

# Zahteve pogonskih aktuatorjev v sodobnih pralnih strojih

Vasić, V.<sup>1)</sup>, Hace, A.<sup>2)</sup>, Lazarević, M.P.<sup>3)</sup>, Jezernik, K.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Razvoj PPA, Gorenje d.d., Partizanska 12, 3503 Slovenija

<sup>2)</sup> Inštitut za robotiko, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo,  
Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija,

e-mail: [ales.hace@uni-mb.si](mailto:ales.hace@uni-mb.si); [karel.jezernik@uni-mb.si](mailto:karel.jezernik@uni-mb.si)

<sup>3)</sup> Katedra za primenjenu mehaniku, Mašinski fakultet u Beogradu, Kraljice marije 16,  
11120 Beograd 35, Srbija, e-mail: [mlazarevic@mas.bg.ac.yu](mailto:mlazarevic@mas.bg.ac.yu)

Corresponding author: [vasilije.vasic@amis.net](mailto:vasilije.vasic@amis.net) ([vaso.vasic@gorenje.si](mailto:vaso.vasic@gorenje.si))

## Abstract

### *Some aspects of drive actuator control in contemporary washing machines*

*The contemporary washing machines have advanced electronic process control, which main boundary limits are main functionality (e.g. washing effect) and process side effects (e.g. stability, vibrations). The washing machine motor control is actually multi-constrain optimization task, which demands profound control knowledge to utilize low-cost hardware in order to achieve a compromise solution. Presented is the state of art about the washing machine motion drives (actuators) and their control regarding the fulfillment main functionalities (e.g. clothes dirtiness, cloth weight, water quantity, time of washing).*

*An automatically controlled washing machine includes a laundry drum and a drive motor which drives the laundry drum at a plurality of different speeds for washing machine processes - washing, rinsing and spinning. The speed of the drive motor is adjustable with a (laundry drum rounds-per-minute) control circuit and is determinable in accordance with set-point and actual rpm values. Main focus will be paid on the optimization of washing machine dynamics, which is considered to be (rigid) multibody system, experimentally monitored with vibrations monitoring for steady-state as well as transient system response.*

## Key words:

*DC/AC motor drive, BLDC motor drive, system dynamics, process control, vibrations, washing machine*

## Povzetek

Sodobni pralni stroji so opremljeni z napredno krmilno elektroniko, čigar mejniki uporabe so primarna funkcionalnost pralnega stroja (npr. pralni efekt, čas pranja) in stranski učinki (npr. stabilnost, vibracije). Krmiljenje pogona (motorja) pralnega stroja je dejansko večkriterijska optimizacija, ki zahteva poglobljeno znanje s področja krmiljenja za izkoriščanje nizkocenovne elektronike s ciljem doseganja optimalne (kompromisne) rešitve.

Predstavljeno je stanje pogonov (aktuatorjev) v pralnih strojih in njihovo krmiljenje predvsem glede na glavne funkcionalnosti pralnega stroja (npr. teža perila, čistost perila, količina vode).

Avtomatsko krmiljenje pralnega stroja vključuje boben pralnega stroja in pogonski motor, ki poganja boben z različno hitrostjo glede na pestrost različnih hitrosti za procese programov pranja – pranje, ožemanje in centrifuga. Hitrost pogona (motorja) se prilagaja s krmilno elektroniko (obrti bobna na minuto) in se določajo glede na želeno vrednost in dejansko vrednostjo (obratov).

Glavni poudarek je namenjen optimizaciji dinamike pralnega stroja, ki se smatra za (tog) večkomponentni sistem teles, čigar delovanje se nadzira z opazovanjem vibracij za stacionarne in za prehodne pojave.

