

NASTAVITEV PARAMETROV POSPEŠKOMERA ZA PREPREČEVANJE UDAROV IN PREMICOV PRALNIH STROJEV PRI NIZKIH VRTILNIH HITROSTIH BOBNA

Aleš Rosenstein, Timi Karner, Ervin Strmčnik

Izvleček:

Razumevanje in obvladovanje vibracij uvrščamo med najtežje izzive pri razvoju pralnih strojev. V prispevku sta prikazana način in postopek nastavitve parametrov, s katerimi dosežemo izboljšanje delovanja pralnega stroja z implementacijo pospeškometera. Uvodoma so predstavljeni pregled stanja tehnike in teoretične osnove, ki se navezujejo na delovanje pospeškometerov ter pralnih strojev, v nadaljevanju pa metode dela in rezultati raziskav, ki so podrobneje analizirani v diskusiji. Podane so mehanska in električna specifikacija ter eksperimentalna potrditev pospeškometera, ki smo ga uporabili na treh različnih pralnih strojih. Raziskave so podale mejne vrednosti pospeškometera, ki preprečijo udar oziroma poskakovanje pralnega stroja. Rezultati vključujejo primerjavo grafov različnih pralnih strojev v odvisnosti od razmer med izvajanjem meritev.

Ključne besede:

pralni stroj, pospeškometer, vibracije, ekscentrična masa perila, deviacijska obremenitev

1 Uvod

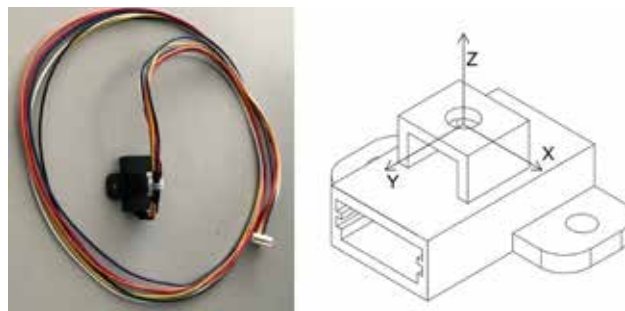
1.1 Predstavitev problema

Pri razvoju pralnih strojev je eden izmed ciljev mirno delovanje aparatov pri vseh obratovalnih vrtilnih hitrostih. Želimo si, da do nihanj in vibracij, ki bi povzročile hrupnost in premike pralnega stroja med delovanjem, ne pride. Na drugi strani ciljamo na vedno dobro ožeto perilo. Povečana nihanja in vibracije lahko preprečimo z uporabo pospeškometera. Raziskali smo možnosti za izboljšano delovanje pralnih strojev z uporabo pospeškometerov. Pri pregledu stanja tehnike smo se osredotočili na delovanje pospeškometera ter možnosti njegove uporabe. Nato smo preučili konkreten pospeškometer, ki ga trenutno uporabljamo v podjetju. Pri raziskavi smo z eksperimentalnim delom preverili kalibracijo, komunikacijo in delovanje pospeškometera. Analize smo opravili na več različnih tipih pralnih strojev ASKO.

Aleš Rosenstein, dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, **doc. dr. Timi Karner**, mag. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, **Dr. Ervin Strmčnik**, mag. inž., Gorenje, d. o. o., Velenje

1.2 Pregled stanja tehnike

Podjetje Gorenje je za implementacijo izbralo pospeškometer proizvajalca ATMEMS, ki deluje po elektromehanskem MEMS-principu (ang. *Micro-electromechanical Systems*). Pospeškometer je prikazan na *sliki 1*. Merilniki pospeška MEMS merijo pospeške na eni, dveh ali treh pravokotnih oseh in se uporabljajo za ugotavljanje usmeritve glede na pospešek gravitacije ter za merjenje vibracij in sunkov. Merilniki pospeška temeljijo na silicijevem (Si) polprevodniku. Fizični princip merjenja temelji na toplotnem ali kapacitivnem pristopu. Kapacitivni pristop je morda bolj primeren za nekatere aplikacije, na primer zaznavanje trkov in aktiviranje zračnih blazin. Po dru-



