B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

NAČRTOVANJE IN IZDELAVA TRAČNEGA BRUSILNIKA

Mentorica: doc. dr. Lidija Rihar, univ. dipl. inž.
Kandidat: Boštjan Benedičič
Lektorica: Nina Korošec, prof. slovenskega jezika

Kranj, september 2026

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici **dr. Lidiji Rihar**, profesorici za mehaniko, za vso strokovno pomoč, usmerjanje in podporo pri izdelavi diplomskega dela. Posebna zahvala gre za izčrpne in dragocene napotke že pred začetkom pisanja ter za številne koristne nasvete skozi celoten proces nastajanja naloge. Zahvaljujem se tudi za njeno dostopnost, razumevanje in pripravljenost pomagati pri vseh vprašanjih in dilemah, ki so se pojavili med pisanjem diplomskega dela.

POVZETEK

Diplomska naloga obravnava načrtovanje in izdelavo cenovno dostopnega ter robustnega tračnega brusilnika, namenjenega uporabi v hobi in manjših obrtnih delavnicah. Izhodišče naloge predstavlja potreba po napravi, ki omogoča stabilen tek brusnega traku, ponovljivo obdelavo materiala in varno uporabo ob omejenih proizvodnih zmogljivostih. V teoretičnem delu so predstavljena osnovna načela tračnega brušenja, vrste tračnih brusilnikov ter vpliv hitrosti traku, napetosti in kontaktnega tlaka na kakovost obdelave. Na podlagi analize obstoječih rešitev je bila izbrana zasnova brusilnika z dimenzijo traku 60 × 2000 mm in fiksno delovno hitrostjo približno 20 m/s.

V praktičnem delu je bil izveden celoten postopek od zasnove in dimenzioniranja posameznih sklopov do izdelave prototipa. Posebna pozornost je bila namenjena napenjalnemu in sledilnemu mehanizmu ter togosti konstrukcije. Izvedeni so bili osnovni izračuni hitrosti traku, napetosti in obremenitve ležajev. Delovanje prototipa je bilo preverjeno z eksperimentalnimi preizkusi, ki so vključevali merjenje vibracij, stabilnosti teka traku, hrupa in temperature ležajev. Rezultati so pokazali, da izdelani prototip izpolnjuje zastavljene tehnične in varnostne zahteve ter omogoča učinkovito brušenje kovinskih materialov. Naloga dokazuje, da je z uporabo standardnih komponent in osnovnih delavniških postopkov mogoče izdelati funkcionalen in zanesljiv tračni brusilnik.

KLJUČNE BESEDE

• tračni brusilnik
• tračno brušenje
• konstrukcija strojev
• napenjalni mehanizem
• prototipna izdelava

SUMMARY

This diploma thesis addresses the design and construction of a cost-effective and robust belt grinder intended for use in hobby and small workshop environments. The starting point of the study is the need for a device that ensures stable belt tracking, repeatable material removal, and safe operation under limited manufacturing conditions. The theoretical part presents the basic principles of belt grinding, different types of belt grinders, and the influence of belt speed, belt tension, and contact pressure on surface quality. Based on the analysis of existing solutions, a belt grinder with a belt dimension of 60 × 2000 mm and a fixed operating speed of approximately 20 m/s was designed.

In the practical part, the entire process from conceptual design and dimensioning of individual components to the manufacturing of a functional prototype was carried out. Special attention was paid to the tensioning and tracking mechanism as well as to the stiffness of the structure. Calculations of belt speed, belt tension, and bearing loads were performed. The performance of the prototype was evaluated through experimental tests, including measurements of vibrations, belt tracking stability, noise level, and bearing temperature. The results show that the developed prototype meets the defined technical and safety requirements and enables efficient grinding of metallic materials. The thesis demonstrates that a functional and reliable belt grinder can be produced using standard components and basic workshop manufacturing processes.

KEYWORDS

• belt grinder
• belt grinding
• machine design
• tensioning mechanism
• prototype manufacturing

KAZALO VSEBINE:

1 UVOD 1
1.1 Predstavitev problema 1
1.2 Cilji naloge 1
1.3 Predstavitev okolja 2
1.4 Predpostavke in omejitve 2
1.5 Hipoteze, merilni postopki in kriteriji 3
1.6 Utemeljitev pragov in okvir standardov/direktiv 6
1.7 Metode dela 7
2 PREGLED TRAČNIH BRUSILNIKOV 8
2.1 Vrste tračnih brusilnikov in njihova uporaba glede na: 8
2.2 Pregled in analiza uporabniških in DIY izvedb tračnih brusilnikov 10
2.3 Primerjava DIY rešitve in komercialnih naprav 11
3 ZASNOVA TRAČNEGA BRUSILNIKA 14
3.1 Izbira zasnove in delovnih mer 14
3.2 Seznam uporabljenih komponent 14
3.3 Priprava osnovnega tehničnega koncepta 15
4 DIMENZIONIRANJE IN IZBOR KOMPONENT 17
4.1 Izbira dolžine brusnega traku 17
4.2 Izračun hitrosti brusnega traku 18
4.3 Dimenzioniranje in optimizacija napenjalnega mehanizma brusnega traku 19
4.4 Dimenzioniranje in izbor ležajev 22
4.5 Dimenzioniranje konstrukcije 25
4.6 Izbor motorja in pogonskih elementov 26
5 IZDELAVA TRAČNEGA BRUSILNIKA 29
5.1 Priprava konstrukcijskih elementov 29
5.2 Sestava okvirja, valjev in napenjalnega mehanizma 29
5.3 Montaža motorja in preizkus pogona 31
6 DOKUMENTACIJA IZDELAVE 32
7 PREIZKUS NAPRAVE IN ANALIZA DELOVANJA 34
7.1 Ovrednotenje hipotez in merilnih kriterijev 34
8 PREDNOSTI IN MOREBITNE IZBOLJŠAVE 42
8.1 Izvedene izboljšave med razvojem 42
8.2 Možnosti nadaljnjih nadgradenj 48
9 ZAKLJUČEK 51
9.1 Povzetek rezultatov 51
9.2 Osebna refleksija in tehnične izkušnje 51
10 LITERATURA IN VIRI 53
PRILOGE 56

