

N. Rašović, A. Vučina, D. Milčić*

ERGONOMSKI DIZAJN RUČKE ČEKIĆA ZA SPREČAVANJE MIŠIĆNO-KOŠTANIH POREMEĆAJA I OZLJEDA

UDK 621.972:331.101.1
PRIMLJENO: 19.4.2021.
PRIHVAĆENO: 1.12.2021.

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



SAŽETAK: Suvremeni dizajn ručnog alata mora udovoljavati svim zahtjevima upotrebljivosti, sigurnosti i udobnosti. Današnja upotreba novih tehnologija u dizajnu, prototipiranju i proizvodnji omogućuje razvoj ručnih alata koji svojim oblikom, materijalom i završnom obradom omogućavaju bolju interakciju korisnika sa svojim alatom. U radu je opisan postupak dizajniranja i ocjenjivanja drške čekića koji bi povećao performanse, udobnost i sigurnost rukovatelja te istodobno spriječio mišićno-koštane poremećaje.

Ključne riječi: ergonomija, dizajn, ručni alat

UVOD

Loše oblikovan ručni alat koji se koristi u profesionalnim radnim situacijama može uzrokovati nelagodu, razne ozljede ili mišićno-koštane poremećaje koji utječu na gornje udove i bolove u vratu. Spomenuti poremećaji također mogu utjecati na živce, kosti, zglobove i mišiće u bilo kojem dijelu ljudskog tijela. Ovo će sigurno rezultirati smanjenom produktivnosti radnika, povećanjem izostanaka s posla, bolovanjem, liječenjem itd. Primjerci starog alata u čijem dizajnu se nisu razmatrali aspekti ergonomije mogu se još uvijek naći po starim radionicama i nekim tvrtkama. Dizajneri za razvoj učinkovitog ručnoga alata moraju uzeti u obzir glavnu funkciju alata, držati se konkurentne cijene za tržište i uz to, pored drugih aspekata, uzeti u obzir i ergonomske aspekte razvoja alata. Uz ergonomiju, bitno je voditi računa i o estetici koja ima značajnu ulogu za ovakve proizvode. Znači, pored osnovnih funkci-

onalnih i ekonomskih zahtjeva o kojima dizajneri vode računa pri razvoju ručnog alata, ergonomija i estetika će biti nezaobilazni. Ergonomija je primijenjena znanost koja se bavi dizajniranjem i uređivanjem elemenata sustava koje ljudi koriste tako da ljudi i drugi elementi sustava međusobno djeluju najučinkovitije i najsigurnije. Da bi se ručni alat što bolje prilagodio zahtjevima rukovatelja, smjernice za ergonomske dizajn moraju sadržavati težinu, oblik i dimenzije (dodati materijal, teksturu). Kako bi napravili siguran i udoban ručni alat, dizajneri također moraju uzeti u obzir način izvršavanja zadatka, broj ponavljanja itd. Stoga je važno uzeti u obzir sve te aspekte kako bi se smanjio rizik od poremećaja mišićno-koštanog sustava i nesreća na radu.

Novija istraživanja ljudskog tijela iz područja biomehanike i antropometrije mogu značajno poboljšati smjernice za ergonomske dizajn ručnih alata. S ergonomske stajališta, najvažniji dio ručnog alata je njegova ručka. Rezultati istraživanja antropometrije ljudske šake mogu se koristiti za pravilan odabir ručnog alata, ali također pružaju dobru osnovu pri definiranju smjernica za pravilno oblikovanje ručnih alata koji će osigurati

*Dr. sc. Nebojša Rašović, (nebojsa.rasovic@fsre.sum.ba), dr. sc. Adisa Vučina, Mostar, Fakultet strojarstva, računarstva i elektrotehnike Sveučilišta u Mostaru, Matice hrvatske bb, 88000 Mostar, BiH, dr. sc. Diana Milčić, Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Getaldićeva 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

ugodan rad (*Chandra et al., 2011., Wang, Cai, 2017., Mohammad, 2005.*). Neprikladni materijali mogu pridonijeti ozljedama i nesrećama (*Parmeggiani, 1983.*). Tekstura drške alata također je vrlo važan aspekt ergonomskog dizajna ručnog alata (*Lewis, Narayan, 1993.*).