Slika 1 : Videz pospeškometera

gi strani pa je toplotni pristop, ki temelji na principu konvekcije molekul plina, ogrevanih v zaprti votlini, bolj primeren za elektronski nadzor stabilnosti ESC (ang. *Electronic Stability Control*). Kapacitivni merilniki pospeška, znani tudi kot senzorji vibracij, se zanašajo na spremembo električne kapacitivnosti kot odziv na pospešek. Merilniki pospeška uporabljajo lastnosti nasprotnega ploščnega kondenzatorja, pri katerem se razdalja med ploščama spreminja sorazmerno z uporabljenim pospeškom, s čimer se spremeni kapacitivnost. Piezoelektrični pospeškometri izkoriščajo piezoelektrični učinek ali napetost kristalne strukture s pospeševalnimi silami, ki povzročajo mehanske obremenitve, pretvorjene v električni signal. Aktivni element v piezoelektričnem merilniku pospeška je piezoelektrična keramika. Ena stran keramike je toga povezana s telesom merilnika pospeška, na drugi strani je dodana potresna masa. Ko je merilnik pospeška izpostavljen vibracijam, nastane sila, ki deluje na piezoelektrični element in potresno maso. Zaradi piezoelektričnega učinka se iz te vibracije ali udarca ustvari izhodni naboj, sorazmeren uporabljeni sili [1].

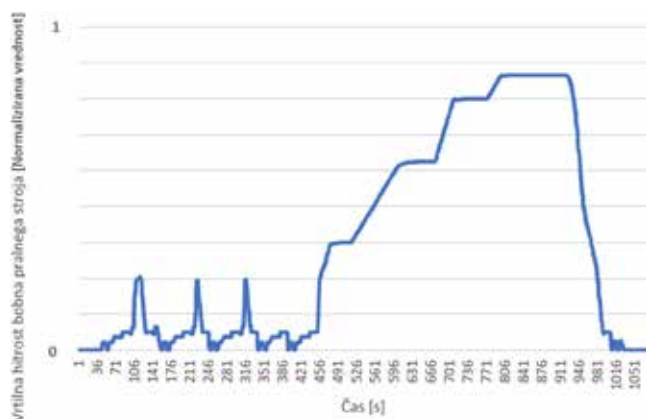
2 Teoretične osnove

V tem poglavju bomo predstavili faze delovanja pralnega stroja in delovanje pospeškometra.

2.1 Predstavitev delovanja pralnega stroja

Delovanje pralnega stroja lahko razdelimo v tri večje faze:

1. pranje perila (dolivanje in gretje vode ter detergenta z mencanjem perila),
2. izpiranje perila (izpiranje umazanih in detergenta z dodajanjem vode in mehčalca),
3. ožemanje perila (razporejanje perila in ožemanje v fazi centrifuge pri vrtljajih do 1600 vrt./min).



Slika 2 : Izmerjeni profil vrtilne hitrosti bobna pralnega stroja v fazi ožemanja perila

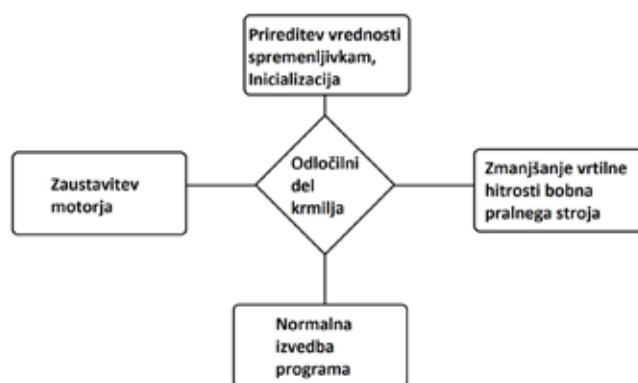
Centrifuga je zadnja faza pranja perila, in sicer gre za fazo ožemanja perila. V tej fazi je največ možnosti za pojav vibracij in udarcev. Ožemanje poteka v več korakih. Potek vrtilne hitrosti bobna pralnega stroja v odvisnosti od časa je grafično prikazan na sliki 2. Prikazane so normalizirane vrednosti.

