

M. Lukaček, J. Hoster, A. Sušić*

ODREĐIVANJE OPTIMALNOG POLOŽAJA I MASE UTEGA ZA PRIGUŠENJE VIBRACIJA NA RUČKAMA RUČNE MOTORNE KOSILICE (TRIMERA)

UDK 631.316.6:534.2
PRIMLJENO: 4.11.2023.
PRIHVAĆENO: 2.5.2024.

Ovo djelo je dano na korištenje pod Creative Commons Attribution 4.0 International License



SAŽETAK: U ovom radu prikazano je određivanje mjerenjem optimalnog položaja i mase utega za prigušenje vibracija na ručkama ručne motorne kosilice s polimernom niti (trimera). Slobodne inercijske sile zbog rada motora kosilice uzrokuju vibracije tijela (štapa) kosilice kao elastičnog tijela (savitljivog štapa). Vibracije štapa uzrokuju vibracije glave kosilice i vibracije ručki. Vibracije ručki predstavljaju problem za ljudsko zdravlje koje mogu uzrokovati neugodne nuspojave u živčanom sustavu (osjećaj žarenja) ili trajna oštećenja živaca. Mjerni postav sastoji se od motorne kosilice ovješene užetima za ručke i na mjestima prihvata remena te dodanim utezima kruto spojenim na cijev kosilice. Korištena je kosilica s ručkama na cijevi u obliku slova „U“. Utezi su kruto spojene i ispod ručki na njihove cijevi čeličnim obujmicama. Mjerenje je provedeno ubrzanim snimanjem kamerom sa 60 fps (frames per second) ugrađenom u iPhone 8 plus te analizom snimki pomoću računalnog programa Kinovea. Kinovea kao izlaz daje kinematiku odabranih točaka, ručki, kao funkciju vremena. Mjerenje je provedeno na minimalnoj brzini vrtnje motora u praznom hodu, i na oko dvije trećine najveće brzine vrtnje motora. Na temelju analize ubrzanja ručki kosilice bez utega uspoređene s ubrzanjem ručki s dodanim utezima vidljiv je utjecaj dodanih masa na odabrana mjesta uz glavu i ispod ručke kosilice. Ovakav pristup daje dobre smjernice koliko mase i gdje staviti kako bi se vibracije na ručkama prigušile u najvećoj mjeri primjenom jednostavnog mjernog postava i opreme. Provedeno je i mjerenje u radu kosilice oslonjene na čovjeka te subjektivno procijenjen utjecaj utega prema Borgovoj skali. Zaključak mjerenja je da je najbolje staviti utege oko 0,5 kg ispod svake ručke zbog najboljeg prigušenja poprečnih vibracija na ručkama, s prihvatljivim povećanjem ukupne mase kosilice.

Cljučne riječi: ručna motorna kosilica (trimer), vibracije ručki, uteg za prigušenje, Kinovea, elastična cijev

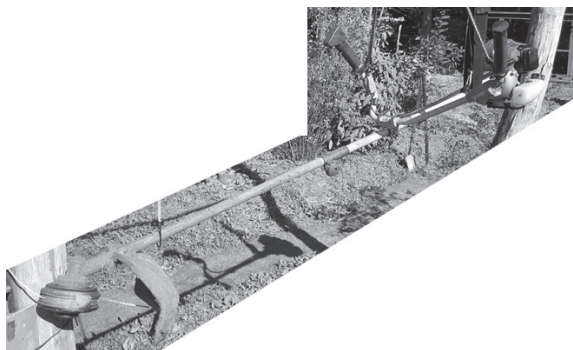
UVOD

Motorna ručna kosilica (trimer) kao vrlo čest uređaj za uređivanje okoliša kuće omogućuje košnju raznih neravnih terena. Velika većina motornih kosilica (pri tome se podrazumijevaju motori s unutrašnjim izgaranjem) ima jednocilindrični

dvičini dvotaktni benzinski motor. Jednocilindrični motori su, osim s ugrađenim posebnim vratilima s utezima za uravnoteženje, djelomično neuravnoteženi (Patil, 2019., Paurakh et al., 2011.). Ta neuravnotežena inercijska sila i inercijski moment uzrokuju vibracije motora. Motor je kruto spojen s glavnom cijevi kroz koju prolazi vratilo za pogon glave kosilice. Na glavnu cijev kosilice kruto je spojena cijev u obliku slova „U“ na čijim su krajevima plastične ručke. Osnovni dijelovi kosilice korištene u mjerenjima su vidljivi na slici 1. Cijev je prema svojim vibracijskim svojstvima,

*Mihael Lukaček, student Stručnog studija mehatronike, (mihael.lukacek@icloud.com), Veleučilište u Karlovcu, 47000 Karlovac, Hrvatska, dr. sc. Josip Hoster, prof. struč. stud., Veleučilište u Karlovcu, 47000 Karlovac, Hrvatska, dr. sc. Aleksandar Sušić, dipl. ing., redoviti profesor, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 10000 Zagreb, Hrvatska.

elastičnost i relativno mala masa, u području frekvencije rada motora, od praznog hoda oko 45 Hz do najveće pri punom „gasu“ oko 130 Hz značajna za vibracijsko ponašanje cijele kosilice. Naročito značajni dio kosilice jesu ručke („prihvati“ ili plastični dijelovi koje čovjek drži šakom) koje drži čovjek tijekom rada (ergonomski oblikovani plastični dijelovi). Zaman et al. (2015.) prikazali su način vibriranja glavne cijevi (vlastiti oblici vibracija) dobiven metodom konačnih elemenata, na temelju koje je moguće procijeniti položaj utega koji će „usporiti“ tj. umanjiti amplitudu prisilnih vibracija na mjestu ručki, na spojnicu glavne cijevi i savijene cijevi za ručke te na neka mjesta vibracije ručki.