## Ključne besede:

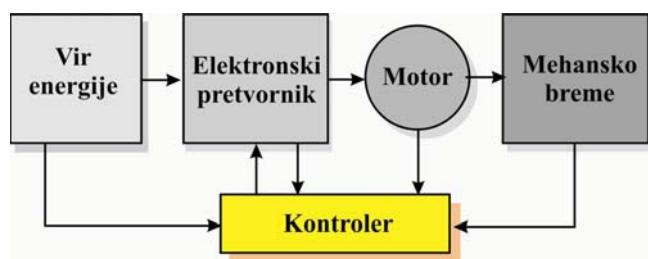
DC/AC motor, BLDC motor, dinamika sistema, vodenje procesa, vibracije, pralni stroj

## 1. Uvod

V sodobnem življenju so gospodinjski aparati neizogibni in od katerih se pričakuje, da bodo okolju in uporabniku prijazni oz. bolj »zeleni« in »pametni«. Ob vsem tem pa seveda vse bolj poceni. To se lahko doseže na različne načine – npr. novi materiali, napredno krmiljenje in pogoni.

Izhajajoč iz podatka, da kar 50% vse porabljene energije v gospodinjstvu odpade prav na gospodinjske aparate in zaradi vse strožje energetske regulative, se pozornost upravičeno posveča energetsko učinkovitim električnim pogonom (aktuatorjem).

Obstajajo različne klasifikacije električnih pogonov (aktuatorjev) in se lahko nanašajo bodisi na vrsto vira energije (npr. izmenični (AC) ali enosmerni (DC) tok) ali pa glede na notranjo strukturo (npr. z navitjem ali brez navitja, s permanentnim magnetom) oz. glede na uporabo krtačk. Vendar pa se z optimizacijo pogona ne razume samo optimizacija samega motorja, temveč celotnega sklopa pogona (npr. vodenje (kontroler), mehansko breme) – **Slika 1**[1].



**Slika 1:** Električni pogon (aktuator)

Za gospodinjske aparate, točneje pralne stroje, velja, da takšen pristop optimizacije – mehanika, elektronika, krmiljenje in software za mehatronski pristop k razvoju produktov[2].

Optimizacija pogona zahteva torej celostno obravnavanje produkta (npr. pralnega stroja) in njegove primarne, ter sekundarne funkcionalnosti (npr. vibracije, hrup).

## 2. Snovanje pogonov pralnih strojev

Primarna funkcionalnost pralnega stroja je pranje perila in to dosežemo s sočasnim delovanjem 4 dejavnikov – temperatura, čas pranja, kemija (pralna sredstva) in mehanika (število obratov centrifuge). Vsi omenjeni dejavniki so pri doseganju končnega učinka soodvisni in vplivajo eden na drugega. Zmanjševanje učinka enega, pomeni povečanje drugega. To soodvisnost opisuje t.i. Sinnerjev cikel ali krog[3],[4].

Vrednotenje učinka gospodinjskih aparatov oz. pralnih strojev je standardizirano in dogovorjeno med proizvajalci bele tehnike s t.i. energijskimi nalepkami, ki se nahajajo na vsakem aparatu. Navajajo se podatki, ki so značilni za aparat npr. poraba (električne energije), hrupnost, porabe vode, učinek pranja in ožemanja, zmogljivost. Vrednotenje se izvaja na osnovi dogovorjenega protokola delovanja – npr. standardni program pranja bombaža pri 60°C, ter vrednoti poraba energije in vode za 200 ciklov pranja (primerljivo za letno porabo 4 članske družine)[5],[6].

