMAN BODY PARTS BASED ON DIGITAL PHOTO CAMERA AND STRUCTURED ILLUMINATION

Urban Pavlovčič*, Janez Diaci, Janez Možina, Matija Jezeršek

^a Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

* korespondenčni avtor: Urban Pavlovčič
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
Slovenija

Tel.: +386 1 4771 244

E-pošta: urban.pavlovic@fs.uni-lj.si

Kratki znanstveni prispevek / Short scientific paper

Izveček

Predstavljena je družina ročnih 3D merilnikov, namenjenih merjenju oblike in barve delov človeškega telesa. Merilniki temeljijo na triangulacijskem principu z večlinijskim osvetljevanjem. Sestavljeni so iz digitalnega fotoaparata z dodanim projekcijskim sistemom. Kot svetlobni vir je uporabljena vgrajena bliskavica sistema. Obliko in barvo površine se rekonstruira na podlagi ene zajete fotografije, kar omogoča merjenje teles v gibanju.

Uporaba merilnikov je predstavljena v dveh aplikacijah: merjenju orientacije glave in dimenzij kožnih razjed. Merjenje orientacije glave temelji na 3D merjenju gornjega dela trupa in glave ter poravnavi delnih površin na referenčno meritev. Omogoča merjenje orientacije glave s ponovljivostjo 3°, upoštevajoč tudi neponovljivost samega gibanja. Druga aplikacija je merjenje ran, ki omogoča merjenje obsega z natančnostjo 2,5 mm, površine 12 mm² in prostornine 30 mm³.

Ključne besede: ioptično 3D merjenje, triangulacija, fotoaparati, orientacija glave, merjenje ran

1 Uvod

Metode tridimenzionalnega (3D) optičnega merjenja se že nekaj desetletij uporabljajo na najrazličnejših področjih, tudi medicini. Obstaja množica komercialno dostopnih merilnikov; od takih z visoko natančnostjo merjenja in posledično visoko ceno, do takih, ki so primerni za domačo uporabo, njihova cena pa ne presega 200 €. A uporabnost tovrstnih nizkocenovnih merilnikov je v medicini, zaradi velikih merilnih območij in posledičnih manjših natančnosti, omejena na aplikacije, ko želimo meriti večje dele ali celotnega človeka. A pogosto so zahteve ravno

obrnjene.

Najpomembnejša razlika med merjenjem človeka in neživih objektov je, da je človeško telo v osnovi netogo in tako v stalnem gibanju. Zato mora biti proces merjenja izveden hitro, saj bo v nasprotnem primeru, zaradi premikanja merjenca, natančnost meritve zmanjšana. Ker v klinični praksi meritve izvaja medicinsko osebje, mora biti sistem tudi enostaven za uporabo, zanesljiv in, če je le mogoče, prenosen. Seveda je mogoče merjenje izvajati tudi z drugačnimi merilniki, a njihova zahtevna uporaba v kliničnem okolju bo pri uporabnikih in/ali merjencih pogosto povzročala nelagodje. To pa ima za posledice nižjo kvaliteto rezultatov in izogibanje uporabi.

V prispevku je predstavljena družina ročnih 3D merilnikov, ki so bili posebej zasnovani za uporabo v medicini. Predstavljena je tudi uporaba merilnikov v dveh medicinskih aplikacijah; merjenju orientacije glave in analizi dimenzij ran.

2 Materiali in metode

2.1 DRUŽINA ROČNIH 3D MERILNIKOV

Ročni 3D merilniki (RM) so sestavljeni iz štirih glavnih sestavnih delov (slika 1): ohišja fotoaparata, objektiv fotoaparata, projekcijskega sistema (PS) in povezovalne mehanike. V največji meri smo poskušali uporabiti komercialno dostopne sestavne dele, saj tako dosežemo nižjo ceno sistema in omogočimo hitro in enostavno zamenljivost sestavnih delov v primeru okvare. Merilnik deluje na triangulacijskem principu [1] v kombinaciji s ploskovnim osvetljevanjem. Kot svetlobni vir je uporabljena vgrajena bliskavica fotoaparata. Ta v trenutku, ko želimo zajeti merilno fotografijo, z zadnje strani osvetli projekcijski vzorec, na prednji strani nastali svetlobni vzorec pa objektiv PS projicira na merjeno površino. Projekcijski vzorec je narejen iz steklene ploščice z neparjeno plastjo kroma, ki je na določenih delih odstranjen in tako je projekcijski vzorec mestoma preseven. Svetlobni vzorec kot ga vidi fotoaparati, je deformiran v skladu z obliko merjene površine in geometrijo med fotoaparatom in PS. Ker geometrijo merilnika poznamo, lahko iz deformacije vzorca rekonstruiramo obliko površine.

Svetlobni vzorec je sestavljen iz 66 ali 132 vzporednih svetlih linij med katerimi je temen del. Širina svetlih in temnih polj je enaka. Zaradi majhne periode je bila za merjenje deformacije svetlobnega vzorca uporabljena metoda frekvenčne analize – profilometrija na osnovi



Slika 1: Glavni sestavni deli ročnega 3D merilnika.

Fourierjeve transformacije [2]. Zajeta merilna slika se s fotoaparata prenese na računalnik, kjer jo programska oprema rekonstruira v površino. Ker za rekonstrukcijo zadostuje ena sama fotografija deformiranega vzorca, merilnik odlikuje kratek čas zajema podatkov (tipično 50 ms), kar omogoča merjenje brez uporabe stojal. Umeritev sistema je bila izvedena z meritvami površine znane oblike in optimizacijo transformacijskih parametrov. Površina znane oblike je bila izmerjena na več oddaljenostih, surovi podatki o deformaciji vzorca pa uvoženi v program za optimizacijo transformacijskih parametrov. Ta z uporabo optimizacijskih algoritmov poišče optimalne transformacijske parametre; parametre, kjer so razlike med izmerjenimi in idealnimi površinami najmanjše. Cenilka ustreznosti parametrov je standardna deviacija teh razlik; manjša kot je, ustrežnejši so parametri.

2.2 MERJENJE ORIENTACIJE GLAVE

Poznavanje orientacije glave je potrebno v najrazličnejših aplikacijah, predstavljena metoda pa je bila razvita za merjenje območja gibanja glave pri bolnikih s cervikalno distonijo. Metoda temelji na 3D izmeri gornjega dela trupa merjene osebe v referenčnem položaju in naknadnem 3D merjenju v standardnih položajih za merjenje območja glave (skrajna rotacija levo desno, skrajni nagib levo desno in skrajni nagib naprej nazaj) [3]. Posamezna izmerjena

površina se nato razdeli na površino glave in površino trupa. Vsaka se nato z uporabo ICP algoritma [4] poravna na referenčno površino; glava na glavo, trup na trup. Rotacijo glave glede na trup nato izračunamo kot:

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_G \times \mathbf{R}_T^{\text{OI}} \quad (1)$$

kjer sta \mathbf{R}_G rotacija glave in \mathbf{R}_T rotacija trupa potrebni za poravnavo na referenčno meritev. Ker je rotacija glave izmerjena relativno glede na trup, je meritev neobčutljiva na premike in rotacije celotne merjene osebe kot tudi merilnega sistema, kar omogoča merjenje brez uporabe stojal.

Metoda je bila ovrednotena z in-vitro in in-vivo poizkusoma. Pri prvem smo na glavo lutke pritrdili referenčno tipalo orientacije z deklarirano točnostjo merjenja $0,24^\circ$ [5]. Obenem smo trup in glavo lutke merili z dvema 3D merilnikoma: laserskim skenerjem z natančnostjo merjenja $0,18 \text{ mm}$ in V-RM. Na podlagi izmerjenih 3D površin smo izmerili orientacijo glave po predstavljeni metodi.