Slika 1. Mjerni postav utega na kosilici
Figure 1. Measuring setup of weights on the lawnmower

U različitim radovima prikazani su načini smanjenja vibracija ručki ovakvih ili sličnih kosilica. U radovima (Mahalec et al., 2015., Mubarak et al., 2020.) opisan je utjecaj postavljanja izolacijskih uložaka između cijevi koja drži ručke i samih ručki, što predstavlja konstrukcijsku promjenu, drugačije ručke s unutrašnjim promjerom. Drugi način je ugradnja promjenjivog vibracijskog prigušivača (engl. *Tunable vibration absorber, TVA*); (Hill, Snyder, 2002., Patil, 2019.). Ovi prigušivači ponegdje su podešeni na različite frekvencije; jedan je ugrađen i podešen na prvu vlastitu frekvenciju, a drugi, na drugom mjestu, na drugu vlastitu frekvenciju. U radovima (Mallick, 2010., Paurakh et al., 2011.) prikazano je numeričko optimiranje postavljanja TVA uređaja nakon koje je provedena eksperimentalna provjera. Patil (2019.) je opisao način smanjenja vibracija ručki dodavanjem štapnog prigušivača koji se sastoji od cijevi na čijem kraju je postavljen uteg. Duljina štapa je

promjenjiva zbog prilagodbe vlastite frekvencije prigušivača. U radovima (Ko et al., 2011., Paurakh et al., 2011., Tint et al., 2012.) analiziran je utjecaj dodavanja čepičastih gumenih obloga na sva mjesta koja dodiruje čovjek. Duljine primijenjenih čepića su 6,4 i 12,7 mm.

Osnovni način smanjenja prijenosa ili jednostavno amplitude vibracija na mjestima koje čovjek drži ili dotiče tijekom rada kosilice je dodavanje mase ili elastičnih elemenata. Dodavana masa je postavljena na glavnu cijev (konstrukciju) kosilice, ne na mjesta na kojima čovjek drži, te su postignuta s umetnutom EVA pjenom (Mubarak et al., 2020.) između ručki i cijevi u iznosu od 37 %. Smanjenje vibracija ručki dodavanjem podesive mase na glavnu konstrukciju električne kosilice (Patil, 2019.) dostigla je 80 %. Masa utega koji su primarni prigušivači vibracija je pri tome 0,2 kg, s navojnim i vodećim štapovima te blokom od čelika koji sve to drži kao cjelinu, što bi dovelo do povećanja mase oko 6 puta same mase utega koji su pomoćni. To na masu cijele kosilice od 3,4 kg, čini oko 30 %. Električna kosilica korištena u tim mjerenjima ima samo jednu brzinu vrtnje motora, tj. glave. Izrada tog kućišta za pomične utege, navojne i vodeće štapove je zahtjevno prema kriteriju obrade odvajanjem čestica i poluproizvoda od kojih je načinjeno. Ovdje predloženi utezi su krajnje jednostavni, zahtijevaju minimalno jednostavne i povoljne obrade te za postavljanje dodatno vrlo malo dijelova. Očekivani ishod dodavanja utega je smanjenje najviših vrijednosti ubrzanja poprečno na ručke, a uz to i smanjenje dnevne izloženosti vibracijama, prema ISO 5349-1.

METODOLOGIJA I MATERIJALI

Metodologija određivanja utjecaja pojedinog utega na vibracije ručki temelji se na ubrzanom snimanju kamerom ugrađenom u mobilni telefon iPhone 8plus te analizom snimke u računalnom programu Kinovea. Povod ovakvom pristupu je prikazati javnosti mogućnosti i donekle točnost određivanja položaja i mase utega za umirivanje (uravnoteženje) praktično bilo kojeg uređaja koji čovjek koristi držanjem rukama ili naslanjanjem na tijelo, bez značajne „logistike“ mjernih uređaja, laboratorijskih uvjeta i sl. Sam računalni program Kinovea je besplatan. Budući da je mje-

renje beskontaktno, ne očekuje se visoka točnost mjernih rezultata, nego značajnije, svojevrsna kontrola metodologije prigušenja vibracija ručki koje najviše utječu na čovjeka.

Utezi koji služe za uravnoteženje moraju biti oblikovani tako da su mogući kruti spojevi utega i konstrukcije kosilice, podrazumijevajući da se utezi pričvršćuju na cijevi kosilice steznim spojem. U mjerenju su korišteni utezi sačinjeni od razvijene olovne cijevi, omotane oko cijevi kosilice, te stegnute obujmicama. To se pokazalo dovoljno blizu „krutim“ spojem jer nakon mjerenja nije bilo vidljivih pomaka od početnog položaja utega. Spojeni utezi prikazani su na slici 2.