KAZALO SLIK

Slika 1: Beaumont KMG-TX tračni brusilnik 11
Slika 2: Origin Blade Maker Dominator 2×72 11
Slika 3: 84 Engineering Shop Master 2×72 Deluxe 12
Slika 4: Osnovni koncept kinematike tračnega brusilnika 15
Slika 5: Osnovni koncept postavitve vzmeti in sledilnega kolesa (Primer A in B). 20
Slika 6: Spremenjena geometrija napenjalne roke (Primer C in D). 21
Slika 7: Meritev sile napenjalnega mehanizma s silomerom 22
Slika 8: Elektro motor 220V 26
Slika 9: Elektro motor 380V 26
Slika 10: Razporeditev zaščitnih elementov, ki usmerjajo tok isker in preprečujejo njihov neposreden izmet proti uporabniku 41
Slika 11: Sledilno kolo z radialnim obodom (R = 350 mm) in povečano širino 44
Slika 12: Konstrukcijska skica začetne izvedbe nosilca valjčkov in podporne plošče 45
Slika 13: Konstrukcijska skica izboljšane izvedbe nosilca valjčkov in podporne plošče 45
Slika 14: Kontaktni disk Ø 140 mm 47
Slika 15: Prikaz priprave z nameščenim obdelovancem za vodeno brušenje zaokrožitev, nameščene na tračnem brusilniku 48
Slika 16: Gumirano kontaktno kolo (contact wheel) za brušenje zaobljenih površin 49
Slika 17: Primer kontaktne roke z valjčki (small wheel attachment) za brušenje manjših radijev 49

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava med tremi tračnimi brusilniki, dostopnimi v prosti prodaji. 12
Tabela 2: Povzetek izračunanih rezultatov iz Priloge 1 20
Tabela 3: Tabela sklopov predstavljenih v Prilogi 2 33
Tabela 4: Tabela osnovnih stroškov 39

POJMOVNIK

Asinhronski elektromotor: elektromotor, ki deluje na osnovi vrtečega se magnetnega polja in je najpogosteje uporabljen pogon industrijskih strojev.

Contact wheel (kontaktno kolo): kolo, preko katerega poteka brusni trak in omogoča večji odvzem materiala ter obdelavo radijev.

Crown (konveksni profil kolesa): rahlo izbočen profil kolesa, ki omogoča samodejno centriranje brusnega traku med obratovanjem.

Frekvenčni regulator (VFD): naprava za regulacijo frekvence in napetosti elektromotorja, ki omogoča nastavitev hitrosti brusnega traku in mehki zagon.

Ležaj (kotalni ležaj): strojni element za zmanjševanje trenja med vrtečimi se deli in za prenos radialnih ter aksialnih obremenitev.

Linearna hitrost traku: hitrost gibanja brusnega traku po obodu pogonskega kolesa, izražena v m/s.

MRR (Material Removal Rate): hitrost odvzema materiala pri brušenju, izražena kot količina odstranjenega materiala v določenem času.

Napenjalni mehanizem: mehanski sklop, ki zagotavlja stalno napetost brusnega traku ter omogoča kompenzacijo raztezkov in toleranc.

Platen (podporna plošča): ravna podporna površina za brusni trak, ki omogoča natančno ravninsko brušenje in nadzor geometrije obdelovanca.

Poravnava traku: geometrijska nastavitev brusnega traku glede na vodilna kolesa in podporno ploščo, ki zagotavlja enakomeren stik z obdelovancem.

Slack-belt brušenje: način brušenja brez toge opore za trakom, primeren za obdelavo zaobljenih in težko dostopnih površin.

Tracking (sledenje traku): nastavitev položaja brusnega traku na kolesih, ki zagotavlja stabilen in centriran tek traku.

Tračni brusilnik (belt grinder): stroj za obdelavo materialov z neskončnim brusnim trakom, namenjen odvzemu materiala, oblikovanju in končni obdelavi površin.

Varnostni ščitniki: zaščitni elementi stroja, namenjeni preprečevanju stika uporabnika z nevarnimi gibajočimi se deli ter usmerjanju isker in odrezkov.