U ovom radu autori se bave prevencijom ergonomskih nelagoda i ozljeda koje se javljaju upotrebom tradicionalnog čekića.

Upotreba jednostavnih čekića datira prije više od tri milijuna godina. Prvi čekići izrađeni su bez ručki. Smatra se da su ljudi postigli veliki tehnički napredak kada su stavili ručku na čekić i tako povećali snagu i preciznost udarca. Kamenje pričvršćeno na štapove kožnim trakama koristilo se kao čekić s drškama prije otprilike 30 tisuća godina. Za takav revolucionarni napredak u dizajnu čekića trebale su tisuće godina. Kao jedan od najstarijih alata, čekić je evoluirao kako bi ispunio širok spektar uloga. Danas se na tržištu može naći preko četrdeset vrsti čekića od kojih su neke vrste visoko specijalizirane. Ostale su vrste svestrane i nalaze svoje mjesto u bilo kojoj radionici.

Čekić je jednostavan ručni alat čija je glavna funkcija pojačati mišićne sile udara pretvarajući mehanički rad u kinetičku energiju. Mehanička prednost koju pružaju omjeri momentnih krakova i veća kinetička energija stvaraju mehanički rad koji nije moguć samom rukom. Čekić se sastoji od glave pričvršćene za dugačku ručku koja se zamahne kako bi se udarilo u malu površinu predmeta. Postojeća glava čekića bez pogona obično je izrađena od čelika, a ručka je obično od drva ili plastike kako bi se apsorbirali udarci i smanjio umor korisnika zbog ponovljenih udaraca. Čekić je jedan od najčešće korištenih ručnih alata, kako u kućanstvu, poljoprivredi, tako i u raznim industrijama. Iako čekić može zaštititi ruku od mehaničkih ozljeda, nepravilna uporaba ili loš dizajn čekića u radnim situacijama može dovesti do naprezanja u ruci koja ga drži i ruku-

je njime te uzrokovati ozbiljne mišićno-koštane poremećaje i ozljede kao što su bolovi u ramenu, bolovi u zglobovima, laktu, ukočenost prstiju i glavobolja (*Haque, 2018.*).

Za udobnu upotrebu bez boli i ozljeda, čekić ergonomskih karakteristika kontinuirano se redizajnira, posebno tijekom posljednjeg desetljeća. Oblik presjeka ručke, veličina hvata i duljina ručke važni su geometrijski parametri u dizajnu ručnog alata. Vrlo je važno spriječiti ili smanjiti fleksiju, ekstenziju ili odstupanje zgloba, a zglob treba držati ravno ili u neutralnom položaju. Kako bi se riješio ovaj izazov, traži se ergonomsko usklađivanje s anatomijom ljudske ruke.

U ovom će se radu definirati ergonomske smjernice za dizajn ručke čekića te oblikovati novi čekić u skladu s tim smjernicama. Planira se napraviti 3D tiskani plastični prototip drške novog čekića i procijeniti dizajn s aspekta ergonomije.

ERGONOMSKO OBLIKOVANJE RUČKE ČEKIĆA

Oblik, dimenzije i masa ručke i cijelog čekića moraju se definirati kako bi se izbjegli mišićno-koštani poremećaji zgloba, lakta i ramena korisnika. Dobro prianjanje ručke na šaku pruža korisniku bolju kontrolu udarcem i pri tome manje napora i mogućih fizičkih nezgoda. Mnoge studije bile su usredotočene na definiranje optimalnog dizajna ručke na temelju višekriterijske procjene (*Kaljun, Dolšak, 2012., Aptel et al., 2002., Tichauer, Gage, 1977., Marsot, Claudon, 2004.*). Ti kriteriji i parametri su vrlo promjenjivi i ovise uglavnom o funkciji alata i antropometriji korisnika. Za prikupljanje i organizaciju osnovnih ergonomskih smjernica za dizajn ručke čekića u ovoj studiji slučaja koriste se podaci iz ergonomskih, antropometrijskih i biomehaničkih istraživanja (Tablica 1); (*Kaljun, Dolšak, 2012.*).