### 2.1. Zakonitosti delovanja pralnega stroja

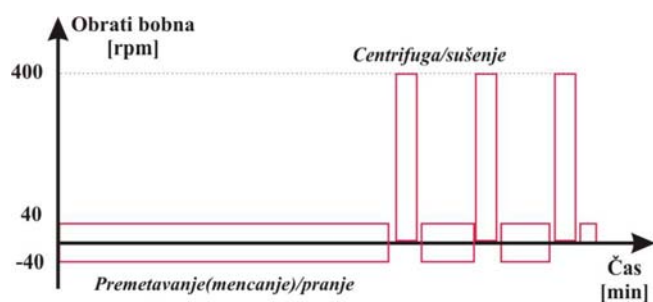
Sodobni pralni stroj sestavlja 5 tematskih sklopov:

- *mehanski del* – npr. ohišje, vzmetenje, boben, kad;
  - *pogon* – npr. motor, jermen, jermenica;
  - *dozirni sistem* – npr. črpalka, dozirna posoda;
  - *kontrolna enota* – npr. uporabniški vmesnik, mikroprocesor;
- in
- *senzorika* – npr. preliv, tlak, temperatura, teža;

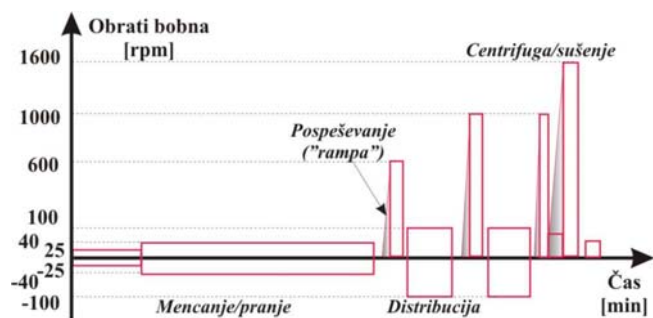
Primarni proces - pralni proces, se izvaja v bobnu, ki je nameščen v kadi pralnega stroja in kamor se vlaga umazano perilo.

Pralni proces je sestavljen iz različnega števila zaporednih osnovnih pralnih ciklov, ki ga razumemo kot skupek različnih (mehanskih) aktivnosti oz. stopenj obratov bobna – mencanje, distribucija, pospeševanje/pojemek in centrifuga. V celotnem procesu pranja se posamezne faze med seboj lahko razlikujejo le po času trajanja in po številu obratov bobna. Le-te pa dopolnjujejo še ostali znani procesi pranja – dotok/črpanje vode, zagrevanje vode in dodajanje pralnega sredstva.

Prikazana sta primera enostavnega in kompleksnega pralnega cikla – **Slika 2**[7].



a.) Enostavni pralni cikel



b.) Kompleksni pralni cikel

**Slika 2:** Enostavni in kompleksni pralni cikel

Običajno je faza mencanja in distribucije 3 do 4 krat daljša od faze centrifuge, ter je namenjena rahljanju perila, pranju in izpiranju (grobih) nečistoč iz perila oz. pravilnemu razporejanju pred končnimi obrati centrifuge. S stališča porabe energije pogoni porabljajo le okrog 15% celotne energije pralnega stroja, kjer preostali del energije odpade na segrevanje vode (toplota).

Uvedba pogonov z variabilnimi hitrostmi je prinesla ne samo za 30% večjo učinkovitost s stališča porabe električne energije, temveč je omogočila tudi generiranje poljubnih pralnih programov in s tem posledično povezano manjšo porabo vode in energije. V zadnjem desetletju so zato moderni pralni stroji dosegli za 14% manjšo porabo električne energije, 87% manj vode in delujejo z 31% nižjimi obratovalni stroški[7],[9],[10],[11].

## 2.2. Funkcionalne zahteve pogonov

V gospodinjskih aparatih, pralnih strojih se najpogosteje uporabljajo 3 tipi motorjev: 2 stopenjski motorji, univerzalni motorji in trifazni motorji[12].

V nizkocenovne pralne stroje se vgrajujejo 2 stopenjski motorji - okrog 15% trga, in univerzalni motorji (AC ali DC s krtačkami) - blizu 80% tržnega deleža, ki se krmilijo preko mikroprocesorja s triak regulacijo. Slednji omogočajo doseganja spremenljivih hitrosti in določanje ekscentričnosti perila (»unbalanced load«), kar je pomembno za energijsko učinkovit prehod v končne obrate centrifuge. Nekatere slabosti slednjih (npr. obraba krtačk, hrup) se premagujejo s t.i. chopper regulacijo.