Vibracije: mehanska nihanja konstrukcije stroja med obratovanjem, ki vplivajo na kakovost obdelave in življenjsko dobo komponent

KRATICE IN AKRONIMI

CNC:	Computer Numerical Control, kar pomeni računalniško vodene stroje, ki samodejno obdelujejo določen material ali predmet po napisanem računalniškem programu
dB(A):	decibel (A-vrednotenje) – enota za merjenje ravni hrupa.
DIY:	Do It Yourself – samogradnja oziroma izdelava naprave v lastni režiji.
EN:	European Norm – evropski standard.
IEC:	International Electrotechnical Commission – mednarodna Elektrotehniška komisija
IR:	infrared – infrardeče (npr. IR termometer).
ISO:	International Organization for Standardization – mednarodna organizacija za standardizacijo.
MIG/MAG:	postopek varjenja z zaščitnim plinom
MRR:	Material Removal Rate – hitrost odvzema materiala pri brušenju.
rpm (min^{-1}):	revolutions per minute – vrtljaji na minuto.
VFD:	Variable Frequency Drive – frekvenčni regulator / frekvenčni pretvornik za regulacijo hitrosti elektromotorja.

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V nalogi je obravnavan razvoj cenovno dostopnega in robustnega tračnega brusilnika, primernega za hobi in manjše obrtne delavnice. Izhodišče je potreba po napravi, ki omogoča hiter in ponovljiv odvzem materiala pri različnih materialih (kovine, les, polimeri), pri čemer na kakovost vplivajo linearna hitrost traku, kontaktni tlak in stabilnost vodenja traku (Groover, 2020; Kalpakjian in Schmid, 2023). V praksi se pri DIY in osnovnih komercialnih izvedbah pogosto pojavljajo težave z vibracijami, poravnavo traku in obrabo ležajev, kar zmanjšuje natančnost, varnost in življenjsko dobo naprave (Groover, 2020; Kalpakjian in Schmid, 2023).

Problem, ki ga obravnava naloga, je zasnova in izdelava tračnega brusilnika iz standardnih, lahko dobavljivih komponent, ob omejenem strojnem parku (razrez, vrtanje, navoj, osnovno rezkanje) in brez napredne proizvodne opreme (CNC, laserski razrez). Naprava mora zagotavljati stabilen tek traku, ponovljivost obdelave in varno uporabo ter biti stroškovno primerljiva z osnovnimi komercialnimi rešitvami. Teoretična izhodišča vključujejo odstranjevanje materiala z abrazivi, kinematiko brusnega traku (hitrost, napetost, kontaktni tlak) ter osnovno dimenzioniranje konstrukcije in pogona (moč, navor, prenos).

V okviru naloge so opredeljene zahteve, pripravljen je koncept, izvedeni so potrebni preračuni in izdelan je prototip, ki je preizkušen v delavniških pogojih. Posebna pozornost je namenjena stabilnosti teka in poravnavi traku, togosti konstrukcije ter izbiram komponent, ki vplivajo na obratovalno zanesljivost in varnost naprave.

1.2 Cilji naloge

Namen naloge je razvoj in praktični preizkus DIY tračnega brusilnika ter prenos teoretičnih znanj v delujoč prototip za realno uporabo. Cilj naloge je pripraviti pregled vrst in načinov uporabe tračnih brusilnikov ter primerjati komercialne in DIY rešitve. Naloga zajema zasnovo, dimenzioniranje in izdelavo prototipa. V okviru dela so izvedene meritve delovanja z oceno hitrosti brusnega traku, stabilnosti, poravnave in ravni hrupa ter oblikovana priporočila za izboljšave in navodila za varno uporabo. Rezultati naloge so proizvodna dokumentacija z osnovnimi načrti, seznamom komponent in merami, izdelan in preizkušen prototip, poročilo o meritvah z njihovo interpretacijo ter kratek priročnik za uporabo in varnost.

1.3 Predstavitev okolja

Diplomska naloga poteka v hobi delavnici, ki je opremljena z osnovnim strojnim parkom. Na voljo so delovna miza, primež ter ročna električna orodja, kot sta vrtalnik in kotna brusilka. Delavnica razpolaga tudi z vrtalno-rezkalnim strojem za osnovna rezkanja, žago za razrez materiala, varilnim aparatom MIG/MAG, navojnimi nastavki, povrtali ter osnovno merilno opremo (kljunasto merilo, mikrometer in tahometer za merjenje hitrosti brusnega traku).

Pri izdelavi so uporabljeni standardni jekleni polizdelki (jekleni profili in pločevina) ter kupljeni mehanski elementi, kot so ležaji, osi, kolesa in napenjalni elementi. Električno okolje omogoča enofazni priklop 230 V ter po potrebi tudi trifazni priklop 3 × 400 V.

1.3.1 Varnost in delovni pogoji

Delo poteka z uporabo osebne varovalne opreme (zaščitna očala/ščitnik, zaščita sluha), z zaščitnimi pokrovi na rotirajočih delih in z odsesavanjem oziroma prezračevanjem pri brušenju (iskre, prah). Preizkusi se izvajajo v delavniških pogojih na jeklu ter se dokumentirajo s fotografijami in meritvami (hitrost traku, poravnava, vibracije, hrup).