Kosilica s pričvršćenim utezima oslonjena je pomoću užadi za ručke i mjesto spajanja remena, na način da je statički i dinamički stabilna. Jedan od postava utega i oslanjanja kosilice prikazan je na slici 2.

Prema ISO 5349-1 izračun izloženosti vibracijama kroz osam sati rada uzimajući u obzir necikličke vibracije provodi se prema jednadžbi

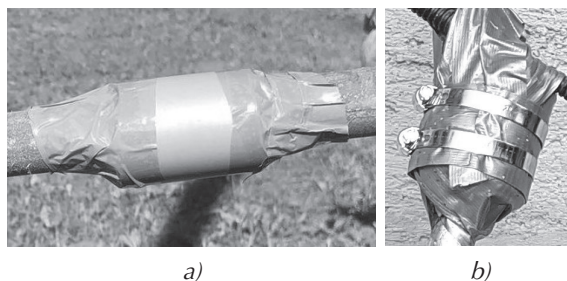
$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 T_i}, \text{ m/s}^2 \quad [1]$$

U jednadžbi Borga (1998.) T_0 je referentno vrijeme od osam sati (28 800 s), T_i je trajanje pojedinog „bloka“ vibracija ili ciklusa, ako je svaki ciklus drugačije amplitude i srednje vrijednosti, a a_{hvi} je amplituda ubrzanja u bloku jednolikih amplituda ili pojedine amplitude, dok je n broj blokova ili pojedinih ciklusa. Slučaj vibracija ručki kosilice, kako će kasnije biti prikazano na dijagramima, je „slučajan“, tj. svaki od ciklusa, vrlo nalik sinusoidi, ima različitu amplitudu i trajanje.

Utezi za prigušenje vibracija

Za potrebe mjerenja u radu korišteni su priručni utezi za prigušenje vibracija načinjeni od olova, u obliku trake, omotanog oko cijevi kosilice. Određivanje mase pojedinog utega provedeno je na kućnoj digitalnoj vagi razlučivosti 1,5 g. U svrhu prikaza mogućnosti provođenja prigušenja vibracija improviziranim sredstvima, provedena su mjerenja s utezima spojenim (pričvršćenim) na cijevi samo pomoću samoljepljive trake (slika 2a) i ojačane samoljepljive trake s dodatnim obujmi-

cama (slika 2b). Pri tome je kriterij utjecaja načina (sredstva) pričvršćivanja bio koliko je radijalnog ili aksijalnog pomaka prema cijevi dobio uteg nakon 1 minute rada. Pokazalo se da je dostatno 3 omota (sloja) obične samoljepljive trake te prema svim provedenim mjerenjima utvrđeno je da takav način pričvršćenja daje „trajnu“ čvrstoću i krutost spoju.



Slika 2. Pričvršćenje utega na konstrukciju kosilice: a) ljepljiva traka, b) ljepljiva traka i obujmice

Figure 2. Attaching weights to the lawnmower structure: a) adhesive tape, b) adhesive tape and clamps

Softver za analizu mjernih podataka

„Kinovea“ (www.kinovea.org) je računalni program za reprodukciju videodatoteka i služi za 2D analizu kretanja objekata, najčešće u sportskim potrebama, ali služi i za znanstvene svrhe. Ovaj program je napravio Joan Charmant 2004. godine i u potpunosti je besplatan. Kinovea je koordinirana oko četiri središnje misije identificirane s koncentracijom na kretanje objekata:

- hvatanje,
- promatranje,
- bilježenje i
- mjerenje.

Ovaj program temelji se na FFmpeg knjižnicama te stoga može čitati gotovo sve videoformate. Zahvaljujući radu zajednice prevoditelja iz cijelog svijeta, korisničko sučelje dostupno je na čak 26 jezika. Statične fotografije pretvaraju se u videozapise od 10 sekundi tako da se na jednoj stranici mogu dodati brojne stranice bilježaka. Moguće je snimiti i spremi videozapise u kojemu se mogu konfigurirati putem glavnog sučelja sa jedne ili dvije kamere. Ako je potrebno snimiti s više od dvije kamere istovremeno ili imati naprednije postavke, moguće je pokrenuti u ovome programu na više varijanti na istom računalu.

U ovome programu omogućeno je korištenje web kamera i ostalih vrsta modela kamera koje imaju UVC certifikat. Kamere koje imaju mogućnosti i funkciju „strojni vid“, trenutno ovaj program podržava modele kamera marke Basler, IDS i Daheng Imaging. Digitalne videokamere koje imaju pristup internetu i pametni mobiteli koje se koriste kao IP kamere podržani su preko modula koje su povezani s JPEG ili MJPEG ulaznim prijenosom.

Za eksperimentiranje i pregled može se gledati prijenos kamere u stvarnome vremenu ili unaprijed postavljenim kašnjenjem. Rotacija slike podržana je u modulu za snimanje i dopušta opcije koje su fleksibilnije u postavljanju i orijentaciji kamere. Osim ručnog upravljanja, razina zvuka može se koristiti za pokretanje snimanja koje se tada može zaustaviti nakon unaprijed određenog vremena. Čim su snimljeni videozapisi napravljeni, određena vrsta zaslona za reprodukciju može se automatski učitati i reproducirati. Ovisno o slučaju korisničke upotrebe i performansama fotoaparata, mogu se koristiti različite tehnike snimanja. Imena snimljenih videozapisa mogu biti konfigurirana tako da se mogu dodati datumi, vrijeme ili neke parametre od kamere direktno u označenu datoteku.