Vendar pa se z razvojem in cenitvijo kontrolerjev vse bolj uveljavljajo 3 fazni motorji – regulacija V/f ali F.O.C. (Field Oriented Control). Vzajemno primerjavo motorjev pralnih strojev nam prikazuje spodnja tabela – **Tabela 1**[7].

Tudi dimenzijsko so 3 fazni motorji z F.O.C vodenjem precej manjši, tišji in učinkovitejši od tradicionalnih motorjev. Učinkovitost temelji na algoritmu hitrosti in momentnih obremenitev mehanskega bremena, kar je pri učinkovitem krajšanju cikla pranja ključnega pomena.

**Tabela 1:** Primerjava pogonov pralnih strojev

TIP MOTORJA	STROŠKI		UČINEK PRALNEGA STROJA				ZANESLJIVOST
	MOTOR	POGON	ENERGIJSKA UČINKOVITOST	PRALNI UČINEK	OBRATI	HRUP	
DVO STOPENJSKI	nizki	zelo nizki	nizek	nizek	nizek	nizek	zelo visoka
UNIVERZALNI	visoki	nizki	nizek	visok	visok	visok	nizka
TRIFAZNI (V/f kontrola)	nizki	visoki	visok	visok	visok	nizek	visoka
TRIFAZNI (F.O.C.)	nizki	visoki	zelo visok	zelo visok	zelo visok	zelo nizek	visoka

Zaradi vse strožje EU energijske regulative se vse bolj uveljavljajo BLDC motorji (brezkrtačni DC) in sinhronski motorji s permanentnim magnetom (PMSM). K uporabi naprednejših pogonov spodbuja vse večji padec njihovih cen, manj vgradnih komponent (senzorjev) in seveda celotna energijska učinkovitost sistema (npr. pralnega stroja)[13],[14].

### 2.3. Veljavni standardi in predpisi za uporabo pogonov

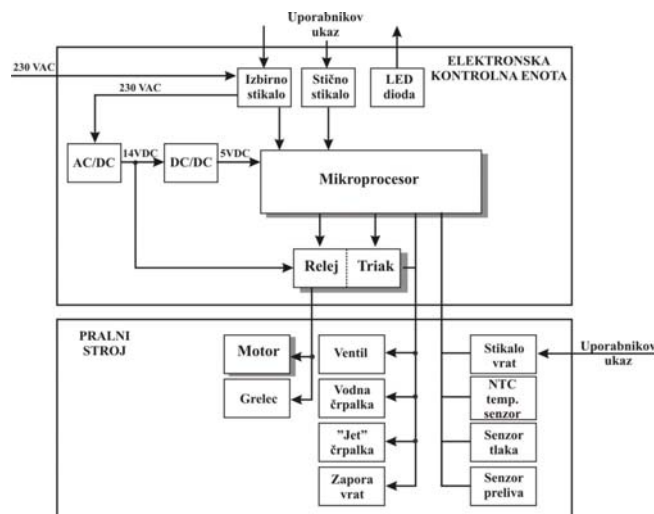
Za uporabo pogonov v sodobnih pralnih strojih je potrebno izpolniti tako veljavne mednarodne standarde, kakor tudi predpise proizvajalca za odobritev prevzema in vgradnjo. To se predvsem nanaša na dogovorjeno validacijo nekaterih primarnih lastnosti (npr. karakteristika momenta, vibracije motorja) in nekatere sekundarne lastnosti (npr. hrup)[12],[16],[17],[18],[19]. Testiranje primernosti pogona lahko poteka na osnovi vzorčnega prevzema (pošiljka ali naključna izbira) ali pa že izvedljiva vhodna kontrola na vsakem pogonu[20],[21].