1.3.2 Varovanje podatkov

Delo ne poteka v konkretnem podjetju in ne vključuje zaupnih poslovnih podatkov, zato pisno dovoljenje za objavo ni potrebno. Če bi del raziskave potekal pri zunanjem izvajalcu ali v podjetju, bi bilo predhodno pisno soglasje pridobljeno in upoštevano.

1.4 Predpostavke in omejitve

1.4.1 Predpostavke

- dostop do standardnih jeklenih polizdelkov in mehanskih elementov (ležaji, osi, pogonska/napenjalna kolesa, vzmeti),
- uporaba asinhronskega motorja primerne moči, brez frekvenčnega pretvornika (fiksna hitrost),
- brusni trak 60 × 2000 mm kot izbrana delovna mera (dobavljivost, širina stika, kompatibilnost z zasnovo),
- izdelava z osnovnimi delavniškimi postopki (razrez, vrtanje, navoj, osnovno rezkanje; brez CNC/laserskega razreza),
- prototip mora zagotavljati stabilen tek traku, ponovljivost obdelave in varno uporabo, primerljivo z osnovnimi komercialnimi rešitvami.

1.4.2 Omejitve

- orodjarna/oprema: brez laserskega razreza in CNC → natančnost, ponovljivost in estetika izdelave so omejene na delavniške pogoje,

- en sam prototip → obseg preizkusov in statistična veljavnost rezultatov sta omejena,
- meritve v delavnici (tahometer, osnovna merila) → natančnost meritev hitrosti, vibracij, poravnave in hrupa je omejena,
- varnostni preizkusi: vizualni in funkcionalni po dobri praksi; formalno certificiranje ni predmet naloge,
- čas/finančni okvir: izbira standardnih, cenovno dostopnih komponent; obseg razvoja dodatkov (npr. regulacije hitrosti) je omejen.

1.4.3 Raziskovalna vprašanja

- Kakšna je izmerjena linearna hitrost traku in ali je primerljiva s ciljnim območjem za obdelavo kovin?
- Kako vibracije in poravnava traku vplivajo na kakovost površine in obrabo ležajev?
- Ali je raven hrupa pri prostem teku in zmerni obdelavi sprejemljiva za delavniško rabo?

1.5 Hipoteze, merilni postopki in kriteriji

1.5.1 H 1 (vibracije – »kovanec na robu«, kvalitativno)

- **Namen:** hiter in ponovljiv kvalitativni pokazatelj nizkih vibracij stroja in prenosa vibracij na delovno mizo
- **Oprema:** kovanec (npr. 2 €), ravna miza, štoparica, mobilni telefon (video)
- **Postopek:**
  - kovanec se postavi na rob (pokonci) na različne dele ohišja in obdelovalne mize
  - preizkus se izvaja pri prostem teku 60 s pri nazivnih vrtljajih
  - preizkus se ponovi tudi pri zmerni obremenitvi med brušenjem (30 s)
  - celoten preizkus se izvede v treh ponovitvah
- **Kriterij potrditve:**
  - prosti tek: kovanec ostane pokonci 60 s v ≥ 2/3 ponovitev
  - zmerna obdelava: kovanec ostane pokonci ≥ 30 s v ≥ 1/2 ponovitev
- **Sklic:** Frisson’s Knives (n.d.)

1.5.2 H 2 (poravnava – stabilen tek)

- **Namen:** preveriti sledljivosti brusnega traku brez potrebe po stalnih korekcijah nastavitev sledenja
- **Oprema:** štoparica in zapisnik korekcij nastavitev
- **Postopek:**
  - po začetni poravnavi brusnega traku stroj deluje 10 min brez obdelave
  - med delovanjem se beležijo morebitne korekcije nastavitev sledenja
  - tudi najmanjši poseg v nastavitveni vijak se šteje kot korekcija

- **Kriterij potrditve:**
  - največ 1 korekcija v 10 min delovanja

1.5.3 H 3 (poravnava – geometrija na platnu)

- **Namen:** ocena pravokotnosti in enakomernosti sledenja brusnega traku na kontaktni (podporni) plošči
- **Oprema:** šablona, ravnilo ali kljunasto merilo, fotoaparat ali mobilni telefon
- **Postopek:**
  - po začetni nastavitvi položaja brusnega traku se stroj zažene in deluje 1 min brez obremenitve
  - po zaustavitvi stroja se izmeri razdalja med robom kontaktne plošče in robom brusnega traku na štirih skrajnih točkah
  - izmeri se največje odstopanje Δ
- **Kriterij potrditve:**
  - največje odstopanje Δ ≤ 1 mm po širini brusnega traku 60 mm