Najprej poteka faza mencanja, kar se dogaja pri vrtilnih hitrostih v območju od 0 vrt./min do 100 vrt./min. S tem poskuša stroj enakomerno porazdeliti perilo v bobnu, kar zmanjša možnost za pojav velike ekscentrične mase. Nato pomeri maso in ekscentričnost perila. V primeru, da stroj odčita preveliko ekscentrično maso, meritev ponovi še enkrat, kar je razvidno s *slike 2*. Po vsaki meritvi stroj zavrti bobno do določene vrtilne hitrosti. Pralni stroj gre v centrifugo, ko odčita vrednosti ekscentričnosti perila, ki so nižje od mejnih vrednosti. Ta se izvede po korakih in dosega vmesne vrtilne hitrosti in po določenem času končno vrtilno hitrost. Pralni stroj nekaj časa vrti bobno s končno vrtilno hitrostjo, nato pa se ustavi. V primeru, da stroj po določenih poizkusih ne odčita dovolj majhne ekscentričnosti perila, se pralni program zaključuje.

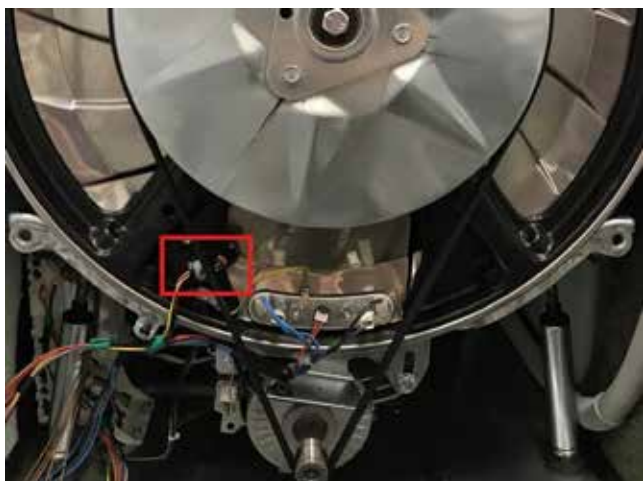
2.2 Delovanje pospeškometra

Pospeškometer je vključen v krmilni algoritem pralnega stroja. Ta deluje po diagramu poteka, ki je predstavljen na *sliki 3*. Krmilje deluje v petih fazah. V prvi fazi pospeškometer priredi vrednosti spremenljivkam filtra 1. Vrednosti filtra 2 so pozitivne odčitane vrednosti, filtra 3 pa negativne vrednosti. Filter 1 vsebuje povprečje izmerjenih vrednosti. V drugi fazi sledi odločilni del krmilja, ki razdeli pot programa na tri možne podfaze. Pralni stroj se lahko odloči za normalno delovanje profila centrifuge, za zmanjšanje vrtilne hitrosti motorja ali za zaustavitev motorja.

Pospeškometer je pritrjen na pralno enoto (v nadaljevanju bomo namesto besedne zveze »pralna enota« uporabili strokovni izraz »pralna grupa«), ki jo sestavljata bobno in kad pralnega stroja. Točna lokacija pospeškometra je prikazana na *sliki 4*.



Slika 3 : Diagram poteka delovanja pospeškometra v pralnem stroju



Slika 4 : Mesto pritrditve pospeškometera

3 Eksperimentalno delo

V tem poglavju bomo predstavili predmet in metodologijo raziskave.