U računalnom programu Kinovea, vrijeme se može izraziti na različite načine, uključujući broj kadrova, ukupne milisekunde od početka ili tradicionalni format vremenskog koda. Ljestvice vremena mogu se postaviti na brzinu snimanja za video zapise koji su već usporeni jer su snimljeni kamerom velike brzine, a sva vremena u softveru tada će predstavljati vrijednosti u stvarnom vremenu.

Ovaj program ima i mogućnost izrada bilješki. Na ključnim fotografijama izrada bilješki označava se na mjestima interesa s komentarima i napomenama tekstualnoga izražaja. Napomene se mogu i označavati s oznakama, brojevima, linijama, strelicama, krivuljama, višelinijским rutama, pravokutnicima, markerima i slobodnog crtanja. Imena i parametri stiliziranja dostupni su za crteže bilješki, lako su korištene za kopiranje i zalijepljene u kadrove videozapisa. Vanjske slike mogu se umetnuti u videozapis kao slikovni objekt. Bilješke se spremaju u KVA datoteke (XML) i temelje se na vektorima koje se mogu mijenjati u

bilo kojem trenutku. Videozapis koji je povezan s KVA datotekom automatski se učitava, također ga je moguće dodati u druge videozapise. Bilješke se također mogu trajno naslikati na videookvire, a novi se videozapisi mogu izvesti.

Pri mjerenju pomoću funkcije kronometra može se koristiti za mjerenje vremenskog raspona, dok se za linije i kutove koriste alati za mjerenje udaljenosti i kutova.

Ostale mogućnosti kod mjerenja su sljedeće:

- slijediti putanju jedne točke,
- pratiti napredak objekta s više točaka,
- napraviti raspršeni vizualni prikaz svih oznaka koje su dodane u videozapis,
- postići linearnu kinematiku na temelju putanja točaka ili putanja objekata s više točaka,
- postići kutnu kinematiku za kutne i prilagođene alate koji sadrže kutove i
- odrediti dinamike zglobova tijekom kretanja vizualizacijom kutnog dijagrama.

Računalni program Kinovea nakon analize prikazuje najveću izračunatu brzinu na odabranom mjestu (označenoj točki), i ispisuje pomak i brzinu te točke kroz vrijeme u zasebnu datoteku.

Ubrzanje točaka

Ubrzanje odabranih točaka na ručkama izračunato je za potrebe ovog rada na temelju podataka za brzine numeričkim deriviranjem metodom konačnih razlika (diferencija); (Sorić, 2009.), shemom središnje razlike kao najtočnije. Za točku u vremenu t_i , u kojoj se želi izračunati ubrzanje na temelju poznatih brzina oko te točke, koristi se konačna razlika brzine ispred trenutne točke, $v(t_{i-1})$ i brzine iza trenutne točke $v(t_{i+1})$, što daje ubrzanje $a(t_i)$

$$a(t_i) \approx \frac{v(t_{i+1}) - v(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}}, \text{ m/s}^2 \quad [2]$$

MJERNI POSTAV KOSILICE

U cilju optimiranja položaja i mase utega koji će podjednako umanjiti vibracije ručki i na oko

1/3 punog „gasa“, tj. otvorenosti zaklopke rasplićnjača, i 2/3, a u skladu s očekivanim najvišom brzinom vrtnje od oko 75 % od najveće moguće (ako i je potpuno otvorena zaklopka, „gas“, pri košnji opterećenje zbog rezanja trave ne dopušta brzinu vrtnje kao u praznom hodu pri punom gasu). Položaji utega su na oko 10 cm od glave kosilice (ne svako mjerenje, samo je to odabrano mjesto bliže glavi), ispod ručki kosilice (uvijek u paru, ispod obje ručke istovremeno) te blizu spojke motora i vratila. Ovi položaji su označeni su crvenim pravokutnicima na slikama 3a i b.



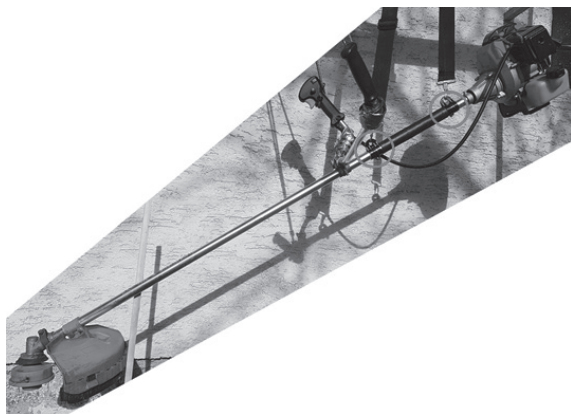
a) b)

Slika 3. Utezi na kosilici:

a) kod glave kosilice, b) ispod ručki kosilice

Figure 3. Weights on the mower:

a) near the mower head, b) under the mower handles



Slika 4. Prihvat (oslanjanje) kosilice

Slika 4. Acceptance (support) of the mower

Oslanjanje, tj. pridržavanje kosilice u mjerenju (radu) izvedeno je na mjestima koja su predviđena za prihvat trakama, na dva prstena s očicama između spojnice za cijev ručki i spojke motora na glavnoj cijevi kosilice te na plastičnim prihvata ručki pomoću okruglog poliesterskog (PS) užeta promjera 6 mm. Prihvat na ručkama izveden je pomoću užeta zbog svojevrsne sličnosti sa čovjekovom rukom, tj. u stvarnosti čovjek s nekom elastičnosti pridržava kosilicu, veza nije kruta, a

izvedba vezanja ručke užetom je i jednostavna i lako izvediva u smislu dobavljalivosti i cijene. Trake predviđene za oslanjanje koje prelaze preko ramena čovjeka oslonjene su na elastičnu drvenu gredu.