1.5.4 H 4 (hrup – prosti tek)

- **Namen:** preveriti ravni hrupa tračnega brusilnika pri prostem teku brez obremenitve
- **Oprema:** merilnik hrupa ali mobilna aplikacija za merjenje hrupa, meter za določitev razdalje 1 m od naprave
- **Postopek:**
  - mikrofon se postavi na razdaljo 1 m od stroja v višini osi pogona
  - meritev se izvaja 60 s pri prostem teku brusilnika
  - meritev se ponovi trikrat
  - izračuna se povprečna vrednost izmerjenega hrupa
- **Kriterij potrditve:**
  - povprečna raven hrupa ≤ 85 dB (A)
- **Sklic:** European Parliament and Council (2003)

1.5.5 H 5 (hrup – zmerna obdelava)

- **Namen:** ocena ravni hrupa tračnega brusilnika pri realnem brušenju pri zmerni obremenitvi
- **Oprema:** merilnik hrupa ali mobilna aplikacija za merjenje hrupa, meter za določitev razdalje 1 m od naprave, jekleni kos, brusni trak granulacije P80
- **Postopek:**
  - mikrofon se postavi na razdaljo 1 m od stroja v višini osi pogona
  - brušenje se izvaja 30–60 s pri približno enakem ročnem pritisku (~25 N)
  - meritev se izvede v treh ponovitvah
  - izračuna se povprečna vrednost izmerjenega hrupa

- **Kriterij potrditve:**
  - povprečna raven hrupa ≤ 90 dB (A)

1.5.6 H 6 (ležaji – temperatura)

- **Namen:** preveritev, ali se temperatura ležajev pri delovanju tračnega brusilnika giblje v normalnih in dovoljenih mejah
- **Oprema:** IR termometer ali temperaturna sonda, merilnik temperature okolja
- **Postopek:**
  - izmeri se temperatura okolice
  - izmeri se začetna temperatura ležajnih ohišij pred zagonom naprave
  - stroj deluje 15 min pri prostem teku
  - ponovno se izmeri temperatura na obeh ležajnih ohišjih na isti merilni točki
- **Kriterij potrditve:**
  - razlika med temperaturo ležajev in temperaturo okolice T(ležaja) − T(okolja) ≤ +25 °C

1.5.7 H 7 (učinkovitost – menjava traku)

- **Namen:** ocena ergonomije tračnega brusilnika in priročnosti pri menjavi brusnega traku
- **Oprema:** štoparica, zapisnik časa menjave
- **Postopek:**
  - meri se čas od sprostitve napenjalnega mehanizma do stabilnega teka novega brusnega traku
  - menjava se izvede trikrat pri enakih pogojih
  - izračuna se povprečni čas menjave
- **Kriterij potrditve:**
  - povprečni čas menjave brusnega traku ≤ 60 s

1.5.8 H 8 (stroški – primerljivost)

- **Namen:** ovrednotenje ekonomske smiselnosti izdelave tračnega brusilnika v primerjavi s komercialno dostopnimi napravami
- **Oprema:** tabela stroškov materiala, kupljenih komponent in zunanjih storitev ter podatki o ceni referenčnega komercialnega tračnega brusilnika
- **Postopek:**
  - zberejo se vsi neposredni stroški izdelave prototipa (material, kupljeni deli, zunanje storitve)
  - določi se povprečna cena primerljivega komercialnega modela na trgu
  - izvede se primerjava skupnega stroška DIY rešitve s ceno referenčnega modela
- **Kriterij potrditve:**

- skupni strošek DIY rešitve ≤ 50 % referenčne cene komercialnega modela (brez upoštevanja stroškov lastnega dela)

1.5.9 H 9 (varnost – izmet isker)

- **Namen:** preveriti učinkovitost zaščitnih elementov in usmerjanja isker ter odrezkov pri obratovanju tračnega brusilnika z vidika varnosti uporabnika in okolice
- **Oprema:** označeno varovano območje (linija ali folija na tleh oziroma steni), fotoaparat ali mobilni telefon (foto/video dokumentacija)
- **Postopek:**
  - izvede se brušenje pri zmerni obremenitvi
  - opazuje se smer izmeta isker in odrezkov glede na označeno varovano območje
  - potek preizkusa se dokumentira s fotografijami ali video posnetkom
- **Kriterij potrditve:**
  - med preizkusom ne pride do izmeta isker ali odrezkov izven označenega varovanega območja
- **Sklic:** ISO (2010), European Parliament and Council (2006/)

1.6 Utemeljitev pragov in okvir standardov/direktiv

Ciljne vrednosti hrupa (≤85 dB (A) pri prostem teku in ≤90 dB (A) med obdelavo) so določene konservativno in izbrane v skladu z opozorilnimi ter mejnimi vrednostmi izpostavljenosti, navedenimi v Direktivi 2003/10/ES, ki ureja varovanje delavcev pred tveganji zaradi hrupa (European Parliament and Council, 2003). V okviru te naloge vrednosti ne predstavljajo formalne ocene izpostavljenosti, temveč služijo kot orientacijski kriterij za oceno sprejemljivosti delovanja naprave.

Ker gre za stacionarno, prototipno napravo in ne za ocenjevanje delovnih pogojev zaposlenih, dnevna izpostavljenost vibracijam A (8) ni neposredno obravnavana. Direktiva 2002/44/ES je uporabljena zgolj kot referenčni okvir pri kvalitativni interpretaciji vibracijskega udobja in zaznavnega obnašanja naprave med delovanjem (European Parliament and Council, 2002).