Tablica 1. Ergonomske smjernice za dizajn čekića**Table 1. Ergonomic guidelines for hammer design**

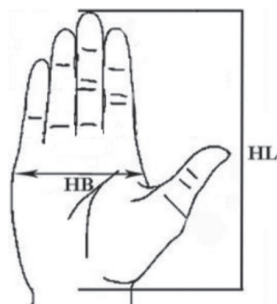
Zahtjev korisnika	Opis	Smjernica
Minimalna devijacija ručnog zgloba	Smjer sile okomit na podlakticu i zglob	Prava središnjica ručke
Lako držanje	Oblik ručke	Blago uzdužno zakrivljena kontura ručke
Dobar kontakt dlana i ručke	Duljina ručke	100 – 125 mm
Lako prijanjanje i dobar hvat	Poprečni presjek ručke	Okrugli ili ovalan poprečni presjek
Veća sila i stabilnost (jak hvat)	Promjer ručke	30-50 mm
Udobnost i smanjeno naprezanje pri upotrebi	Materijal i tekstura ručke	Ne koristiti materijale koji su kliski ili provodni

Oblik i dimenzije ručke čekića

U ovoj studiji definiraju se promjer hvata (GD), veličina hvata (GS) i duljina ručke (L) kako bi se oblikovao čekić za 50 percentila muške europske populacije (*Jurgens et al., 1998.*). Snažni hvat je hvat koji se stvara prstima i dlanom. Veličina hvata određuje se opsegom ruba ručke čekića. Taj opseg mjeri se u sredini ručke. Jednadžbe (1-2) koriste se za određivanje veličina hvata (GS) i promjera hvata (GD). Duljina dlana (HL) mjeri se između nabora ručnog zgloba i vrha najduljeg prsta na ruci, obično srednjeg prsta. Širina dlana (HB) je duljina koja se mjeri okomito na duljinu dlana (slika 1). Optimalna duljina ručke (L) prema ergonomskim preporukama (Tablica 1) trebala bi biti u rasponu od 100 do 125 mm. Prekratka ručka može uzrokovati nepotrebno sabijanje na sredini dlana. Većina radnika ima širinu dlana manju od 100 mm (*Putz-Anderson, 1992.*), a uzimajući u obzir širinu rukavica, autori su utvrdili da ručka čekića ne smije biti kraća od 100 mm kako bi se smanjili negativni učinci bilo kakvog pritiska.

$$GD = 0.2HL \quad (1)$$

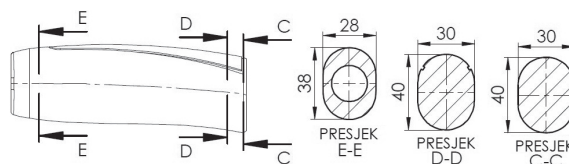
$$GS = GD\pi \quad (2)$$



Slika 1. Antropometrija ljudske šake

Figure 1. Anthropometry of the human hand

Budući da nedavna istraživanja iz biomehanike preporučuju ovalni presjek ručke ručnog alata s omjerom duljine i širine 1: 1.25, u ovom radu se prihvaća ovalni presjek s veličinom hvata od 115 mm. Optimalni promjer hvata prema ergonomskim preporukama (Tablica 1) trebao bi biti u rasponu od 30 do 50 mm. Slika 2 prikazuje presjeke ručke ergonomskog čekića.



Slika 2. Oblik ergonomske ručke čekića

Figure 2. Ergonomic hammer handle shape

Kontaktни притисак

Kontaktни притисак јавља се на унутарњој страни шаке као последица механичког напрезања у вишеосном смеру. Уočено је неколико стања напрезања као што су увijaње, savijaње и sabijaње. Да би се избегао контактни притисак или га се svelo на најманју могућу мјеру, дизајнира се пунило од меке гуме у телу руčke. Локални притисак узрокован тјесним пријанјањем корисникова длана на тврдој површини руčke под великим силама дјелује на ткиво длана и може узроковати оштећење живаца. У циљу избегавања контактнoг притиска сlijеде смјернице за ергономски дизајн руčke čekićа:

- руčka čekićа треба имати додатно тренје попут дијела од гуме или пјене, с благо урезаном поврšinама
- облик руčke čekićа треба омогућити распострање притиска преко веће површине длана
- руčka čekićа мора бити одговарајуће дужине и дебљине да осигура хват цијелим дланом.