3.1 Predmet raziskave (pralni stroji)

Nastavitve parametrov smo izvedli na treh različnih aparatih, in sicer na *ASKO 75 Professional*, *ASKO 85 Professional* in *ASKO 85 Domestic*. Oznaka ASKO poimenuje proizvajalca pralnih strojev. Številka 75 oziroma 85 označuje prostornino pralne grupe. Delimo jih še na dve skupini:

- ▶ pralni stroji *ASKO Professional* se uporabljajo za profesionalno uporabo v pralnicah,
- ▶ pralni stroji *ASKO Domestic* so namenjeni uporabi v domačem gospodinjstvu.

Cilj meritev je, da poiščemo pospeške, ki so kritični za delovanje pralnega stroja.

3.2 Metodologija raziskave (merilna veriga, postopek merjenja, način analize rezultatov)

Merilna veriga je v obliki blokovne sheme predstavljena na *sliki 5*.

Merjenja smo se lotili tako, da smo pralni stroj povezali z računalnikom s pomočjo vmesnika za prenos podatkov ter programskega okolja MAT (Memory

Access Tool). Ta nam je omogočal prikaz in shranjevanje podatkov pralnega stroja.

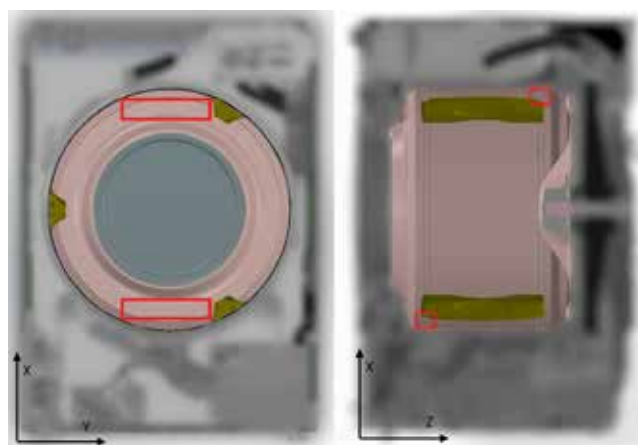
Vse meritve smo shranili v Excelovo datoteko, iz katere smo kasneje analizirali vrednosti, ki so se generirale na pospeškometeru. Vrednosti na izhodu elektronike, ki smo jih analizirali, so izražene z biti. Njihovo definicijsko območje se razpenja v območju od najmanjše 0 do največje vrednosti 65535.

Zaradi narave eksperimentalnega dela smo nenehno izboljševali metode določevanja mej, zato so postopki za določen stroj med sabo nekoliko različni. Na podlagi izkušenj in ekspertnega znanja smo vedeli, da so za delovanje pralnega stroja neugodne deviacijsko postavljene uteži.

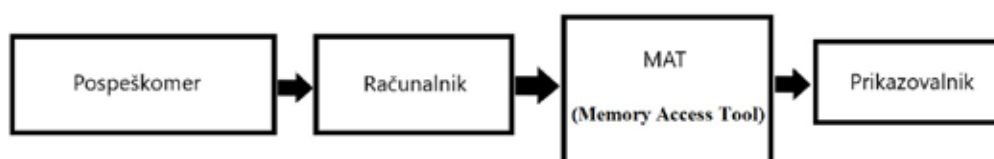
Deviacijsko obremenitev smo označevali s simboli, kot so 1000+1000 ali 1200+1200. Oznaka je odvisna od mase vstavljenih uteži. Uteži vstavimo eno na spodnji zadnji del, drugo pa na vrhni sprednji del bobna. Pomembno je, da sta uteži čimbolj točno vstavljeni na nasprotni strani. S tem smo poskušali simulirati čisto deviacijsko obremenitev, do katere lahko pride tudi pri ožemanju perila. Zanimalo nas je, pri katerih masah uteži je prišlo do povečanja vibracij oziroma udarov pralne grupe ob ohišje pralnega stroja, ki si jih ne želimo.

- ▶ Deviatijska obremenitev:

Na *sliki 6* je shematsko prikazana lokacija vstavljenih uteži simulirane deviatijske obremenitve.