Načela varne zasnove stroja sledijo splošnim smernicam standarda ISO 12100, ki opredeljuje osnovna načela ocenjevanja tveganj in varne konstrukcije strojev. Zahteve Direktive o strojih so upoštevane kot konceptualni okvir, brez izvajanja formalnega postopka ugotavljanja skladnosti. Električna oprema naprave je zasnovana ob upoštevanju priporočil standarda IEC/EN 60204-1, ki obravnava varnost električne opreme strojev (ISO, 2010; European Parliament and Council, 2006/2019; IEC, 2016).

Demonstracijske metode, kot sta preizkus stabilnosti z uporabo kovanca (»coin test«) in preizkus odvzema materiala, so uporabljene izključno kot neformalne ilustracije delovanja naprave in primerjalne ocene stabilnosti ter funkcionalnosti, pri čemer ne predstavljajo standardiziranih merilnih postopkov (Frisson's Knives, n.d.; BATKO MACHINES, n.d.)

1.7 Metode dela

Uporabljen je pregled virov (opisna metoda z združevanjem), s katerim je oblikovan enoten teoretični okvir za tračno brušenje, konstrukcijske sklope in varnostne zahteve. Iz učbenikov, standardov in strokovnih gradiv so povzeti razponi linearnih hitrosti traku, značilnosti granulacij in kontaktnih pogojev ter načela varne zasnove in električne opreme strojev; to je podlaga za izbor delovnih mer (trak 60 × 2000 mm), režimov obratovanja in merilnih postopkov.

Analitična metoda razčleni sistem na prenos, napenjanje, poravnavo traku, togost konstrukcije, ergonomijo, varnost in stroške ter podpre odločitve z osnovnimi preračuni. Določeni so premeri pogonskih elementov in prestavna razmerja, izračunana ciljna linearna hitrost traku po relaciji , $v = \pi \cdot D \cdot n / 60$, ocenjeni potrebni navor in moč ter izbrane rešitve za napenjalni in poravnalni mehanizem, kar neposredno vodi izbor komponent in geometrije.

Eksperimentalna metoda sledi pristopu design–build–test: prototip je izdelan z dostopnimi postopki (razrez, vrtanje, navoj, osnovno rezkanje) in opremljen z asinhronskim motorjem brez frekvenčnega pretvornika. Delovanje se preveri po vnaprej določenih protokolih za vibracije (preizkus stabilnosti kovanca in po potrebi merilna ura ali pospeški), poravnavo (odstopanje roba na platnu ter število korekcij v času), hitrost traku (tahometer ali časovna metoda), hrup (meritev na 1 m pri prostem teku in zmerni obdelavi), temperaturo ležajev po definiranem času ter produktivnost odstranjevanja materiala (MRR) pri različnih zrnih in granulacijah. Na podlagi ugotovitev se po potrebi korigira poravnava in optimizirajo sklopi.

Obdelava podatkov vključuje najmanj tri ponovitve vsake meritve, izračun aritmetične sredine in standardnega odklona ter primerjavo z vnaprej postavljenimi kriteriji. Rezultati so prikazani pregledno (tabele/grafi) in interpretirani glede na cilje naloge.
Metoda ocene tveganj je uporabljena v fazi zasnove in preskusov: identificirana so ključna tveganja (vrteči deli, izmet isker/odrezkov, električna varnost), določeni zaščitni ukrepi (ščiti, usmerjanje isker, varna smer traku, glavno stikalo, ozemljitev, zaščita pred dotikom) in izvedena vizualno-funkcionalna verifikacija, vključno s preverjanjem, da pri obratovanju ne prihaja do izmeta izven varovanega območja (ISO, 2010; IEC, 2016).

2 PREGLED TRAČNIH BRUSILNIKOV

2.1 Vrste tračnih brusilnikov in njihova uporaba glede na:

2.1.1 Geometrijo stika

Kontaktno kolo (contact wheel) se uporablja predvsem za večji odvzem materiala ter obdelavo konveksnih oblik in radijev, kot so rezila nožev in različna orodja. Omogoča tudi nadzorovan ravninski finiš in enakomerno hrapavost površine pri ravnih ploskvah. Zaradi možnosti izbire različnih premerov in trdot koles je mogoče prilagoditi kontaktne pogoje glede na vrsto obdelave. Prednost takšne izvedbe je visoka produktivnost ter dobro sledenje ukrivljenim površinam, ob hkratnem dobrem vizualnem nadzoru procesa brušenja in hrapavosti (Ra). Slabost kontaktnega kolesa je manjši nadzor nad ravninskimi površinami ter povečana možnost segrevanja obdelovanca pri neustreznih nastavitvah hitrosti in kontaktnega tlaka, zato zahteva togo konstrukcijo in natančno poravnavo(Groover, 2020; Kalpakjian in Schmid, 2023).