Z in-vivo poizkusom smo ocenili natančnost metode

pri merjenju človeka. Merjena oseba z diagnosticirano cervikalno distonijo je ponavljala rotaciji glave levo desno in bila sočasno merjena. Na ta način smo ocenili natančnost metode ob upoštevanju neponovljivosti samega gibanja glave.

2.3 ANALIZA DIMENZIJ RAN

Analiza dimenzij ran služi medicinskemu osebju kot orodje za objektivno ocenjevanje poteka terapije in napovedovanje poteka celjenja. Metoda analize je sestavljena iz merjenja 3D oblike in barve razjede z M-RM ter izračuna karakteristik rane; obsega, površine in prostornine. Za izračun površine in obsega moramo najprej določiti območje rane. Uporabniku je pri tem v pomoč programsko orodje, ki temelji na uporabi Cannyjevega algoritma za iskanje robov [6] in se izvaja na barvni informaciji meritve. Za izračun prostornine pa je poleg območja rane potrebno določiti tudi predviden potek zdrave kože, ki navzgor omejuje prostornino rane. Aproximacija t. i. navidezne zdrave kože (NZK) je izvedena za uporabo NURBS površine ali metode najmanjših kvadratov, odvisno od specifik rane.

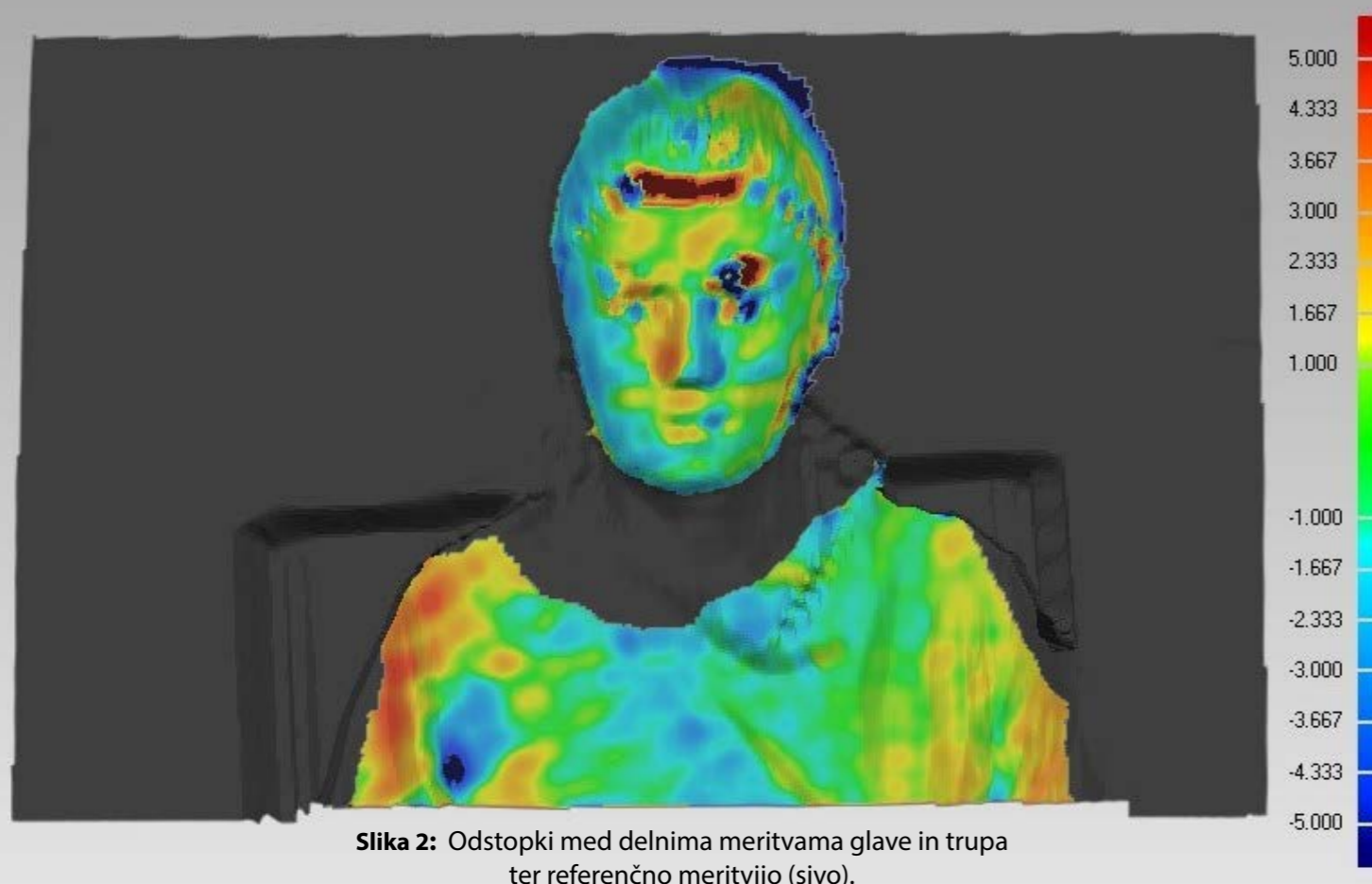
Obseg rane je definiran kot vsota razdalj med posameznimi točkami roba rane, površina kot območje navidezne zdrave kože znotraj roba rane in prostornina kot prostornina med izmerjeno površino in NZK, znotraj območja rane [7].

Točnost metode smo ocenili s poizkusom, kjer smo merili dimenzije ran modeliranih na izmerjeno površino zdrave kože. Na ta način smo poznali točno potek zdrave kože in vrednost odstranjene prostornine, ter ju lahko primerjali z izmerjenimi vrednostmi. Zmodelirali smo tri pare ran. Obe rani para sta bili zmodelirani na isti meritvi zdrave kože, pri čemer je ena meritev para posnemala stanje pred terapijo in bila zato nekoliko večja kot druga, ki je posnemala stanje po terapiji. Na ta način smo ocenili tako natančnost merjenja posamezne rane, kot tudi natančnost merjenja spremembe stanja, ki je še posebej pomembna pri vrednotenju poteka terapije. 3D modele ran smo uvozili neposredno v program za analizo (izpuščen je bil korak 3D merjenja) in izmerili karakteristike ran.