### 3. Krmiljenje in monitoring pralnih strojev

V sodobnih pralnih strojih najdemo namesto mehanskih oz. mehansko-elektronskih kontrolnih enot zgolj elektronske z mikroprocesorji.

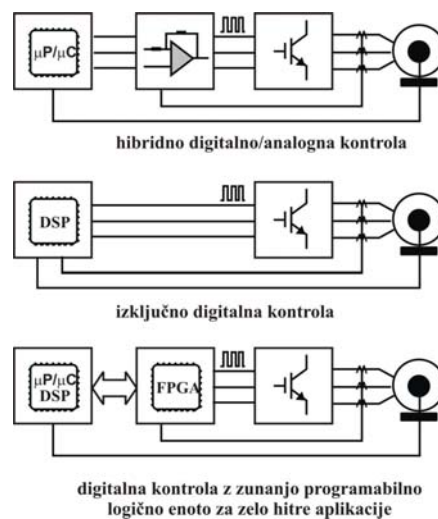
Običajne regulacije z mikroprocesorji uporabljajo na enak način za proženje mehanskih

komponent z releji (večje obremenitve) in triaki (manjše obremenitve) – Slika 3[22].



**Slika 3:** Običajno krmiljenje pralnega stroja

Razen tradicionalnega, hibridnega načina krmiljenja v industriji zasledimo tudi DSP (Digital Signal Processor) in FPGA (Field Programmable Gate Array) pristop – Slika 4[23].



**Slika 4:** Obstoječi načini krmiljenja pralnega stroja

Ključna razlika med klasičnim mikroprocesorjem ali mikrokontrolerjem (MCU) in DSP je v arhitekturi. Prvi pogosto temeljijo na Van Neumanovi, medtem ko DSP temelji na Harvard arhitekturi in s posebnimi računalniškimi vezji za zelo hitro obdelavo signalov. DSP tako omogoča ne samo hitrejši odziv na signale senzorjev, temveč tudi na zelo enostaven in

cenen način izvedbo zahtevnejših regulacijskih algoritmov (npr. PID, FOC, PWM) pri razvojnem inženirju.

Omenjena tehnologija je brez dosedaj obveznih senzorjev hitrosti omogočila ponovno uporabo že znanih pogonov SR (Switch Reluctance) motorjev – npr. pralni stroj Maytag Neptune[24].

Uporabnost je dokazana na primeru zmanjšanja hrupa celotnega pralnega stroja (do 10 dB), ki je vključevalo optimizacijo vzmetenja (posledično vibracij), ter povečanja učinkovitosti pralnega stroja. Takšno generacijo pralnih strojev so poimenovali Super Silent[25].

Vendar pa omenjena tehnologija ni zadnja beseda pri doseganju energijsko učinkovitega pogona pralnega stroja. Za razliko od dosedanjega programa, ki je samostojno deloval na MCU/DSP vezju in uporablja fiksni blok PWM modulacije, pa uporaba digitalno programirljivih vezij FPGA omogoča dodatno fleksibilnost v razvoju. Le-to se odraža v redukciji t.i. total harmonic distortion (THD) za 50% pri največjem modulacijskem indeksu. S tem se zmanjšajo izgube v motorju, hrupnost in poveča zanesljivost. Do sedaj ločen sistemski kontroler in kontroler motorja je sedaj z uporabo FPGA tehnologije združen. To tudi pomeni, da se na istem kontrolerju lahko sprogramirajo profili za različne motorje in profile pranja (npr. podizvedenke pralnih strojev), ter po potrebi tudi enostavno izvede preprogramiranje že obstoječih programov [11].