Ravna opora oziroma podporna plošča (flat platen/planar) je namenjena nadzorovanemu ravninskemu brušenju, poravnavi ploskev in doseganju enakomerne hrapavosti površine (Ra). Tak način brušenja je posebej primeren v primerih, ko so geometrijske zahteve, kot so ravnost površin in pravokotnost robov, pomembnejše od velikega odvzema materiala. Prednost ravne opore je dobra ponovljivost obdelave in izrazit vizualni nadzor ravnosti površine, saj je med obdelavo jasno vidni svetlobna in kontaktna sled. Slabost te izvedbe je zahteva po togi opori in zelo natančni poravnavi, pri čemer je treba posebno pozornost nameniti tudi segrevanju brusnega traku in obdelovanca (Groover, 2020; Kalpakjian in Schmid, 2023).

Slack-belt brušenje (brez toge opore) se uporablja pri obdelavi težko dostopnih mest, kot so radiji, utori, odstranjevanje vara na ceveh in profilih, zaključevanje vogalov ohišij ter pri popravilih matric in kalupov. Takšen način brušenja omogoča tudi izvajanje servisnih operacij, kot so odpiranje robov, posnetja in raziglevanje. Zaradi odsotnosti toge opore trak lažje sledi kompleksnim krivuljam in omogoča natančno usmerjanje stika. Prednost slack-belt brušenja je zmanjšanje vidnih sledi obdelave in dobra prilagodljivost kompleksnim oblikam. Slabost pa je manjša stabilnost geometrije in hrapavosti površine (Ra), zato takšen način ni primeren za natančno kvadriranje ali ravninsko obdelavo (Groover, 2020; Kalpakjian in Schmid, 2023).

Kombinirani trak in kolut (belt/disc sander) združuje dve obdelovalni funkciji na enem stroju. Brusni trak se uporablja za grobo oblikovanje in obdelavo radijev, kolut pa za kvadriranje ter poravnavo robov in ravnih ploskev. Prednost takšne izvedbe je možnost hitrega prehoda med grobo in fino obdelavo brez menjave stroja, kar povečuje učinkovitost dela in prihrani prostor v delavnici. Slabost kombiniranih izvedb

je kompromisna ergonomija ter zahteva po kakovostni podporni mizici pri delu s kolutom, saj ta pomembno vpliva na natančnost in varnost obdelave (Groover, 2020; Kalpakjian in Schmid, 2023).

2.1.2 Postavitev

Namizni tračni brusilniki so namenjeni predvsem hitrim popravkom, odstranjevanju varov, posnemanju robov ter obdelavi manjših kosov. Zaradi kompaktne zasnove omogočajo hitro menjavo brusnih trakov ter so primerni za obdelavo radijev in robov. Njihova prednost je majhna prostorska zahtevnost in dobra dostopnost za osnovna delavniška opravila. Slabost takšnih naprav pa je nižja togost konstrukcije in manjša razpoložljiva moč, kar omejuje nadzor nad večjimi ploskvami ter stabilnost hrapavosti površine (Ra) pri daljših potezah.

Ročni tračni brusilniki se uporabljajo pri servisnih in montažnih delih, kjer je potrebna mobilnost in dostopnost do težko dosegljivih mest. Primerni so za odstranjevanje varov, posnemanje robov in obdelavo manjših površin neposredno na obdelovancu. Njihova prednost je enostavna uporaba in možnost natančnega usmerjanja stika, slabost pa omejena togost in nižja moč, zaradi česar niso primerni za natančno ravninsko obdelavo večjih ploskev.

2.1.3 Namen uporabe

Specializirani tračni brusilniki (cevni, »file belt«) so namenjeni obdelavi težko dostopnih mest, kot so radiji, utori, odstranjevanje vara na ceveh in profilih, zaključevanje vogalov ohišij ter popravila matric in kalupov. Uporabljajo se tudi pri servisnih operacijah, kot so odpiranje robov, posnetja in raziglevanje. Zaradi ozkega brusnega traku omogočajo natančno usmerjanje stika in nadzor pritiska na obdelovanec. Prednost takšnih naprav je visoka prilagodljivost pri obdelavi kompleksnih geometrij, slabost pa nizka produktivnost pri obdelavi večjih površin ter omejena stabilnost in širina brusnega traku.

Tračni brusilniki razreda 2 × 72 (EU: 50/60 × 2000 mm) se pogosto uporabljajo v nožarstvu in orodjarstvu, kjer so potrebni večji odvzemi materiala, fino zaključevanje ter natančno oblikovanje ravnih ploskev in radijev. Omogočajo uporabo tako ravne podporne plošče kot tudi kontaktnega kolesa, kar povečuje njihovo vsestranskost. Njihova glavna prednost je visoka togost konstrukcije, stabilen kontaktni tlak, hitra menjava delovnih modulov ter velika izbira brusnih trakov različnih granulacij in trdot kontaktnih koles. Slabost tega razreda je večja zahtevnost napenjalnega in sledilnega mehanizma, saj stabilno delovanje zahteva natančno nastavitev sledenja brusnega traku in ustrezno dimenzioniran napenjalni sistem (Beaumont Metal Works, n.d.; Origin Blade Maker, n.d.) .