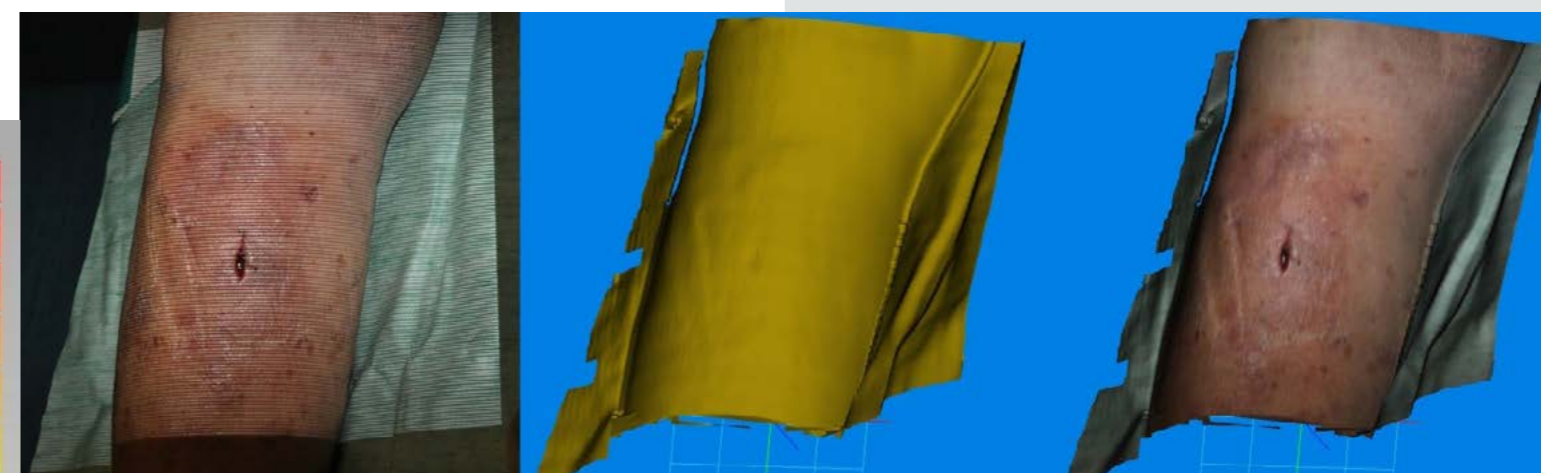
$\times 520 \times 300 \text{ mm}^3$ in natančnost $1,5 \text{ mm}$, mala različica (M-RM) pa $150 \times 120 \times 70 \text{ mm}^3$ in natančnost $0,3 \text{ mm}$. V obeh sistemih je bil digitalni zrcalno-refleksni fotoaparata Nikon D90 v kombinaciji z objektivom AF-S Nikkor s fiksno goriščno razdaljo 50 mm . Projekcijski sistem ima objektiv s 25 mm goriščno razdaljo in projekcijski vzorec dimenzij $8,8 \times 6,6 \text{ mm}^2$. Perioda vzorca pri V-RM je $100 \mu\text{m}$ kar pomeni 66 svetlih linij v svetlobnem vzorcu, pri M-RM pa je perioda $50 \mu\text{m}$, torej 132 svetlobnih linij. Zaradi majhne periode je mogoče barve merjene površine rekonstruirati iz merilne slike z uporabo nizkopasovnega filtra, še posebej v primeru M-RM.

3.2 3.2 MERJENJE ORIENTACIJE GLAVE

Primerjava rezultatov merjenja orientacije glave v poizkusu z lutko je pokazala, da sta bili natančnosti merjenja z referenčnim merilnikom orientacije in s predstavljeno metodo v kombinaciji z laserskim skenerjem enaki, $0,12^\circ$. Natančnost izmere orientacije



Slika 2: Odstopki med delnima meritvama glave in trupa ter referenčno meritvijo (sivo).



Slika 3: a) Merilna slika; vzorec je tako gost, da se ga komaj opazi; b) rekonstruirana površina; c) rekonstruirana površina v barvah.

3 Rezultati

3.1 DRUŽINA ROČNIH 3D MERILNIKOV

Izdelane so bile tri različice merilnika, ki se med seboj razlikujejo po merilnem območju in natančnosti. V poizkusih v nadaljevanju sta bili uporabljeni dve, ki sta si po sestavi podobni, razlikujeta pa se po merilnem območju in natančnosti. Tretja različica ima najmanjše merilno območje in namensko razvit objektiv fotoaparata, saj med komercialno dostopnimi objektivni ni bilo mogoče najti primerne [8]. T. i. velika različica ročnega merilnika (V-RM) ima merilno območje 700

v kombinaciji z V-RM pa je bila nekoliko nižja, $1,6^\circ$. Primerjava rezultatov merjenja po predstavljeni metodi v kombinaciji z obema 3D merilnikoma pokaže, da je metoda natančna in primerna za merjenje orientacije glave, a na njeno natančnost vpliva natančnost same 3D izmere; večja kot je natančnost 3D izmere, večja je natančnost izmerjene orientacije. Povprečna odstopka med rezultati referenčnega merilnika in obema 3D merilnikoma je bila $-0,24^\circ \pm 1,05^\circ$ (laserski skener) in $-0,75^\circ \pm 1,87^\circ$ (V-RM). Pri tem je potrebno omeniti, da je del odstopkov posledica neidealne poravnave koordinatnih sistemov merilnikov.

Pri merjenju in-vivo merjenju gibanja glave človeka je bilo ugotovljeno, da je bila povprečna ponovljivost gibanja 2,4°. Ta vrednost nakazuje, da je merilna negotovost merilnega sistema manjša od neponovljivosti samega giba. Tako so izmerjena odstopanja pod to vrednostjo lahko posledica neponovljivosti samega gibanja in jih je nesmiselno meriti.

3.3 ANALIZA DIMENZIJ RAZJEDE

Relativne razlike med izmerjeno in pravo vrednostjo (ΔA_{REL}) so definirane kot

$$\tilde{A}_{REL} = \frac{|A_I - A_M|}{A_I} \quad (2)$$

kjer sta A_I prava vrednost in A_M izmerjena vrednost površine. Relativne razlike med izmerjeno in pravo vrednostjo so izračunane na enak način.

vidni na okoliški zdravi koži.

Ponovljivost merjenja smo testirali s ponavljanjem merjenja istih razjed. Tri različne razjede smo izmerili od 6- do 11-krat. Ponovljivost smo ocenjevali s pomočjo koeficienta variabilnosti cv , ki je definiran kot razmerje med standardno deviacijo σ in srednjo vrednostjo vzorca μ :

$$cv = \frac{\sigma}{\mu} \quad (3)$$

Rezultati so pokazali, da so bile standardne deviacije (σ) pri merjenju površine posamezne rane 13,8 mm², 70,0 mm² in 6,6 mm², pripadajoči koeficienti variabilnosti (cv) pa 1,5 %, 7,7 % in 6,6 %. Pri merjenju prostornine so bile standardne deviacije 23,7 mm³, 52,6 mm³ in 12,4 mm³, koeficienti variabilnosti pa 2,7 %, 4,0 % in 4,5 %. Za primerjavo smo izračunali koeficiente variabilnosti za sistem, predstavljen v [9]. Pri merjenju površine so

za merjenje deformacije projiciranega vzorca pa profilometrija na osnovi Fourierjeve transformacije. Dve prototipni različici z različnima merilnima območjema sta bili uporabljene v metodah merjenja orientacije glave pri bolnikih s cervikalno distonijo in karakterizacije dimenzij ran.

Za merjenje območja gibanja glave je bila razvita metoda merjenja orientacije glave na osnovi 3D meritev. Za 3D merjenje se je uporabljal razviti merilnik V-RM. Pri verifikaciji je bilo ugotovljeno, da lahko izmerimo orientacijo glave glede na trup na vsaj 3° natančno, na natančnost izmere orientacije pa v veliki meri vpliva natančnost izmere oblike površine.

Točnost metode karakterizacije dimenzij ran smo ocenili z analizo modeliranih ran. Pri merjenju površine je v povprečju ta znašala 2,1 %, pri merjenju prostornine pa 3,4 %. Natančnost metode smo ocenili z analizo več meritev iste razjede in je v povprečju znašala 5,3 % pri merjenju površine in 3,7 % pri merjenju prostornine. Ugotovljeno je bilo, da so karakteristike primerljive s komercialnimi sistemi, ki pa so analize izvajali na enostavnejših primerih generičnih ran. Razvita družina merilnikov predstavlja cenovno dostopno in enostavno alternativo obstoječim 3D merilnikom. Zaradi njihovih karakteristik so zelo primerni za uporabo v kliničnem okolju, kjer sta hitrost zajemanja podatkov in prenosnost velikokrat bolj pomembni kot visoka natančnost merjenja. Merilnika sta bila uporabljena v dveh medicinskih aplikacijah, ki sta se izvajali tudi v kliničnem okolju. Izkazalo se je, da se je čas ambulantne obravnave bolnika zaradi dodatnega 3D merjenja podaljšal le za nekaj minut, kar je zelo pomembno če želimo, da bodo aplikacije našle pot v vsakodnevno klinično prakso.