U ovom radu oblikuje se ručka čekića s punilom od meke gume s ciljem sprečavanja nastanka ove vrste pritiska ili da ga eventualno umanji. Zakrivljena uzdužna kontura ručke, uključujući odgovarajuću mjeru duljine i poprečnog presjeka, oblikuju se s ciljem rasprostiranja pritiska na šire područje dlana. Zakrivljena kontura također osigurava čvršće držanje i sprečava klizanje ruke s ručke prilikom izvođenja udarca čekićem.

Vibracije

Vibracije mogu uzrokovati nelagodu u ljudskom živčanom sustavu. Stoga udaljenost između izvora koji stvara vibracije i ljudske ruke mora biti što je moguća veća. Kao zaštitne mjere u procesu dizajniranja preporučuju se razni zaštitni dodaci alatu i antivibracijske rukavice. S ciljem sprečavanja nastanka vibracija na ruci korisnika čekića definiraju su sljedeće smjernice za oblikovanje ručke:

- Izbjegavati ili ograničiti vibracije. Oblikovati čekić koji smanjuje vibracije.
- Koristiti izolacije poput opruga i gumenih blokova između pojedinih dijelova čekića.
- Birati prigušne materijale na površini ručke alata.

Da bi se izbjegle vibracije ili ih se svelo na najmanju moguću mjeru, u radu se oblikuje gumeni dio na mjestu spajanja ručke i šipke na kojoj se nalazi glava čekića.

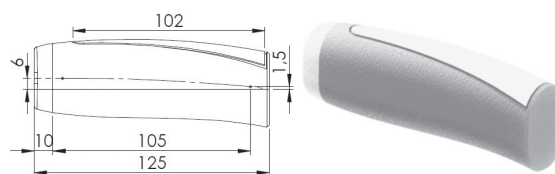
Smanjivanje prekomjernih sila na ruci

Prekomjerne sile koje djeluju na ruku korisnika čekića dovode se do prstiju stvarajući naprezanja tetiva, ozljede živčanog sustava, mišića, zgloba i do karpalnog tunela. Ova vrsta sila isteže i iscrpljuje tetive. Ponavljanje pokreta tijekom duljeg razdoblja moglo bi dovesti do bolnog stanja šake i prstiju uzrokovanog kompresijom glavnog živca na mjestu gdje prolazi preko karpalnih kostiju kroz prolaz na prednjem dijelu zgloba, uz tetive fleksora šake, tj. do tzv. sindroma karpalnog tunela. S ciljem smanjenja prekomjernih sila na šaku korisnika, definiraju se sljedeće smjernice za oblikovanje čekića:

- Smanjiti pretjerane sile ili pritisak.
- Izbjegavati velike kontaktne sile i statička opterećenja.

- Izbjegavati ekstremne i neugodne položaje zgloba i ruke.
- Izbjegavati oštre rubove na ručki.
- Koristiti odgovarajuću veličinu hvata s ciljem generiranja optimalne sile hvatanja, oblikovati hvat na veličinu koja omogućuje da se palac i kažiprst lagano preklapaju.
- Poboljšati cjelokupni dizajn čekića (poboljšati ravnotežu između dimenzija i mase).

Koristeći ergonomske smjernice i načela, u radu se dizajnira nova ručka za čekić. Na slici 3 prikazuju se novi oblik i dimenzije ručke čekića. Virtualni model prikazan je kako bi opisao namjeru dizajna. Za potvrdu prihvaćenih preporuka istaknute su glavne karakteristike.



Slika 3. Dizajn i virtualni model nove ergonomske ručke čekića

Figure 3. Design and virtual model of the new ergonomic hammer handle

EVALUACIJA DIZAJNA

Procjena prototipa ergonomske ručke čekića i postojećih čekića provedena je među 20 ispitanika koji često koriste čekić. Imali su priliku isprobati prototip ergonomske ručke čekića (slika 4), nakon čega je provedeno istraživanje. Tablica 2 prikazuje antropometrijske mjere anketiranih korisnika.