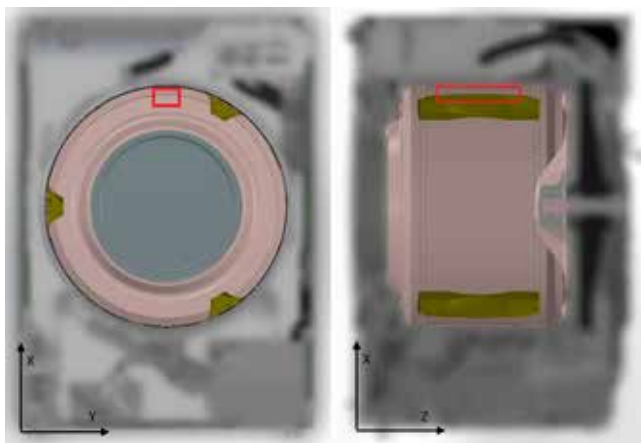
Slika 6 : Shematski prikaz pralnega stroja z deviatijsko obremenitvijo



Slika 5 : Merilna veriga

► Ekscentrična obremenitev:

Ekscentrično obremenitev simuliramo tako, da je utež na obodu bobna postavljena na sredino po globini bobna pralnega stroja. Shematski prikaz ekscentrične obremenitve je prikazan na *sliki 7*. Omejena obremenitev povzroči pospeške v X- in Y-osi, zaradi katerih redkeje pride do udara pralnega stroja. Ravnina XY je vzporedna vratom pralnega stroja.



Slika 7 : Shematski prikaz pralnega stroja z ekscentrično obremenitvijo

Vse meritve so bile izvedene na pralnem programu »ožemanje«. Ta pralni program je namenjen samo centrifugiranju oziroma ožemanju perila. Za izbiro

tega programa smo se odločili, ker običajno prihaja do vibracij pralnega stroja ravno v fazi ožemanja perila. Pralni program »ožemanje« nam je omogočal, da so meritve potekale hitreje, ker smo preskočili vse faze pranja in takoj začeli z merjenjem.

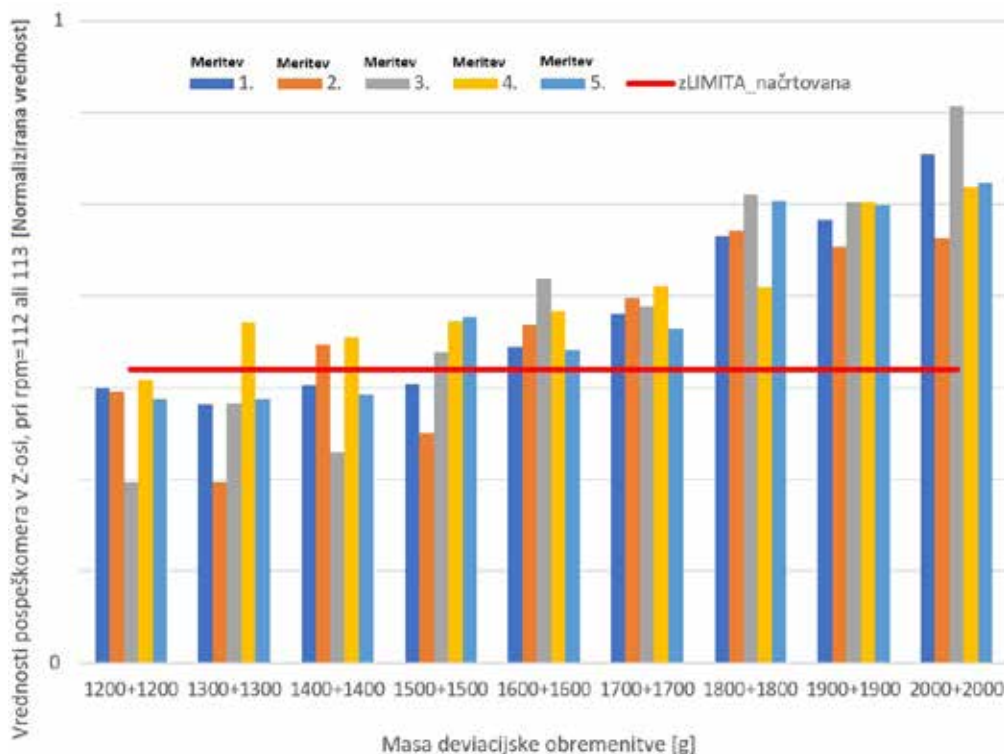
Analiza je potekala na način, da smo izpisovali največje izmerjene vrednosti pospeška v Z-osi glede na posamezno meritev. Na podlagi eksperimentov smo določili, katere so bile mejne vrednosti, ko je prišlo do nesprejemljivih udarov pralne grupe v ohišje.