Zahvale

Avtorji se zahvaljujemo prof. dr. Zvezdanu Pirtošku, dr. med., in Nevrološki kliniki UKC Ljubljana, ter doc. dr. Nadi Kecelj Leskovec, dr. med., in Dermatovenerološki kliniki UKC Ljubljana za pomoč pri izvedbi meritev. Raziskave so bile opravljene kot del projekta Laserska triangulacija v medicini (LASTRIM-L7-4274).

Tabela 1: Točnost merjenja površine. Vrednosti v stolpcih A_I in A_M sta v mm²

Razjeda	Pred			Po			Razlika		
	A_I	A_M	ΔA_{REL}	A_I	A_M	ΔA_{REL}	A_I	A_M	ΔA_{REL}
1	1276	1248	2.2 %	600	603	0.5 %	676	646	4.5 %
2	2130	2151	1.0 %	980	959	2.2 %	1150	1193	3.7 %
2	2055	2050	0.2 %	1291	1310	1.5 %	765	741	3.0 %

Tabela 2: Točnost merjenja prostornine. Vrednosti v stolpcih V_I in V_M sta v mm³

Razjeda	Pred			Po			Razlika		
	V_I	V_M	ΔV_{REL}	V_I	V_M	ΔV_{REL}	V_I	V_M	ΔV_{REL}
1	6028	6235	3,4 %	1661	1642	1,1 %	4367	4593	5,2 %
2	11847	11330	4,4 %	2418	2531	4,7 %	9429	8799	6,7 %
2	9367	9281	0,9 %	3535	3409	3,6 %	5832	5872	0,7 %

V tabelah 1 in 2 so predstavljene izmerjene in prave vrednosti za posamezno razjedo. Relativna napaka merjenja je v območju do 2,2 % pri merjenju površine in do 4,7 % pri merjenju prostornine. Relativna napaka je pri merjenju razlike nekoliko večja, do 5 % pri merjenju površine in do 7 % pri merjenju prostornine. Razlike med idealnimi in izmerjenimi vrednostmi so posledica lokacije razjede in netočnosti opisa poteka zdrave kože z NZK. Z aproksimacijo namreč ni mogoče opisati značilnk, ki so se nahajale na področju rane, njihovi vplivi pa niso

njihovi najboljši rezultati primerljivi z našimi najslabšimi, medtem ko so naši rezultati pri merjenju prostornine približno trikrat do štirikrat boljši.

4 Zaključki

Razviti 3D merilniki so osnovani na digitalnem zrcalno-refleksnem fotoaparatu, kar omogoča kratke čase osvetlitve, visoko prenosnost, možnost merjenja brez uporabe stojal in enostavnost rokovanja. Kot svetlobni vir je uporabljena vgrajena bliskavica fotoaparata,

Literatura

- [1] M. Jezeršek, J. Možina, A laser anamorph profilometer, *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. 49, 2, (2003) 76-89.
- [2] M. Takeda, K. Mutoh, Fourier transform profilometry for the automatic measurement of 3-D object shape, *Applied Optics*. 22, (1983) 3977-3982.
- [3] U. Pavlovčič, J. Diaci, J. Možina, M. Jezeršek, Characterization of the head-to-trunk orientation with handheld optical 3D apparatus based on the fringe projection technique, *BioMedical Engineering OnLine*. 12, (2013) 96.
- [4] Z. Zhengyou, Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces, *International Journal of Computer Vision*. 13, 12, (1994), 119-152.
- [5] Xsens MTi presentation, <http://www.xsens.com/en/general/mti>
- [6] J. Canny, A computational approach to edge detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. PAMI-8, (1986), 679-698.
- [7] U. Pavlovčič, J. Diaci, J. Možina, M. Jezeršek, Wound perimeter, area, and volume measurement based on laser 3D and color acquisition, *BioMedical Engineering OnLine*, 14, (2015), 39.
- [8] J. Laloš, M. Mrak, U. Pavlovčič, M. Jezeršek, Handheld optical systems for skin topography measurement using Fourier transform profilometry, *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. 61, 5, (2015), 285-291.
- [9] M. Romanelli, V. Dini, L. C. Rogers, C. E. Hammond, M. A. Nixon, Clinical evaluation of a wound measurement and documentation system, *Wounds*. 20, (2008), 258-264.

3D TISKALNIK PROJET 3510 SD – NOVA PRIDOBITEV NA FAKULTETI ZA STROJNIŠTVO

Jaka Dugar



Laboratorij za odrezavanje (LABOD) na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je v sodelovanju s predstavniki Študentske organizacije FS in ob veliki pomoči Študentske organizacije UL pridobil 3D tiskalnik ProJet 3510 SD proizvajalca 3D systems. Visokozmogljiv tiskalnik omogoča izdelavo preciznih plastičnih prototipov in izdelkov za končno uporabo.



UPORABNOST 3D TISKALNIKA PROJET 3510 SD V ŠTUDIJSKE NAMENE

3D tiskalnik je namenjen izdelavi različnih izdelkov, predvsem prototipov, ki jih lahko uporabimo v različne namene. 3D tiskanje je postopek, pri katerem tvorimo izdelek tako, da dodajamo material plast za plastjo. Zaradi same narave procesa lahko izdelamo različne izdelke popolnoma poljubne oblike. Uporaba teh tehnologij se v svetovnem merilu hitro povečuje. Žal pa v slovenskem izobraževalnem prostoru bistveno primanjkuje tovrstnih naprav.

3D tiskalnik je zelo uporaben za študente strojništva. Tako za učenje upravljanja takšnega stroja, kot za izdelavo različnih uporabnih izdelkov. Študentje, ki se učijo upravljati na takšnem stroju že na fakulteti, se jim po končanem

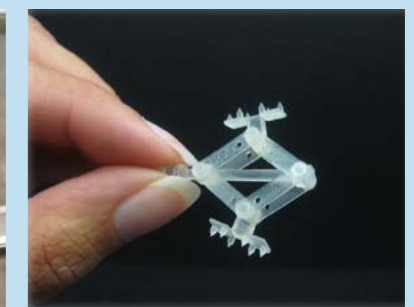
izobraževanju bistveno poveča možnost za zaposlitev v večjih slovenskih podjetjih, kjer že uporabljajo to tehnologijo. Pričakuje pa se, da se bo 3D tiskanje hitro razširilo, kot se je že v bolj razvitih državah in bodo tako tehnologije 3D tiskanja našle pot prav v vsa podjetja. Študentje strojništva si lahko izdelajo različne prototipe, ki so plod njihove ideje. S tem si lahko idejo preizkusijo v realnosti in jo kasneje tudi izboljšajo, ko ugotovijo morebitne napake.



Izdelava različnih prototipnih ohišjih



Izdelava različnih delujočih mehanizmov, saj je podporni material vosek, ki se po obdelavi stopi na temperaturi 60° in tako dobimo izdelke že z vsemi zelenimi sestavi.



3D tiskalnik lahko uporabljajo tudi študenti Fakultete za računalništvo in informatiko ter študenti Fakultete za elektrotehniko. Poleg izdelave različnih komponent za potrebe omenjenih študentov je za njih, kot tudi za nas študente strojništva interesantno tudi samo delovanje in komponente stroja, saj gre za kompleksni mehatronski sistem, ki za delovanje zahteva široko znanje s

področij strojništva, elektrotehnike, mehatronike ter računalništva.

3D tiskalnik je primeren za izdelavo različnih in natančnih maket zgradb in okolice z vsemi detajli. Zato je zanj veliko zanimanja med študenti Fakultete za arhitekturo in študenti Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.