### 3.1. Stabilnost pralnega stroja

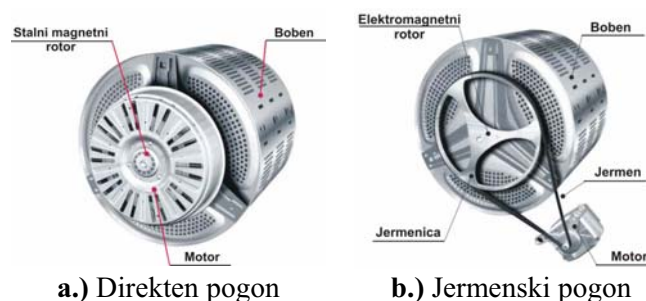
Mirno oz. stabilno delovanje pralnega stroja je ena izmed najbolj zaželenih sekundarnih funkcionalnosti pralnega stroja. Zato se pralni stroj pogosto smatra za dinamični sistem togih teles, kjer optimiramo

dinamično stabilnost glede na proces pranja – mehansko breme[26],[27].

To pomeni, da se pogon optimira glede na mehansko breme (**Slika 1**), kjer se glede na profil pranja (**Slika 2**) – pospeševanje in obrati centrifuge vrednotijo maksimalne amplitude vibracij. Meritve se običajno izvajajo s pospeškometri na kadi pralnega stroja in na ohišju, kamor se prenašajo amplitude vibracij. Zato se mora optimizacija učinkovitosti pralnega cikla izvajati sočasno z dinamično stabilnostjo pralnega stroja, kar v praksi poznamo z nazivom UKS («Univerzalna Kontrola Stabilnosti»)[12],[28].

### 3.2. Hrup in vibracije

Vrednotenje hrupa in vibracij pogona je odvisna od konstrukcijske zasnove, ki ga pri pralnih strojih poznamo v obliki direktnega pogona in klasičnega, jermenskega pogona – **Slika 5**[29],[30].



**Slika 5:** Izvedba pogona pralnega stroja

Direktni pogon je zaradi svoje kompaktnosti tišji in za 15% manjše amplitude vibracij. Pogon ne povzroča isker, dodaten hrup, ima manj elementov (jermen) in porablja manj energije[30].

Vendar pa za vrednotenje hrupa in vibracij moramo poznati prispevek vsake komponente, kot vira hrupa in vibracij.

Vire hrupa pri motorju delimo na mehanske, aerodinamične in elektromagnetne. Uporabniku so zelo

dobro poznani mehanski viri (npr. ekscentričnost, hrapavost) in aerodinamični viri (npr. zračne turbulence, efekt »sirene«), po drugi strani pa je nekoliko manj poznan elektromagnetni vir hrupa. Slednji nastane kot posledica magnetnih sil v konstrukciji motorja, ki pa jih vzbuja izmenični tok v motorju. Vsaka frekvenca, ki se pojavlja v izmeničnem toku in njen harmonik ima poseben učinek na strukturo. Splošno je znano, da mehanski in aerodinamični hrup naraščata sorazmerno z obrati motorja ( $0 \div 50$  Hz), medtem ko pa elektromagnetni ima vrh na sredini (25 Hz) in nato z naraščanjem obratov pada. Hrupnost je tako odvisna od tipa motorja (konstrukcija, moč, hitrost in tip rotorja) in tipa krmiljenja (npr. tip široko pasovne modulacije - PWM)[31],[32].

Praktičen primer iz prakse je prikazan z rezultati zvočne moči pri uporabi različne regulacije univerzalnega motorja[28]:

- AC regulacija – 63,5 dB;
- DC regulacija – 59,4 dB in
- Chopper regulacija – 49,6 dB.

Izkušnje tudi kažejo, da periodično ostra zvišanja električnega toka rotorja in ustrezne prekinitve v vrtilnem momentu so eni izmed največjih vzrokov hrupa med ciklusom pranja.

Pri nekaterih tipih pralnih strojev lahko ohišje pralnega stroja deluje kot akustični ojačevalec, ki privzame vibracije od ohišja motorja preko strukture kadi. Ali drugače, profil obratov bobna (**Slika 2b**) mora upoštevati tudi stopnjo pospeševanja in pojecanja z vidika generiranja hrupa, ter posledično vibracij[25].