4 Rezultati

V tem poglavju so predstavljeni rezultati meritev za pralne stroje ASKO 85 Professional, ASKO 75 Professional, ASKO 85 Domestic. Zaradi poslovnih skrivnosti bodo na ordinatni osi prikazane normalizirane vrednosti.

4.1 ASKO 85 Professional

Na *sliki 8* so prikazane največje vrednosti pospeška v Z-osi za pralni stroj ASKO 85 Professional pri različnih deviacijskih obremenitvah od 1200+1200 do 2000+2000 s korakom 100 gramov, ki so bile odčitane pri 112 vrt./min oziroma 113 vrt./min. Za vsako deviacijsko obremenitev smo opravili pet meritev, kar nam je prineslo večjo točnost in posledično bolj pravilno določitev parametrov pospeška. Lah-



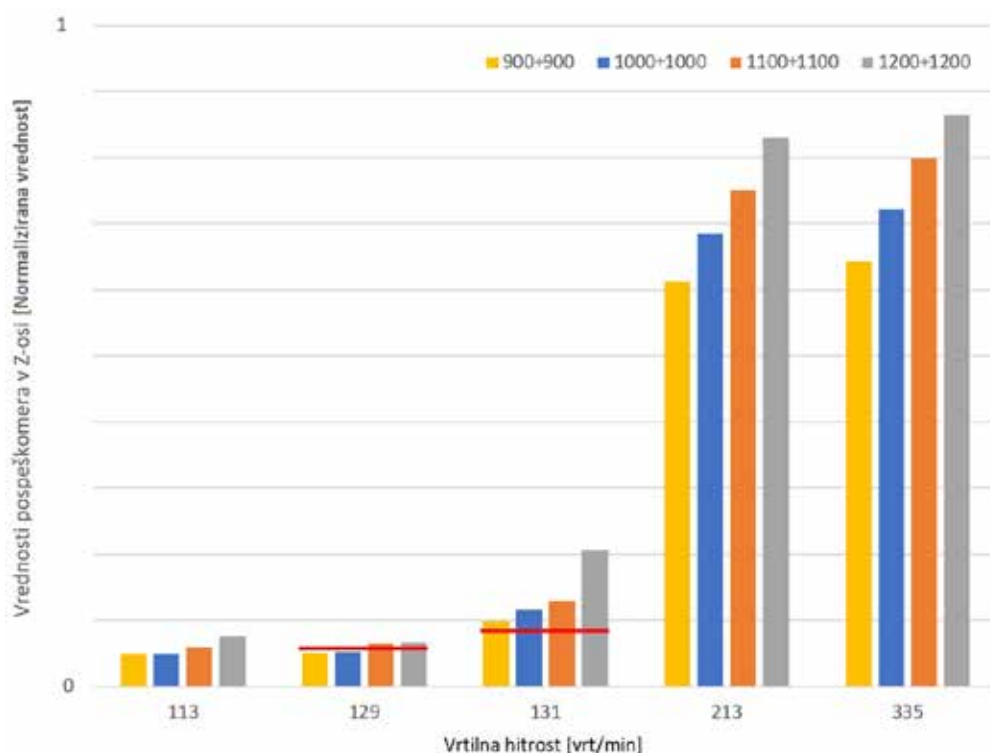
Slika 8 : Rezultati analize vpliva deviacijskih obremenitev na vrednosti pospeška v Z-osi pri vrtilnih hitrostih od 112 vrt./min do 113 vrt./min za pralni stroj ASKO 85 Professional

ko se opazi, da se z večanjem deviacijske obremenitve povečuje tudi največji pospešek po Z-osi.