Primeren je tudi za izdelavo različnih kipcev ter ostalih umetniških, likovnih ter oblikovalskih tridimenzionalnih izdelkov, zato je stroj zelo uporaben tudi za študente Akademije za likovno umetnost in oblikovanje ter študente Naravoslovnotehniške fakultete, predvsem oddelek za tekstilstvo. Kasneje je mogoče en izdelek, ki bo narejen na 3D tiskalniku, tudi nadalje reproducirati na več kosov s postopki litja v silikonske kalupe.



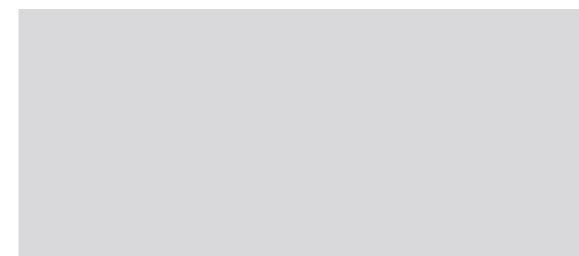
Tudi študentje Medicinske fakultete večkrat izrazijo željo po izdelkih narejenih s postopkom 3D tiskanja. Za vse več izdelkov, kot so različni implantanti, se uporablja postopek 3D tiskanja, ker lahko izdelek popolnoma prilagodimo pacientu, kateremu je namenjen. V tujini se 3D tiskanje pogosto uporablja pri operacijah hrbtenice, kjer s tem postopkom naredijo vodila za vijake za specifično hrbtenico, katere 3D model dobijo s slikanjem CT pacienta. Z vodilom preprečijo, da bi se vijak privijačil v napačno smer, kar se lahko zgodi pri operacijah, kjer 3D tiskanja ne uporabljajo. Stroj je na področju medicine uporaben tudi za izdelavo različnih medicinskih pripomočkov oziroma testnih mest, ki bi jih študentje lahko uporabljali na vajah.



Izdelava implantanta po meri



3D tisk realnega posnetka človeškega srca v izobraževalne namene



Vodila za vijake za specifično hrbtenico



Izdelava 3D modelov s predhodnim 3D barvnim skenerjem

Na Fakulteti za strojništvo že imamo dovršen 3D skener, ki ga je razvil in izdelal naš doktorski študent. Tako je nov 3D tiskalnik ProJet 3510 SD skupaj z našim skenerjem zelo interesanten za še več študentov. Z vzratnim inženirstvom je mogoče narediti tudi 3D avtoportret.

Tudi v dentalni medicini se postopek 3D tiskanja vedno bolj uporablja, saj je takšen način izdelave zobnega implantanta bistveno bolj prijazen do pacienta



Izdelave zobnega implantanta



3D tiskalnik je možno vključiti v postopek vzratnega inženirstva. Gre za postopek, ko želimo izdelati kopijo že obstoječega fizičnega modela oziroma nekoliko predelanega fizičnega modela. Pri tem fizični model skeniramo z optičnim skenerjem in tako dobimo 3D zapis točk, ki nam v računalniku predstavlja model. Modelu lahko nato spremenimo del oblike in ga nato ponovno pretvorimo v fizično obliko s postopkom 3D tiskanja.



3D tiskalnika Proj Jet 3510SD proizvajalca 3D systems, ki je prikazan na sliki 1. Gre za izredno natančen visokozmogljiv 3D tiskalnik, ki deluje po principu brizganja fotopolimera. Kot že omenjeno, se za vhodni material na stroju uporablja fotopolimer, to je specialen tekoč polimer, ki je občutljiv na UV svetlobo. Ko nanj posveti svetloba z določeno valovno dolžino, se prične polimerizacija, kar povzroči, da se fotopolimer strdi. Tako se med postopkom 3D tiskanja fotopolimer strjuje plast za plastjo, tako da na koncu dobimo uporaben izdelek. Kot podporni material pa se uporablja tehnologija nalaganja voska, ki ga po končani obdelavi enostavno odstranimo tako, da izdelek vstavimo v ultrazvočni čistilec, kjer se pri temperaturi 60° vosek stali in tako dobimo končni želeni produkt.



OSNOVNE KARAKTERISTIKE STROJA

Delovno obočje - x, y, z [mm]	298 X 185 X 203
Resolucija - x, y, z [DPI]	375 X 375 X 790
Debelina sloja [µm]	32
Natančnost	0,025 - 0,05 na dolžini 25,4 mm
Možni materiali za izdelavo	VisiJet M3-X, VisiJet M3 Black, VisiJet M3 Crystal, VisiJet M3 Proplast, VisiJet M3 Navy, VisiJet M3 Techplast;
Podporni material	VisiJet 5300
Vhodni format datoteke 3D modela	STL ali SLC
Napajanje	100-127 VAC, 50/60 Hz, single-phase, 15A ali 200-240 VAC, 50 Hz, single-phase, 10A
Dimenzije stroja - Š, D, V [mm]	749 X 1194 X 1511
Teža stroja [kg]	323
Območje delovne temperature	18 - 28 °C
Hrup	< 65 dBA
Certifikat	CE



Predstavnika za uporabo 3D tiskalnika **Jaka Dugar in David Homar**

Kontakt laboratorij LABOD:

Jaka Dugar tel: 041-549-380
jaka.dugar@gmail.com

David Homar tel: 031-817-038
david.homar@gmail.com



USTANOVITEV ALUMNI KLUBA FS

Na ustanovni skupščini Alumni kluba FS, ki je potekala 26. novembra 2015, so bila na pobudo iniciativnega odbora predlagana in od vseh udeležencev potrjena glavna načela delovanja Alumni kluba FS. Zanimanje gospodarstva o vzpostavitvi tesnejšega stika s Fakulteto za strojništvo, Univerze v Ljubljani ter možnostjo sodelovanja je že obrodilo sadove, saj so bili na ustanovni skupščini potrjeni tudi glavni člani organov, ki prihajajo tako iz gospodarske kot tudi javne sfere. Predsedstvo Alumni kluba FS je prevzel prof. dr. Mihael Sekavčnik

Namen

Namen Alumni kluba FS je ohranjanje povezanosti in komunikacije pripadnikov vseh generacij dodiplomskih in podiplomskih diplomantov Fakultete za strojništvo, kot stanovskih kolegov med seboj in njenimi učitelji ter sodelavci. Prav tako si bo Alumni klub prizadeval za strokovno in znanstveno sodelovanje diplomantov Fakultete za strojništvo s fakulteto in spodbujanje sodelovanja med okolji, v katerih delujejo.

Vizija

Vizija Alumni kluba je, da združuje posameznike, ki želijo še naprej ohraniti povezanost vseh generacij diplomantov, magistrorov in doktorjev Fakultete za strojništvo.

Z ustanovitvijo Alumni kluba FS je le-ta postal temeljni subjekt pri združevanju in promociji strojništva v širšem okolju.

Vir: http://www.fs.uni-lj.si/fakulteta_za_strojništvo/alumni/

Foto: IFP d. o. o.