Kosilica korištena za mjerenje je MTD Smart BC 43, snage motora 1,2 kW, najveće brzine vrtnje vratila 9000 min⁻¹, mase 4,5 kg, prikazana u dva okoliša na slikama 3 i 4. Utezi koji su korišteni pri mjerenju su mase 0,5 ± 0,02 kg, izmjereno na kućnoj digitalnoj vagi razlučivosti 2 g.

ANALIZA REZULTATA MJERENJA

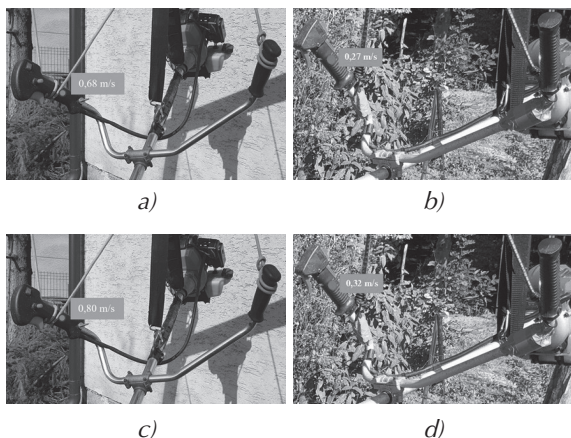
U cilju određivanja utjecaja položaja utega na kosilici pri nekoj brzini vrtnje na smanjenje amplitude pomaka na ručkama provedena su mjerenja različitih položaja utega, koji zbog kratkoće i sažetosti izlaganja nisu ovdje prikazani. Kombinacije utega su:

- Uteg 0,5 kg ispred glave kosilice,
- Uteg 0,5 kg ispod svake ručke,
- Uteg 0,5 kg ispod svake ručke i ispred glave kosilice,
- Uteg 0,25 kg ispred glave kosilice,
- Uteg 0,25 kg ispod svake ručke,
- Uteg 0,25 kg ispod svake ručke i ispred glave kosilice, i
- Uteg 0,5 kg uz spojku motora.

Prikazat će se postav s utezima jednake mase ispod ručki, i jedan uteg kod glave kosilice, kao najznačajniji u prigušenju vibracija ručki. Od svih kombinacija masa utega (ili ukupne dodane mase) provedenih mjerenja, sužen je izbor na dodavanje dva utega po 0,5 kg ispod ručki, i jednog utega mase 0,5 kg kod glave kosilice, zasebno. Tako je moguće usporediti utjecaj postavljanja utega blizu mjesta na kojima je cilj smajnuti vibracije i daleko od njih. Kroz mjerenja je uočeno da su ta dva mjesta povoljnija za postavljanje utega, jer daju veće prigušenje vibracija za istu dodanu masu od ostalih mjesta. Nadalje su izdvojeni, tj. prikazani rezultati mjerenja za utege ispod ručki kao najpovoljniji.

Dva utezi ispod ručki

U ovom postavu utezi su postavljeni kao na slici 3b. Na slikama 5a i b prikazane su najveće brzine točaka na ručkama pri nižoj brzini vrtnje od oko $n_1 \cong 3\ 000\ \text{min}^{-1}$. Na slikama 5c i d prikazane su najveće brzine točaka na ručkama pri višoj brzini vrtnje od oko $n_2 \cong 6\ 000\ \text{min}^{-1}$. Mjerena je kinematika samo desne ručke, iz perspektive korisnika kosilice.



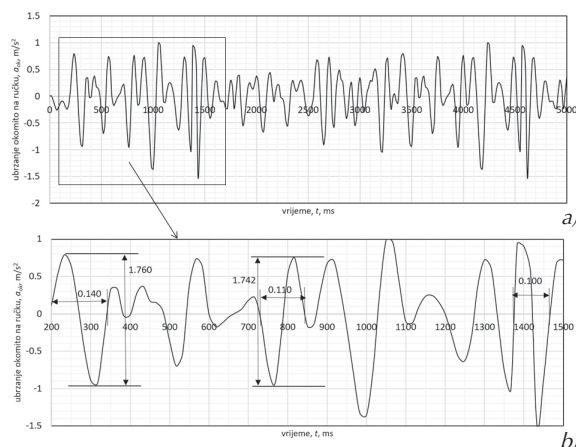
Slika 5. Utezi ispod ručki:

a) bez utega pri n_1 , b) s utezima pri n_1 ,
c) bez utega pri n_2 , d) s utezima pri n_2

Figure 5. Weights under the handles:

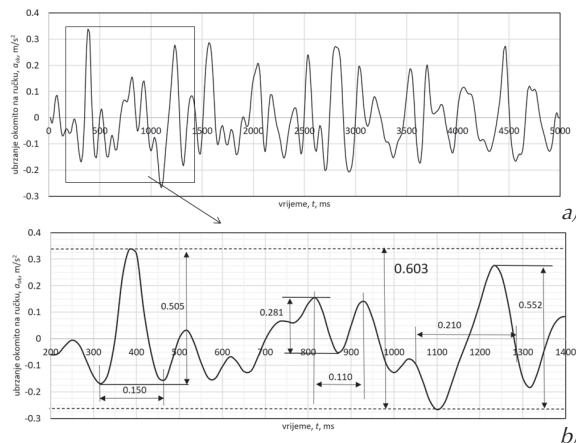
a) without weights at n_1 , b) with weights at n_1 ,
c) without weights at n_2 , d) with weights at n_2

Na slici 6 prikazano je ubrzanje poprečno na ručku pri $n_2 \cong 6\ 000\ \text{min}^{-1}$, pretpostavljena kao brzina vrtnje motora u većini rada kosilice. Na slici 6 a prikazano je mjereno ubrzanje bez utega. Pojedini vrhovi (peaks) su vrijednosti oko $1,5\ \text{m/s}^2$, i pojavljuju se oko svake 3 sekunde. Pod vrhovima podrazumijeva se apsolutna vrijednost ubrzanja pri promjeni prve derivacije ubrzanja (lokalni maksimum ili minimum). Mnogi vrhovi su ispod vrijednosti $0,75\ \text{m/s}^2$, u većini „ciklusa“. Na slici 6b prikazni su poneki izdvojeni vrhovi i kotirani zbog isticanja ekstrema. Najintenzivnije ubrzanje je parametara $\text{abs}(a_{\text{max-min}}) \cong 1,5\ \text{m/s}^2$, uz vrijeme „ciklusa“ oko $0,1\ \text{s}$, što odgovara frekvenciji oko $10\ \text{Hz}$.



Slika 6. Dijagram ubrzanja točke na ručkama bez utega pri n_2 : a) dijagram kroz 5 sekundi, b) detalj s karakterističnim vrijednostima

Figure 6. Diagram of the acceleration of a point on the handles without weights at n_2 : a) diagram over 5 seconds, b) detail with characteristic values

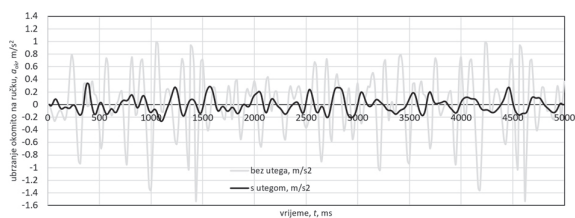


Slika 7. Dijagram ubrzanja točke na desnoj ručki s utegom pri n_2 : a) dijagram kroz 5 sekundi, b) detalj s karakterističnim vrijednostima

Figure 7. Diagram of the acceleration of the point on the right handle with the weight at n_2 : a) diagram over 5 seconds, b) detail with characteristic values

Na slici 7 a prikazano je mjereno ubrzanje s utegom. Pojedini vrhovi su vrijednosti do oko $0,35\ \text{m/s}^2$, i pojavljuju se oko svake $4,5$ sekundi. Mnogi vrhovi su ispod vrijednosti $0,25\ \text{m/s}^2$, u većini „ciklusa“. Na slici 7b prikazni su poneki iz-

dvojeni vrhovi i kotirani zbog isticanja ekstrema. Najintenzivnije ubrzanje je parametara $\text{abs}(a_{\text{max-min}}) \cong 0,35 \text{ m/s}^2$, uz vrijeme „ciklusa“ oko 0,15 s, što predstavlja frekvenciju oko 6,6 Hz. Ovime je ugrubo prikazan utjecaj postavljanja utega ispod ručki na prigušenje vibracija. Postavljanje utega samo kod glave kosilice uz istu masu daje slabije prigušenje pa ovdje nije prikazano. Za zorniju usporedbu prikazano je ubrzanje točke na ručkama s i bez utega na slici 8.



Slika 8. Dijagram usporedbe ubrzanja točke na ručki bez utega i s utegom pri n_2

Figure 8. Comparison diagram of the acceleration of a point on the handle without weight and with weight at n_2

Nadalje, kao bročani pokazatelj utjecaja davanja utega ispod ručki izračunata je izloženost vibracijama prema jednadžbi [1]. Ovdje nije prikazan taj proračun jer je svaki ciklus vibracija drugačiji, pa je taj izračun u obliku tablice za podatke mjerenja. Izračunavajući izloženosti ubrzanja prema jednadžbi [1] za postav s utezima ispod ručki, i uspoređujući slučaj bez utega, omjer izloženosti vibracijama sa i bez utega je 0,29. Ovaj broj je samo pokazatelj dobrog smjera ili pristupa prigušenja vibracija, ne i točan iznos, jer se sav izračun temelji na podacima dobivenim beskontaktnim mjerenjem kinematike.