Tablica 2. Antropometrijske mjere šake ispitanika

Table 2. Anthropometric measures of the hands of the respondents

	Starost	Širina dlana [mm]	Dužina dlana [mm]
Prosjek	40,5	90,3	192,1
Max	64	102	203
Min	23	77	178

Ocjena veličine hvata

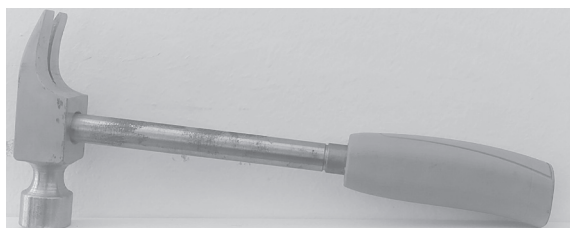
Premala veličina hvata zahtijevala bi više snage u ruci korisnika kako bi se spriječilo da se ručka čekića vrti u ruci, što bi moglo rezultirati nelagodnom i mišićno-koštanim poremećajima. Suprotno tome, ako postoji velik razmak između srednjih prstiju i dlana udarne ruke, veličina hvata je prevelika. U konačnici, najbolje bi bilo postići da su prstenjak i srednji prst blizu dlana korisnika (slika 5).

Tablica 3. Kriteriji za ispitivanje veličine hvata

Table 3. Criteria for testing the size of the grip

Kriterij za veličinu hvata	Opis
Premalen	Dva srednja prsta se duboko urežu u dlan korisnika.
Korektan	Između dva srednja prsta i dlana je mali razmak, palac i kažiprst se malo preklapaju.
Prevelik	Između dva srednja prsta i dlana je preveliki razmak.

Ispitivanje pokazuje da većina anketiranih radnika za ovu studiju nije zadovoljna postojećim čekićima i želi novi čekić jer im nije ugodno s postojećim. Izmjerena veličina hvata postojećih čekića bila je u rasponu od 80 mm do 100 mm, u prosjeku 88 mm, prosječna masa ispitanih čekića bila je 640 g. Masa prototipa ergonomskog čekića je 780 g (slika 4).



Slika 4. Model ergonomskog čekića za ispitivanje

Figure 4. Ergonomic test hammer model

Vizualno ispitivanje i mjerenje razmaka između srednjih prstiju i dlana za 20 korisnika pokazuje da je veličina ručke novog ergonomskog čekića točna i da je za postojeće čekiće premala (slike 4 i 5). Na ocjenu veličine hvata utjecale su antropološke mjere šake ispitanika. Naime, 20 % ispitanika pripadali su skupini od 95 percentila i pri ispitivanju utvrdilo se da je za njih veličina

hvata nekad bila optimalna, a u nekim slučajevima mala.

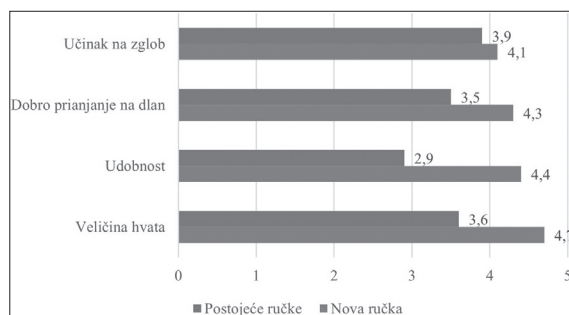


Slika 5. Ispitivanje veličine hvata za novi ergonomski čekić

Figure 5. Grip size test for new ergonomic hammer

Ispitivanje udobnosti

Budući da se za ovu procjenu koristio samo 3D tiskani plastični prototip ergonomske ručke čekića, nije bilo moguće ispitati i usporediti sve karakteristike dizajna povezane s fleksibilnošću rukovanja i udobnošću korisnika spomenutih u prethodno definiranim smjernicama. Nažalost, u ovoj fazi nije bilo moguće ispitati neke važne karakteristike prijanjanja poput završne obrade površine, učinka gumenog punila itd. Karakteristike udobnosti poput „Ukupna udobnost na prvi pogled“, „Odgovora dlanu“ i „Učinak čekića na zglob“ koristili su se kao kriteriji pri ocjenjivanju udobnosti. Rezultati ocjene prikazani su na slici 6.