PIEZOELEKTRIČNA DEFORMABILNA ZRCALA

Jaka Pribošek, Matija Brumat in prof. dr. Janez Diaci
Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

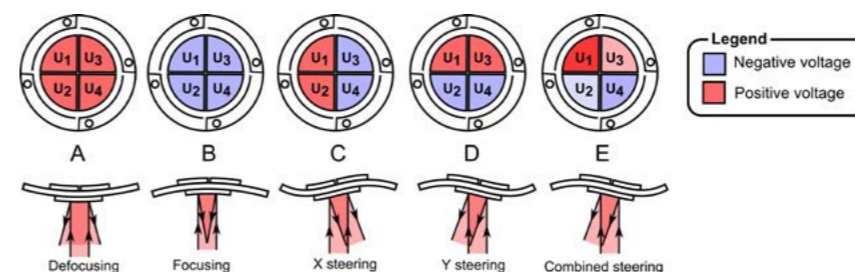
V pričujočem prispevku predstavljamo projekt zasnove, razvoja in izdelave piezoelektričnega deformabilnega zrcala, s katerim je ekipa Fakultete za strojništvo letos nastopila na mednarodnem tekmovanju korporacije Texas Instrument "Analog Design Challenge". Predlagan projekt je bil v hudi mednarodni konkurenci nagrajen s prvim mestom.

Razvoj sistema s piezoelektričnim zrcalom je zaobjemal tako vpeljavo nove tehnologije, izdelave deformabilnih zrcal kot tudi zasnovo in izdelavo potrebne krmilne in napajalne elektronike. Na koncu je bil sistem vgrajen v namenski optični sistem. Zasnovan sistem je namenjen vodenju laserskega snopa po območju 100 x 100 μm , kar ustreza debelini človeškega lasu.

Uporaba deformabilnih zrcal je najpogostejša v oftalmologiji in astronomiji. Deformabilna zrcala se uporablja v velikih zemeljskih teleskopih za korekcijo optičnih aberacij, ki nastanejo pri širjenju svetlobe skozi turbulentno atmosfero. Podobno se pri retinoskopiji s pomočjo zrcala kompenzira optične napake očesne leče, ter tako zagotovi ostro sliko mrežnice. Deformabilna zrcala so uporabna tudi širše, še zlasti pri aplikacijah, ki zahtevajo prePOicizno vodenje svetlobe. Primer zanimive uporabe takih zrcal bi lahko našli v laserskih pincetah, kjer se s pomočjo svetlobe lahko lovi in premika mikroskopske delce. Druga zanimiva uporaba bi bila na področju laserske litografije, kjer precizno premikanje žarkov omogoča projekcijo in izdelavo najrazličnejših mikrostruktur v fotopolimerih. S tem se odpira vrsta možnih aplikacij na področju mikroelektronike, mikrooptike, mirkofluidike ter biosenzorike. Dostop do te tehnologije je spričo visoke cene mogoč zgolj večjim inštitutom in univerzam po svetu. Pričujoči projekt predstavlja nizkocenovno rešitev izgradnje sistema piezoelektričnega zrcala za potrebe preciznega vodenja laserskega snopa. Izdelava sistema je poenostavljena do mere, da je tak sistem, z nekaj spretnosti, zmožen praktično vsak poustvariti doma. To odpira vrata nizkocenovnim raziskavam mnogim entuziastom in hobistom širom sveta.

Razvoj projekta je bil v okvirih tekmovanja časovno omejen na pol leta, zato smo se pri zasnovi odločili za t. i. »top-down« pristop. Sprva smo s pomočjo testnih razvojnih plošč proizvajalca Texas Instruments kar se da hitro preverili sam princip delovanja in odklanjanja zrcala. Šele ko smo se prepričali, da princip deluje, smo se lotili zasnove lastne krmilne elektronike ter iskanja ustrezne tehnologije izdelave zrcala. Veliko energije smo posvetili optimizaciji krmilne elektronike ter izbiri ustreznih polprevodniških komponent, kjer so nam bile v veliko pomoč predlagane rešitve iz podatkovnih listov komponent. Razvoj končnega prototipa so dodatno pospešili obstoječi primeri programske kode.

V osnovi je deformabilno zrcalo kompozitni sestav. Steklo debeline 150 μm z naparjeno kromovo odbojno plastjo je nalepljeno na tanko kovinsko membrano, na katero je z zadnje strani nalepljena piezoelektrična keramika. Deformabilnost celotnega kompozitnega sestava (zrcalo, kovinska membrana in

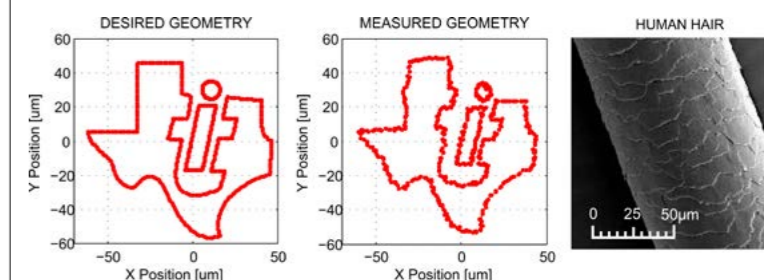


piezoelement) je odvisna od debeline posamezne plasti. Medtem ko je večina tovrstnih izdelkov izdelanih po namenskih tehnoloških postopkih, smo v našem primeru tako zrcalo izdelali iz lahko dobavljivih materialov. Kot osnovo smo vzeli nizkocenovni piezopiskač, ki smo ga ustrezno modificirali za naše potrebe. Piezoelement smo razdelili v štiri elektrode. S spreminjanjem napetosti na posamezni elektrodi lahko izzovemo deformacijo kompozitnega sestava, ki predstavlja naše zrcalo. Potrebne napetosti posamičnih elektrod se določijo neposredno iz želene lokacije laserskega žarka v trirazsežnem prostoru. Dva zasuka zrcala okoli simetrijske osi omogočata vodenje po ploskvi, s spreminjanjem ukrivljenosti pa vplivamo na gorišče in s tem na pozicijo v globini. Tehnološka kompleksnost izdelave zrcala terja uporabo tehnik elektrokemičnega jedkanja, izrezovanje rondele iz 0,1 mm tankega mikroskopskega stekla, vakuumsko napajanje kroma ter spajkanje fleksibilnih spojev na piezokristal.

Po izdelavi zrcala je prišel na vrsto razvoj štirikanalnega krmilnega vezja. Osnovo

tvori štirikanalen bipolarni digitalno-analogni pretvornik, katerega izhodni signal je ojačan z visokonapetostnim operacijskim ojačevalnikom. Razvili smo tudi večstopenjsko napajalno elektroniko, ki zagotavlja ustrezne nizko- in visokonapetostne električne nivoje. Močnostni del krmilne elektronike je galvansko ločen od digitalnega dela

vezja. Digitalno vezje je osnovano na mikroprocesorju, ki na podlagi zahtevane trajektorije laserskega žarka skrbi za izračun potrebnih napetosti na posamičnih elektrodah, ter potrebne podatke posreduje digitalno-analognemu



pretvorniku. Celoten elektronski sistem nam omogoča procesiranje in izvajanje projekcije z več kot 75 tisoč točkami v sekundi.

Za potrebe analize delovanja sistema deformabilnega zrcala smo razvili namenski optični sistem, s katerim smo ovrednotili linearnost in pozicijsko točnost vodenja laserskega snopa. Kot merilnik pozicije laserskega žarka smo uporabili hitro kamero FPGA slovenskega podjetja Optomotive d. o. o., ter lasten algoritem na osnovi obdelave slik, ki je avtomatsko določal položaj laserske pege na senzorju CMOS. Z izdelanim sistemom smo z natančnostjo 2

μm vodili laserski snop po območju, ki po velikosti ustreza debelini človeškega lasu, kar je svojevrsten tehnološki dosežek.

Trenutno se sistem nadgrajuje v konfokalni mikroskop, ki omogoča merjenje trirazsežne topografije izdelka, kjer se deformabilno zrcalo izrablja za vodenje laserskega snopa po vzorcu, odbita svetloba pa se analizira v naknadno razvitem analognem fotodetektorju, ki omogoča hitro določevanje vrhov v zajetem signalu in s tem višine profila v vsaki točki merjene površine.