Glede na graf in eksperimentalno pridobljene izkušnje smo zastavili načrtovano mejo, pri kateri pospeškomer omeji delovanje pralnega stroja in ne doseže večjih vrtilnih hitrosti.

4.2 ASKO 75 Professional

Meritve na *sliki 9* prikazujejo največje vrednosti pospeškomera v smeri Z-osi v odvisnosti od različnih vrtilnih hitrosti glede na različne deviacijske obremenitve za stroj ASKO 75 Professional. Obseg meritev vključuje deviacijske obremenitve od 900+900 do 1200+1200 s korakom 100 gramov. Vsaka deviacijska obremenitev je predstavljena pri petih različnih obratih. Z rdečo črto so prikazane predlagane meje, ki so postavljene glede na ekspertno znanje. Opazili smo, da je med delovanjem pralnega stroja deviacijska obremenitev 1200+1200 že kritična in s tem negativno vpliva na delovanje pralnega stroja. Rezultati prikazujejo, da se pospešek povečuje z večanjem tako deviacijske obremenitve kot vrtilnih hitrosti.



Slika 9 : Rezultati analize vpliva deviacijskih obremenitev na vrednosti pospeškomera v Z-osi pri vrtilnih hitrostih od 112 vrt./min do 113 vrt./min za pralni stroj ASKO 75 Professional.

4.3 ASKO 85 Domestic

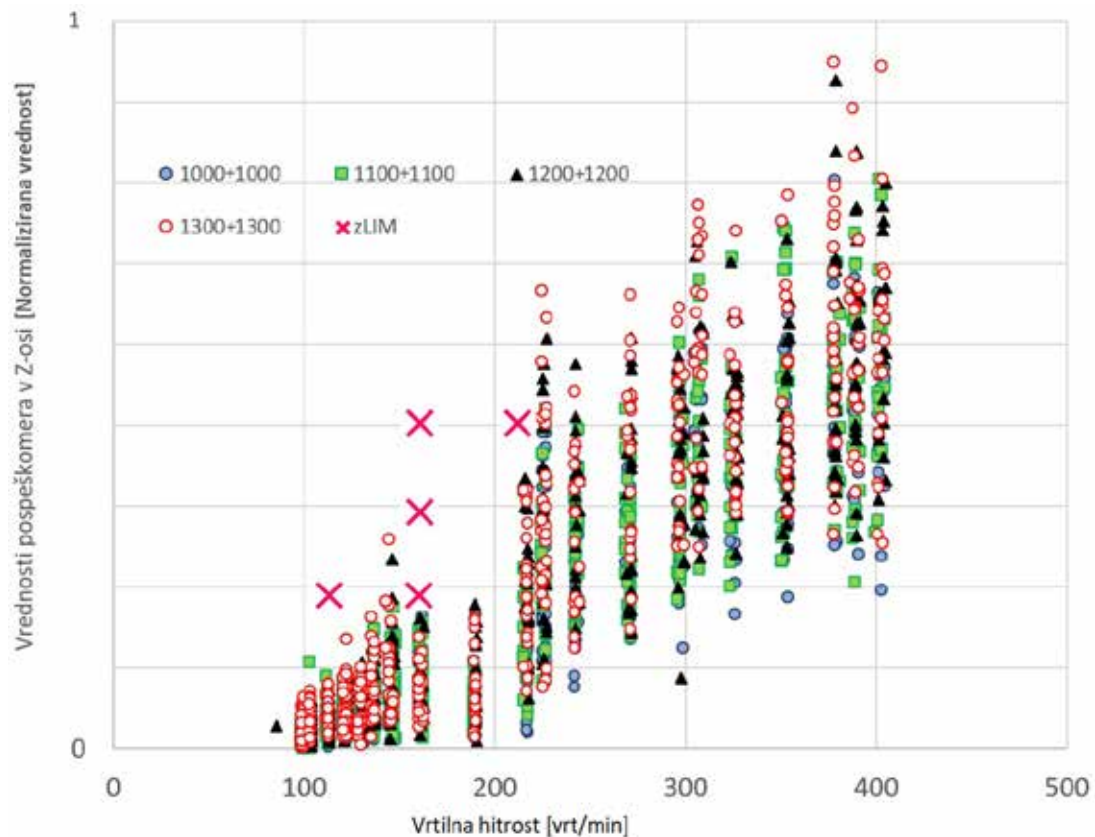
Meritve na *sliki 10* prikazujejo vrednosti pospeškomera v Z-osi za različne deviacijske obremenitve pri različnih vrtilnih hitrostih za stroj ASKO 85 Domestic. Deviatijske obremenitve naraščajo s korakom 100