Poznavanje pogona in karakteristike regulacije je ključnega pomena pri obvladovanju hrupa in vibracij celotnega gospodinjskega aparata – pralnega stroja.

## 4. Zaključek

Razvoj sodobnega in uspešnega produkta zahteva sočasnost, ter multidisciplinarnost oz. v našem primeru mehatronski pristop razvoja. Razvoj sodobnih pogonov v pralnih strojih je spodbujen z razvojem mikroelektronike in regulacij. Že prehod z mehanskega ali hibridnega krmiljenja na povsem elektronsko krmiljenje je prineslo za kar 50% izboljšanje energijske učinkovitosti pralnih strojev.

Ekonomski razlogi so omogočili uporabo tehnično precej ugodnejših BLDC in PMSM motorjev, ki zamenjujejo univerzalne oz. 3 fazne motorje. To pomeni tudi konstrukcijsko drugačno zasnovo celotnega pogona pralnega stroja npr. direct drive.

Nadaljni razvoj kontrolerjev oz. vezja je uvedel pojme DSP (Digital Signal Processing) in FPGA tehnologije. Slednje je še posebej ugodno, ker omogoča uporabo enega vezja za večstransko uporabnost (npr. izvedenke istega pralnega stroja) pri različnih motorjih ali pri kombinaciji (npr. pralni stroj / sušilec). V industrijskem okolju to pomeni elegantnejše, cenejše in časovno krajše, ter zanesljivejše projektiranje pogonov učinkovitih aparatov – pralnih strojev.

## 5. Literatura

- [1] El-Sharkawi, Mohamed A.: Fundamentals of electric drives, Pacific Grove, CA : Brooks/Cole, cop. 2000, 314 str. : ilustr. ; 25 cm
- [2] Vasic, V.S., Lazarević, M.P.: Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design, Faculty of Mechanical Engineering Transactions (2008) 36, p. 103-108 Faculty of Mechanical Engineering, University Belgrade (Serbia), (www.mas.bg.ac.yu/istrazivanje/biblioteka/publikacije)