STROKOVNI POSVET AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2015 – ASM '15

Letos je na GZS v Ljubljani potekal že 12. strokovni posvet na temo Avtomatizacija strege in montaže 2015 – ASM '15. Posvet, ki je najpomembnejši dogodek v Sloveniji s področja strege in montaže, je organiziral Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko Fakultete za strojništvo, Univerza Ljubljani, v soorganizaciji z Gospodarsko zbornico Slovenije, Združenjem kovinske industrije. Glede na razmere v gospodarstvu in družbi nasploh je bil posvet zelo dobro obiskan, saj se ga je udeležilo preko 120 udeležencev iz kar 47 podjetij, iz sedmih raziskovalnih in izobraževalnih inštitucij ter iz štirih medijev. Dober in raznovrsten obisk kaže na izredno zanimanje za ta dogodek in predvsem na pomembnost področja avtomatizacije strege in montaže v gospodarstvu. Za posvet ASM lahko tako trdimo, da se je uveljavil kot dogodek, na katerem enostavno »moraš biti«, če aktivno delaš na področju strege in montaže.

Avtomatizacija strege in montaže je v povezavi z informatizacijo proizvodnih procesov, robotizacijo ter mehatroniko in učinkovito kontrolo kakovosti v montažnih procesih z vidika celotne proizvodnje tisto področje, ki lahko bistveno doprinese k povečanju učinkovitosti in konkurenčnosti podjetij in je sestavni del vitke organizacije. V okviru posveta ASM '15 je bilo predstavljenih več smernic in idej za rešitve različnih problemov, udeleženci pa so si lahko izmenjali izkušnje o številnih vprašanjih na področju strege in montaže.

Na posvetu so se predstavila številna podjetja s svojimi dosežki, tehnološkimi rešitvami in novimi produkti. Mnoge rešitve, ki so bile prikazane, so plod lastnega razvoja podjetij in inovativnosti njihovih inženirjev in bodo prav gotovo marsikomu pripomogle pri rešitvi njihovih problemov in dilem, s katerimi se srečujejo v vsakodnevni praksi. Organizator je skupaj z avtorji iz različnih podjetij pripravil izredno zanimivo srečanje, ki ga je podprlo več ustanov, podjetij in medijev. Med njimi naj posebej omenimo generalnega pokrovitelja Yaskawa Slovenija, ki spada v globalni koncern Yaskawa Electric Corporation. Koncern je v svetovnem merilu dobro prepoznaven in je vodilni svetovni proizvajalec na področjih robotike in sistemov za avtomatizacijo.

Udeležence posveta je v uvodnem nagovoru pozdravil dekan Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani prof.dr. Branko Širok, ki je posebej poudaril pomembnost sodelovanja



Univerze in podjetij na raziskovalnem področju. Sledilo je predavanje mag. Janje Petkovšek iz Združenja kovinske industrije na Gospodarski zbornici Slovenije, ki je predstavila aktualno stanje in trende na področju kovinske industrije. V nadaljevanju je prof. dr. Niko Herakovič iz Laboratorija LASIM, Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani, predstavil izzive Industrije 4.0. Ta sklop predavanj je zaključil Jure Skvarč iz podjetja Kolektor Orodjarna – Kolektor Vision, ki je razložil trende strojnega vida in njegovo pozicijo v Industriji 4.0.

V sekciji robotskih aplikacij v strežnih in montažnih sistemih je kot prvi Matej Merkač iz Yaskawa Slovenija predstavil aplikacijo robotske celice za strego CNC stružnice za obrez lesenih lepljenih plošč. Nadaljeval je Tomaž Lasić iz podjetja ABB s predstavitvijo aplikacije robotske celice za vijačenje vrat pralnih strojev. Sledila je predstavitev Matjaža Drenika in Franca Zaberla iz podjetja FANUC Adria, ki sta predstavila kolaborativne robote. Nadaljeval je Blaž Potočnik iz podjetja Domel, ki je predstavil avtomatizirano končno kontrolo rotorja sesalne enote. Sekcijo je zaključil Jure Trnovec iz podjetja Iskra Mehanizmi z zanimivo predstavitvijo avtomatizacije in robotizacije posluževanja navijalnega stroja Sipro.

Sledila je sekcija inteligentne avtomatizacije in podjetja predstavljajo. Matjaž Jenko iz podjetja Riko je govoril o celotni izvedbi projekta avtomatskega paletnega skladišča od zasnove do realizacije. Matej Tomšič iz podjetja Hennlich je razložil prednosti uporabe polimernih linearnih vodil v industriji. Nadaljeval je Simon Omahen iz podjetja Sick, ki je predstavil kontrolo zvara v avtomobilski industriji z IVC-3D kamero. Sledilo je predavanje Jana Kramžarja iz podjetja Inea RBT, ki je obrazložil senzor sile kot integrirano rešitev Mitsubishi robotov. Nadaljeval je Enej Saksida iz podjetja OPL in predstavil bistvene



prednosti Rexroth servo vijačenja. Sekcijo je zaključil Andrej Lovšin iz podjetja Armat, ki je obrazložil montažo fasadnega sistema ART – design.

Sledila je sekcija o inovativnih rešitvah na poti k vitki proizvodnji in strojni vid. Dušan Mesner iz podjetja Gorenje je predstavil ukrepe za povečanje učinkovitosti proizvodnih sredstev. Sledilo je predavanje Teje Povhe iz podjetja Plastika Skaza, ki se je osredotočila na vprašanje, ali je vzpostavitev projektne pisarne velik projekt. S predavanjem sta nadaljevala Peter Metlikovič in Žiga Černe, ki prihajata iz Laboratorija LASIM, Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani in Zavoda Ptica ter iz Leka, in sta predstavila strategijo Toyota KATA. Kot zadnja sta Miha Pipan in Hugo Zupan iz Laboratorija LASIM, Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani predstavila, kako povečati učinkovitost proizvodnih procesov s programom Plant Simulation in strojnimi vidom.

Na razstavnem prostoru pred konferenčno dvorano so imela podjetja možnost predstavitve svoje dejavnosti s publikacijami, demonstracijskimi paneli ali preko večjega promocijskega zaslona. Posvet ASM '15 je bil torej enkratna priložnost za predstavitev novosti in naprednih pristopov, prav tako pa za srečanje strokovnjakov s področja avtomatizacije in za medsebojno izmenjavo mnenj ter izkušenj.

Vsem udeležencem se za obisk in sodelovanje na ASM '15 najlepše zahvalujemo in vse zainteresirane vabimo, da se nam kot soorganizatorji ali udeleženci pridružijo na naslednjem posvetu ASM, ki ga načrtujemo v začetku decembra 2016.

Dr. Mihael Debevec, OO ASM '15 in UL FS, LASIM

Več utrinkov s posveta ASM '15 je dostopnih na spletni strani posveta www.posvet-asm.si.



PRVIČ LETOS SE JE V SLOVENIJI ODVIL SLOVENIAN CASE CHALLENGE 2015

Osnovni namen tekmovanja Slovenian Case Challenge 2015, ki se je v letošnjem letu izvajal prvič, je organizacija tekmovanja študentov v reševanju poslovnih problemov podjetij ter spodbujanje sodelovanja med visokim šolstvom in gospodarstvom. Gre za projekt neprofitne narave, katerega glavna korist je študentom ponuditi možnost pridobitve praktičnih znanj prek reševanja realnih izzivov, ki jih izdajo podjetja. Sodelujočim podjetjem pa sodelovanje pri projektu omogoča pridobitev kakovostnih rešitev študentov, katere lahko uporabijo pri svojem poslovanju.