Slika 6. Rezultati ocjene udobnosti

Figure 6. Comfort rating results

ZAKLJUČAK

Primjena ergonomskih smjernica i načela utemeljenih na znanju u dizajnu novog čekića značajno pomaže poboljšanje postojećeg dizajna

čekića u smislu udobnosti i sigurnog korištenja. Ergonomske smjernice i načela definirani u ovom radu predstavljaju vrijedne osnove za funkcionalni ergonomski dizajn koji nadilazi konvencionalni dizajn. Prvo ispitivanje i ocjenjivanje dokazalo je ergonomski dizajn novog čekića. Veličina hvata je točna, potvrđuje se ukupna udobnost i bolji učinci na zglob. Daljnja ispitivanja novog ergonomskog čekića moraju se obaviti na prototipu s odgovarajućim materijalima i završnom obradom kako bi se osigurala procjena ostalih bitnih ergonomskih aspekata, uključujući površinsku obradu, kvalitetu ručke, težište masa itd. Tada će biti realno ispitati ergonomičnost čekića i u slučaju kad je na ruci radna rukavica. Buduća istraživanja usmjerit će se na potrebu dizajniranja familije čekića za percentilske skupine s ciljem bolje prilagodbe različitim spolovima i veličinama ruku.

LITERATURA

- Aptel, M., Claudon, L. and Marsot, J.: Integration of Ergonomics Into Hand Tool Design: Principle and Presentation of an Example, *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 8, no. 1, pp. 107–115, Jan. 2002, doi: 10.1080/10803548.2002.11076518.
- Chandra, A., Chandna, P. and Deswal, S.: Analysis of hand anthropometric dimensions of male industrial workers of Haryana State, *Int. J. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 242–256, 2011.
- Haque, M.: Ergonomic design of hammer handle to reduce musculoskeletal disorders of carpenters, *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 78–83, May 2018.
- Jurgens, H. W., Matzdorff, I. and Windberg, J.: *International Anthropometric Data for Work-Place and Machinery Design*, Dortmund, Germany, 1998.
- Kaljun, J. and Dolšak, B.: Ergonomic design knowledge built in the intelligent decision support system, *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 42, no. 1, pp. 162–171, Jan. 2012, doi: 10.1016/J.ERGON.2011.11.009.
- Lewis, W. G. and Narayan, C. V.: Design and sizing of ergonomic handles for hand tools, *Appl. Ergon.*, vol. 24, no. 5, pp. 351–356, 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90074-J](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90074-J).
- Marsot, J. and Claudon, L.: Design and Ergonomics. Methods for Integrating Ergonomics at Hand Tool Design Stage, *Int. J. Occup. Saf. Ergon.*, vol. 10, no. 1, pp. 13–23, Jan. 2004, doi: 10.1080/10803548.2004.11076591.
- Mohammad, Y. A. A.: Anthropometric characteristics of the hand based on laterality and sex among Jordanian, *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 35, no. 8, pp. 747–754, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.11.005>.
- Parmeggiani, L.: *Encyclopaedia of occupational health and safety*. International Labour Office, Geneva, 1983, [Online]. Available: <http://books.google.com/books?id=GrhLAQAIAAJ>.
- Putz-Anderson, V.: *Cumulative trauma disorders: a manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*. Taylor & Francis, London, 1992.
- Tichauer, E. R. and Gage, H.: Ergonomic principles basic to hand tool design, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, vol. 38, no. 11, pp. 622–634, Nov. 1977, doi: 10.1080/00028897708984406.
- Wang, C. and Cai, D.: Hand tool handle design based on hand measurements, *MATEC Web Conf.*, vol. 119, p. 1044, Jan. 2017, doi: 10.1051/mateconf/201711901044.

ERGONOMIC DESIGN OF HAMMER HANDLE TO PREVENT MUSCULOSKELETAL DISORDERS AND INJURIES

SUMMARY: Modern design of manual hand tools has to meet all requirements of usability, safety and comfort. Today's use of new technologies in design, prototyping and production enables the development of hand tools that, with their form, material and finish, enable better interaction between the user and his tool. This paper describes the process of designing and evaluating a hammer handle that would increase the performance, comfort and safety of the operator and at the same time prevent musculoskeletal disorders.

Key words: ergonomics, design, hand tools

Original scientific paper

Received: 2021-04-19

Accepted: 2021-12-01