- /Transactions\_FME/Volume%2036/3/02\_MLazarevic.pdf)
- [3] Skrt, B., Pirih, S., Rebec, N., Resman, A. : Smeri razvoja pralnih strojev, Velenje : Gorenje Gospodinjski aparati, 1989, 73 f : ilustr. ; 30 cm
- [4] Tschulena, G., Lahrmann, A.: Sensors in household appliances, Weinheim, Cambridge : Wiley-VCH, 2003, 287 str. : ilustr. ; 25 cm
- [5] SIST EN 60456: 2001 - Odredba za energijsko označevanje gospodinjskih pralnih strojev, Uradni list RS, št. 104/2001 z dne 19.12.2001
- [6] Vasić, V., Holeček, N.: pravci razvoja kućnih aparata za buduća očekivanja potrošača u globalnim uslovima, Energetska efikasnost u sistemima KGH i građevinskim objektima - Beograd : Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), 2001, - str. 108-116;
- [7] Bianchi, A., Buti, L.: Three-Phase A.C. Motor Drive and Controller for Clothes Washers, Appliance Magazine, June 2003 (50th International Appliance Technical Conference, Purdue Univ. March 2003);
- [8] Teschler, L.E.: Motors Move Toward More Efficiency, Machine design, (<http://machinedesign.com/article/motors-move-toward-more-efficiency-0410>), April 2008
- [9] Murray, A.: Appliance motors turn green, (<http://machinedesign.com/article/appliance-motors-turn-green-1214>), December 2006
- [10] Mahoney, P.: If you can't conserve energy, stay out of the kitchen, (<http://machinedesign.com/article/if-you-cant-conserve-energy-stay-out-of-the-kitchen-1012>), Oktober 2006
- [11] Peron, M., Joyce, J.: FPGAs Enable Energy-Efficient Motor Control in Next-Generation Smart Home Appliances, White paper, Altera company, [www.altera.com](http://www.altera.com), March 2009
- [12] Spasić, M., Koželjnik, J.: Osvajanje elektromotorjev za pralni stroj, pripravniska naloga, Gorenje, Velenje, 2008
- [13] Kapun, A., Hace, A., Jezernik, K.: Parameters identification of the dynamics model of a stepping motor with permanent magnet, Advanced intelligent mechatronics, 4-7 Sept., 2007, Zurich (Switzerland), p. 1-6
- [14] Kapun, A., Čurkovič, M., Hace, A., Jezernik, K.: Identifying dynamic model parameters of a BLDC motor. Simulation Modelling Practice and Theory 16(9): 1254-1265 (2008)
- [15] SIST EN 60335-1 (2003): Varnost električnih gospodinjskih in podobnih aparatov – Splošne zahteve;
- [16] SIST EN 60335-2-7 (2003): Varnost električnih gospodinjskih in podobnih aparatov – Zahteve za pralne stroje;
- [17] DIN EN 60704-2-4:2002 Household and similar electrical appliances - Test code for the determination of airborne acoustical noise - Part 2-4: Particular requirements for washing machines and spin extractors
- [18] UL 2157 (1997): Electric Clothes Washing Machines and Extractors;
- [19] Gorenjski Tehnični Predpis (GTP) 21 : Enofazni asinhronski motor, Gorenje, Velenje, 2005;
- [20] MEA: Inertial Dynamometer for Assembly/Production line, ([www.meatesting.com](http://www.meatesting.com));
- [21] Albas, E., Durakbasa, T., Eroglu, D.: Application of a new fault detection technology for quality improvement of appliance motors, acquired November 10, 2002, ([www.artesis.com/Products/Mqm/iatc2000artesispaper.pdf](http://www.artesis.com/Products/Mqm/iatc2000artesispaper.pdf))
- [22] Usar, D.: Orodje za preizkušanje in diagnostiko pralnega stroja, Poročilo praktičnega izobraževanja, FERI, 2007
- [23] Vukosavić, N.S.: Controlled electrical drives – status of technology, (<http://ddc.etf.bg.ac.yu/trendovi.pdf>), March 2009
- [24] Fedigan, S.J., Charles P. Cole: A variable-speed sensorless drive system for switched reluctance

- motors, Texas Instruments, Application Report, SPRA600 - October 1999
- [25] Russel,J.: Motors and Air-Moving Devices - Controlling Product Performance, Appliance, January 2005
- [26] Vasić,V.: Vloga in pomen merjenja vibracij pri razvoju pralnih strojev, IRT 3000, Letn. 4, št. 19 (februar 2009), str. 42-45
- [27] Lazarević, M.P. and Vasić, V.S.: Mathematical modelling and simulation of a washing machine: a robotic approach, in: Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Structures Technology, 02-05.09.2008, Athens, pp.115-122
- [28] Poljanšek, B.: Vpliv elektromotorjev pralnega stroja na njegovo akustično moč : diplomska naloga v višješolskem strokovnem izobraževalnem programu elektronika, Gorenje, Velenje, 2004
- [29] LG: LG Steam direct drive – Training Guide , www.lg.com, Februar 2009;
- [30] LG: A better life with LG Washing Machine & Dryer, Spring 2006, LG brochure
- [31] Capitaneanu,S.L., Fornel,B., Fadel,M., Jadot,F.: On the acoustic noise radiated by PWM AC motor drives, *Automatika* 44(2003) 3–4, p. 137–145
- [32] Ozturk, C.; Gok, B.; Acikgoz, H.; Balikcioglu, A.: Noise emission of universal motor drives, *Industry Applications Magazine, IEEE*, Volume 4, Issue 4, Jul/Aug 1998 Page(s):49 – 66;