Procjena pomoću Borgove skale korištenjem kosilice na terenu

Jedan od općeprihvaćenih načina subjektivnog procjenjivanja ugodnosti, ili bolje reći utjecaja neke vrste opterećenja na ljudski organizam je Borgova skala (Borg, 1998., Futatsuka et al., 1998., www.cdc.gov). Ova skala temelji se na subjektivnom doživljaju, ili procjeni korisnika uređaja ili stroja, ili sportaša (Borg, 1998.), čovjeka u aktivnosti. Borg koristi dvije skale za procjenu doživljaja napora; jedna je opisana brojevima od 1 do 10: 1 kao vrlo laganim doživljajem, a 10

kao najtežim. Opis ove skale prikazan je na slici 9a. Druga skala, koja je povezana s mjerljivim biomehaničkim parametrom je u području od 6 do 20. Kada se u toj skali pomnoži broj procjene težine aktivnosti (doživljaj) sa 10, dobiva se približno broj otkucaja srca pri procjenjivanoj aktivnosti. Opis ove skale prikazan je na slici 9b. Ovo je primjerenije sktivnostima s više opterećenja s „makrogibanjem“ tijela, tj. značajnim pomacima, dok je košnja motornom kosilicom aktivnost s relativno malim gibanjem.

Vrijednost	Doživljena razina opterećenja	
10	Aktivnost najvećeg napora Osjećaj kao da je govoru nemoguće nastaviti. Potpuno bez daha, nemoguće govoriti. Ne može se održavati osim na vrlo kratko razdoblje. Aktivnost vrlo velikog napora	6
8-9	Vrlo teško je održavati aktivnost. Teško je doći do daha, moguće govoriti samo poneke riječi.	7
6-7	Intenzivna aktivnost Granično osjećaj nelagodnosti. Kratki dah, moguća govoriti rečenice.	8
4-5	Umjerena aktivnost Teško disanje, moguće kratko razgovarati. Donekle ugodan osjećaj, ali ponajviše ove teže izvoditi aktivnost.	9
2-3	Laka aktivnost Osjećaj da je moguće provoditi aktivnost satima. Lako je disati i razgovarati.	10
1	Vrlo laka aktivnost Umatlo nimalno opterećenje, ali intenzivnije od spavanja, gledanja TV-a i sl.	11
		12
		13
		14
		15
		16
		17
		18
		19
		20

a)

b)

Slika 9. Borgove skale napora [1]: a) 1 - 10, b) 6 - 20

Figure 9. Borg effort scales [1]: a) 1 - 10, b) 6 - 20

Bez isticanja imena autora, jedan od autora pokušao je procijeniti poboljšanje uvjeta ili vibracijskog utjecaja na ruke i ramena spomenute kosilice s utezima postavljenim ispod ručki i bez njih. Košnja je trajala oko 45 minuta, s kratkim pauzama od oko 2 minute. Kako košnja spomenutom kosilicom uzrokuje, subjektivno autoru, napor nevezan izravno s povećanjem brzine otkucaja srca, primijenjena je skala od 1 do 10. Korištenje kosilice bez utega autor procjenjuje na 7 - 7,5, tj. kao teško, zbog osjećaja trnjenja prsta te osjećaja vibriranja jagodica pri dodiru nakon 15 minuta od prestanka košnje. Uz dodane utege od 500 g ispod svake ručke, nakon jednakog vremenskog rasporeda košnje autor procjenjuje napor na 5 - 5,5, kao umjeren. Osjećaj trnjenja praktično nestaje, no, zbog povećanog mirnog (statičkog) opterećenja zbog 1 kg veće mase, što je na kosilicu od oko 4,5 kg s gorivom relativno povećanje od 22 %, povećan je napor u trapeznim mišićima. Ovim mjerenjem na terenu je potvrđeno „značajno“ smanjenje vibracijskog utjecaja na prste, šaku, zglob, s prihvatljivim povećanjem opterećenja zbog povećanje mase kosilice. Povećanje statičkog opterećenja nije detaljnije kvantificirano.

ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je postupak mjerenja i analize utjecaja utega za smanjenje vibracija na ručkama ručne motorne kosilice (trimera). Mjerenje je provedeno beskontaktno, ubrzanim snimanjem kamerom ugrađenom u mobilni telefon iPhone 8 plus. Analiza snimki provedena je računalnim programom Kinovea, koji je besplatan. Prikazana je jednostavna i povoljna metoda traženja poboljšanja parametara rada uređaja s neuravnoteženom vibracijskom silom, tj. umanjenja njezinog prijenosa na ruku korisnika.

Prvenstvena namjera rada je prikaz primjene praktično besplatnih metoda i softvera za optimiranje ili u jednostavnijim slučajevima, određivanju utjecaja utega na vibracijsko ponašanje jednostavnih konstrukcija ili strojeva. Ovo je i pokušaj popularizacije znanstvenog pristupa u poboljšanju pri korištenju jednostavnih uređaja ili strojeva kako bi čovjek radio sa što je moguće manje opasnosti od trajnih nepovoljnih posljedica.

Mjerenje i analiza Kinovea računalnim programom te kao svojevrsna potvrda mjerenjem korištenjem u radu kosilice utvrđeno je da je optimalan položaj utega za prigušenje vibracija na ručkama neposredno ispod ručki, na cijevi. Optimalna masa je problematičnija veličina za određivanje jer zahtijeva ili brojčanu skalu utjecaja neuravnoteženih vibracija na osjećaj u prstima i šakama te utjecaj težine u remenu na trapezne mišiće. Jednostavnije od toga je pristup pokušaj – pogreška, ili bolje rečeno, doživljaj povećanja težine u radu s kosilicom. Utezi koji su dodani su olovni, vrlo niske cijene po kilogramu te vrlo oblikovljivi. Dodatni elementni za pritezanje su obujmice koje su vrlo dostupne i povoljne.