gramov od obremenitev 1000+1000 do 1300+1300. Opazimo, da se vrednosti pospeška večajo z večanjem vrtilne hitrosti bobna oziroma z večanjem deviacijske obremenitve. Na grafu so s križcem predstavljene predlagane meje, ki so postavljene glede na odzive pralnega stroja med testiranjem.

5 Zaključek

Neenakomerno razporejena masa v bobnu pralnega stroja ima zelo velik vpliv na njegovo delovanje. Večja, kot je masa nerazporejenega perila, večja je možnost za generiranje ekscentrične mase in povečane vibracije ter udare pralne grupe v ohišje pralnega stroja. V najslabšem scenariju pralna grupa udari tako močno, da se premakne cel pralni stroj in v tem primeru govorimo o premiku pralnega stroja. To je eden od najbolj kritičnih primerov, ki se lahko zgodi med delovanjem pralnega stroja. Udari in premiki niso edine možne posledice nerazporejenega perila, saj imamo lahko na drugi strani problem, ki se navezuje na neuspešno izvedeno centrifugo. V primeru velike ekscentrične ali deviatijske mase prihaja do

situacije, ko krmilje pralnega stroja ne dovoli prehoda v višje vrtilne hitrosti bobna pralnega stroja in zato govorimo o neuspešno ožetem perilu. Na osnovi rezultatov meritev smo opravili podrobne analize in določili mejne parametre pospeškomera ter na ta način izboljšali delovanje pralnih strojev.



Slika 10 : Rezultati analize vpliva deviacijskih obremenitev na vrednosti pospeškomera v Z-osi pri določenih vrtilnih hitrostih za pralni stroj ASKO 85 Domestic

Viri

- [1] Di Paolo Emilio, M. (2021). »The future of Automotive: Electronics and EVs«, v EE Times Europe.
- [2] Rosenstein, A. (2021). »Izboljšanje delovanja pralnega stroja z uporabo pospeškomera«.
- [3] Habjanič Doler, I. (2006). »Vpliv različnih ritmov mencanja na pralni in izpiralni učinek«. Diplomsko delo, Maribor: Univerza v Mariboru, FKKT – Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo.

A setting of accelerometer's parameters for prevention of impacts and movements of washing machines at low rotational speed of drum

Abstract:

Nowadays, vibrations are listed as among the most difficult challenges in the research and development of washing machines. This paper shows the method and procedure of setting up parameters for improvements of the performance of the washing machine by implementing the accelerometer. In the very beginning, an overview of the state of the art and the theoretical basis related to the operation of accelerometer and washing machines were presented. In the next sections, the method and the result of the research were analysed in more detail. A mechanical and an electrical specification and an experimental accelerometer validation were given for three different types of washing machines, including, an output of research were accelerometer's limits to prevent the washing machine from being hit or bounced. The result included a comparison of figures for different washing machines depending on the operation conditions during measurements.

Keywords:

Washing machine, accelerometer, vibration, eccentric mass, deviation load