To je dober način, da študentje pridobijo izkušnje, reference, najboljše pa čaka tudi denarna nagrada.

Letos so študentje izzive reševali podjetjem Danfoss Trata d. o. o., Mercator in Petrol.

Podjetje Danfoss Trata d. o. o. je s področja daljinskega ogrevanja postavilo izziv: Vzdrževanje po potrebi in optimiranje delovanja podpostaje prek portala ECL

Tekmovalci so se morali osredotočiti na parametre delovanja podpostaje, spremljanje parametrov, ocenitev stroškov, možnost implementacije v nove podpostaje ali nadgradnja že obstoječih, kriteriji za odločanje in izvedbe optimiranja delovanja ter predstavitev poslovnega modela in vpeljava izdelka na trg.

Študentke Fakultete za strojništvo, Univerze v Ljubljani, **Miša Oblak, Nada Petelin, Neža Zevnik in Maja Turk** so z inovativno in cenovno najugodnejšo rešitvijo zmagale na tekmovanju Slovenian Case Challenge 2015.

Vir: <http://www.casechallenge.si/>, <http://www.fs.uni-lj.si/sl/>

HITRI NAPOTKI ZA VSAKDANJO RABO

Andreja Cigale

1. PISANJE DELOVNEGA ČASA

Zapis delovnega časa oz. če želimo izraziti časovno zamejeno obdobje od vključno začetka do vključno konca, to lahko zapišemo na dva načina: z besedico od in do ali s pomišljajem, ki pomeni enako kot predloga od, do.

Primer:

- Uradne ure so 9.–19. ure (napačno 9.–19.00).
- Uradne ure so od 9. do 19. ure (napačno od 9.–19. ure).
- Uradne ure so od 9.00 do 19.00 (napačno od 9. do 19.00 ure).
- Uradne ure so 9.00–19.00 (napačno 9.00–19.00 ure).

2.2. PISANJE ČRK, KRATIC ALI ŠTEVK IN BESED

Kadar se pred besedo pojavi črka, kratica ali številka, jih vedno z naslednjo besedo povežemo z vezajem. Če pa se črka, kratica ali številka pojavijo

za besedo, jih pišemo narazen, brez vezaja.

- C-vitamin ali vitamin C
- LCD-televizor ali televizor LCD
- IPC-elektronika ali elektronika IPC
- 10-odstotni popust

3. RAZLIKA MED VEZAJEM IN POMIŠLJAJEM

Vezaj in pomišljaj se ločita v zapisu. Vezaj je najkrajša črtica, ki se uporablja za vezanje besed, najpogosteje se uporablja stično (brez presledka pred njim in za njim). Pomišljaj je daljša črtica, ki označuje zamolk, kaže na vrivke v stavku, nadomešča narekovaj. V nekaterih primerih je stičen, drugih pa nestičen.

Vezaj pišemo:

- med besedami, ki bi jih povezali z in (belo-modro-rdeča zastava),
- med številko in besedo (15-letnica),
- med črko in besedo (TV-spored),
- med osnovo in končajem (s-ji, z-ji),

- med kratico in končnico (NUK-a),
- za naveznim členkom (le-tu, le-tak, le-tega),
- v pisno osamosvojenem delu zloženke (dve-do tričlanska družina),
- v dvojnih imenih, kjer pregibamo oba dela (Šmarje – Sap),
- med osebnim in prevzetim imenom (Josip Murn – Aleksandrov)
- za ločevanje zlogov (vi-jak),
- pri deljenju besed v novo vrsto).
-
- Pomišljaj pišemo:
- za nadomeščanje vejice, kadar želimo nekaj še posebej izpostaviti,
- za izpust glagola (Ti meni - jaz tebi.),
- za zapis zamolka (Rekel je – tako se ne dela.),
- v začetku vrstice za naštevane enote, alineje,
- da nadomestimo predloga od in do (str. 19-25),
- da izrazimo proti (Olimpija - Maribor),
- za matematični znak minus (10 - 7),
- za zapis temperature (-5 °C).

4. RABA VEJICE PRI VEČBESEDNIH VEZNIKIH

V besedilu pogosto naletimo na večbesedne veznike, ki so sestavljeni iz enobesednih veznikov, ki za seboj zahtevajo rabo vejice. Kako ravnati v primeru, če so ti večbesedni? Pri večbesednih ravnamo tako, kot da so enobesedni, zato med njimi ne pišemo vejice.

Primeri:

- namesto da (Namesto da bi bral knjigo, je igral računalniške igrice.)
- zato ker (Zato ker je bil utrujen, je legel na posteljo.)
- kljub temu da (Kljub temu da ga je opozorila, je ni poslušal.)
- medtem ko (Medtem ko sem bral knjigo, je nekdo vstopil v sobo.)
- potem ko (Potem ko je odšla, sem opazil, da je pozabila šal.)
- tako da (Poklical jo je, tako da ni bila v skrbeh.)

5. RABA NIHČE IN NOBEDEN

Besedi nihče in nobeden imata podoben pomen, vendar nista zamenljivi. Nekaj primerov rabe bomo prikazali spodaj:

Nihče:

Besedo nihče uporabimo za ljudi, kadar mislimo na splošno:

- Take priložnosti ne bi smel nihče zamuditi.

Nobeden:

Besedo uporabimo za ljudi, živali, rastline, predmete, pojme. Kadar besedo uporabimo za ljudi, se vedno nanaša na človeka neke določene skupine.

- V mestu so trije hoteli, nobeden nima lastne plaže.
- Nobeden med nami nima dovolj poguma za tak podvig.

PLIN IN PLINSKE TEHNOLOGIJE

MEDNARODNO POSVETOVANJE IN STROKOVNE DELAVNICE

PRVO OBVESTILO IN VABILO AVTORJEM

GRAND HOTEL UNION
10. – 11. NOVEMBER 2015



ZVEZA STROJNIH INŽENIRJEV SLOVENIJE
SKUPINA ZA PLINSKE TEHNOLOGIJE

OKVIRNI PROGRAM POSVETOVANJA

- Trend razvoja plinskih tehnologij in njihova uporaba
- Plin za ogrevanje in hlajenje, plin v tehnologiji in prometu, prihodnja perspektiva uporabe plina
- Dobra praksa in primeri uspešno zaključenih projektov v Sloveniji
- Vodenje projektov na področju vzpostavljanja plinskih tehnologij
- Maritve in vodenje plinovodnih sistemov ter naprav
- Zakonodajni in regulativni okvir na področju sistemov zemeljskega plina
- Standardi, pravilniki in tehnične smernice na področju plinskih tehnologij
- Razvoj plinovodnih omežij in oskrbe z zemeljskim plinom
- Varnost delovanja plinskih sistemov in naprav
- Vzdrževanje in upravljanje sistemov in naprav
- Izobraževanje in prenos znanja na področju plina
- Članstvo v mednarodnih organizacijah in izmenjava izkušenj in znanja

POVABILO ZA UDELEŽBO

Spoštovani,

Vljudno vabljeni vsi, ki želite s svojim strokovnim prispevkom obogatiti program mednarodnega posvetovanja **Plin in plinske tehnologije 2015**, k pripravi in prijavi naslova strokovnega prispevka, avtorjev in inštitucij, ki jih predstavljate s kratkim opisom vsebine vašega dela do vključno **30. junija 2015** na naslov ZSIS (konferenca@zveza-zsis.si). Strokovni odbor posvetovanja vam bo podal odgovor o pregledu in izboru do 31. julija 2015.

Hkrati organizator najavlja, da bo v mesecu avgustu 2015 objavil izbor strokovnih delavnic, ki bodo izvedene drugi dan posvetovanja v ožjih skupinah in na najaktualnejših tematikah s področja plinskih tehnologij.