Provedena mjerenja su pokazala značajan utjecaj dodanih masa odmah ispod ručki, jer prvenstveno povećavaju rotacijsku tromost tog dijela konstrukcije, tj. moment tromosti mase oko osi okomito na glavnu cijev koja prolazi kroz spojnicu U cijevi i glavne cijevi. Oko te osi je glavna rotacija ručki, koja utječe na značajan dio (komponentu) pomaka okomito na prste.

Dijagrami proizašli iz beskontaktnog mjerenja ukazuju da su ekstremna ubrzanja smanjena iz

područja iznad „exposure limit“ u područje ispod „comfort limit“, što je u skladu s doživljajem pri košnji.

LITERATURA

Borg, G.: *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics, Rimbo, Švedska, 1998.

Centers for Disease Control and Prevention, dostupno na: <https://www.cdc.gov/physicalactivity/basics/measuring/exertion.htm>, pristupljeno: 13.7.2023.

Futatsuka, M., Maeda, S., Inaoka, T., Nagano, M., Shono, M., Miyakita, T.: Whole-body vibration and health effects in the agricultural machinery drivers, *Industrial Health*, 36, 1998., 2, 127–132.

Hill, S. G., Snyder, S. D.: Design of an Adaptive Vibration Absorber to Reduce Electrical Transformer Structural Vibration, *Journal of Vibration and Acoustics*, 124, 2002., 3, 606-6011, DOI: 10.1115/1.1500338.

Kinovea, dostupno na: <https://www.kinovea.org>, pristupljeno: 13.7.2023.

Ko, Y. H., Ean, O. L., Ripin, Z. M.: The design and development of suspended handles for reducing hand-arm vibration in petrol driven grass trimmer, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41, 2011., 459-470.

Mahalec, I., Kozarac, D., Lulić, Z.: *Konstrukcije motora*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2015.

Mallick, Z.: Optimization of the operating parameters of a grass trimming machine, *Applied Ergonomics*, 41, 2010., 260-265.

Mubarak, A. Z., Razali, A., Rizal, M., Hambali, K. R.: Study of suspended handle materials for reducing hand-arm vibration in backpack grass trimmer, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 931, 2020., doi: 10.1088/1757-899X/931/1/012006.

Patil, S. S.: Vibration Suppression of Grass Trimmer Handle using Tunable Vibration Absorber, *International Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology*, 12, 2019., 2.

Paurakh, R., Leifer, J., Weems, B. J.: Reduction of Vibration Transmission in String Trimmers, Rotating Machinery, Structural Health Monitoring, Shock and Vibration, *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series 8*, T. Proulx (ed.), 5, 2011., 129 - 138.

Sorić, J.: *Uvod u numeričke metode u strojarstvu*, Golden marketing, Zagreb, 2009.

Tint, P., Tarmas, G., Koppel, T., Reinhold, K., Kalle, S.: Vibration and noise caused by lawn maintenance machines in association with risk to health, *Agronomy Research Biosystem Engineering*, 2012., Special Issue 1, 251-260.

Zaman, I., Abdurasad, M. R., Manshoor, B., Khalid, A., Sani, M. S. M.: Study on Dynamic Behaviour of Grass Trimmer Using Finite Element Analysis, *Applied Mechanics and Materials*, 2015, 383-387.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL HANDHELD ENGINE MOWER (TRIMMER) HANDLES VIBRATION DAMPING WEIGHT MASS AND POSITION

SUMMARY: This paper shows determination by measurement of optimal damping weight mass and position for handles vibration minimization of engine line mower (trimmer). Free inertial forces caused by the mower engine operation cause mower main rod vibrations as an elastic body. The rod vibrations cause mower head and handles vibrations. The handles vibrations present a problem for human health with unpleasant side-effects in the nervous system (burning sensation) or permanent nerve damage. The measuring setup consists of engine mower suspended by ropes by the handles and the belt hook attachment points by the rigid surroundings and added rigidly connected masses to the rod. The mower used has handles on a tube shaped as the letter „U“. Weights have been fixed also to the tubes by steel rings. The measurement has been conducted by running the engine at idle, and at 2/3 of full throttle and recording at 60 fps with a camera installed in the iPhone 8plus mobile phone. The recorded motion was then analysed in Kinovea computer application. Kinovea as an output gives kinematics of the chosen point as function of time. Influence of added masses at the mower head and under the handles is visible from comparison of acceleration of handles without the weights and with the weights. This approach gives good guidelines into how much mass and where to attach to maximally dampen the handles vibration as much as possible using a simple test setup and equipment. A field measurement in operation suspended on a human operator was conducted, and the influence of weights subjectively assessed by the Borg scale. Conclusion arising from the measurements is that the best weight mass and position are 0,5 kg under each handle for maximal damping of the handle's vibrations with acceptable increase in total mass of mower.

Key words: *handheld engine mower, handles vibration, vibration damping weight, Kinovea, elastic beam*

*Professional paper
Received: 2023-11-04
Accepted: 2024-05-02*