Industrijski tračni brusilniki (»wide-belt«) predstavljajo skupino strojev z večjimi širinami in dolžinami brusnih trakov ter robustnimi ogrodji, namenjenimi visoko produktivni industrijski obdelavi, kot so raziglevanje, kalibracija in finiširanje površin (Timesavers Inc., 2025; Löser GmbH, n.d.). Značilni so zelo široki trakovi, ki lahko presegajo tudi širino enega metra, ter konfiguracije z več pogonskimi motorji in obdelovalnimi glavami, kot so kontaktni valji in kombinirane brusne enote. Takšni stroji omogočajo kontinuirano podajanje obdelovancev, avtomatsko sledenje brusnega traku ter delovanje v suhem ali mokrem režimu brušenja ob uporabi naprednih varnostnih sistemov. Poleg tega jih je mogoče vključiti v avtomatizirane proizvodne linije in robotske celice, kjer se zagotavljata nadzor sile in visoka ponovljivost procesa. V tem poglavju so industrijski tračni brusilniki omenjeni zgolj informativno in niso predmet praktične izvedbe.

2.2 Pregled in analiza uporabniških in DIY izvedb tračnih brusilnikov

V tem poglavju so strnjena praktična opažanja iz izbranih videoposnetkov o izdelavi tračnega brusilnika in preizkusa vibracij s kovancem. Ugotovitve so obravnavane kot ilustrativne, ne kot znanstveni dokaz.

2.2.1 Gradnja prototipa – ključni poudarki iz videoposnetkov

- **Okvir in poravnava**
  Videi poudarjajo potrebo po togem varjenem ali vijačenem ogrodju, natančni pravokotnosti osi in natančnih ležajnih sedežih, saj se napake prenesejo v vibracije in “valovanje” na platnu (Vandelay, n.d., Part 1).

- **Napenjalec in sledenje**
  Prikazana je plinska roka z nastavitvenim vijakom za nagib vodilnega kolesa. Stabilno sledenje dosežemo z rahlo bombiranim kolesom, čistimi vodili in pravilno napetostjo (Vandelay, n.d., Part 2).

- **Kontakt: kolo v primerjavi z ravno podporno ploščo**
  Za hiter odvzem in radije je uporabljeno kontaktno kolo, za ravnine in enakomernejši finiš pa brusni trak na ravni opori. Kratki prehodi in zmeren pritisk zmanjšajo segrevanje roba (Vandelay, n.d., Part 3).

- **Varnost in odsesavanje**
  Pri suhem brušenju kovin je smiselno usmerjanje isker in odsesavanje prahu, sicer se kopičijo vroči delci in usedline (Vandelay, n.d., Part 3).

- **Vibracije – “coin test”**
  Posnetek preizkusa s kovancem prikazuje stabilnost kovanca na ohišju in mizi med prostim tekom. Če kovanec ostane pokonci, so vibracije nizke, kar pomeni, da je okvir dovolj tog, da je pogon uravnotežen, in je sledenje traku stabilno. Padec

kovanca pa nasprotno nakazuje neravnovesje, zračnosti ali težave s sledenjem traku (BATKO MACHINES, n.d.).

2.3 Primerjava DIY rešitve in komercialnih naprav

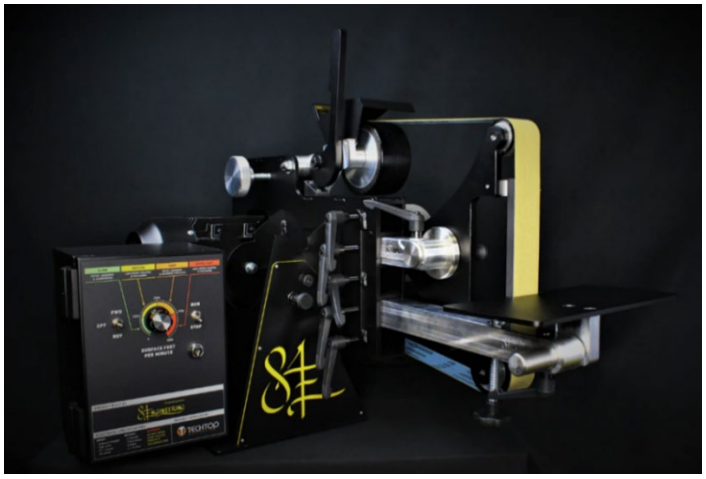
V primerjavi DIY tračnega brusilnika 60 × 2000 mm upoštevam tri referenčne modele, ki so prikazani na Sliki 1 je Beaumont KMG-TX, na Sliki 2 OBM Dominator 2×72 in na Sliki 3 je 84 Engineering Shop Master 2×72 Deluxe.



Slika 1: Beaumont KMG-TX tračni brusilnik
(Vir: Prilagojeno po Beaumont Metal Works (n.d.), KMG-TX.)



Slika 2: Origin Blade Maker Dominator 2×72
(Vir: Prilagojeno po Origin Blade Maker (n.d.), Dominator 2×72)



Slika 3: 84 Engineering Shop Master 2×72 Deluxe
(Vir: Prilagojeno po 84 Engineering (n.d.), Shop Master 2×72 Belt Grinder Linisher – Deluxe Kit)

2.3.1 Primerjalna tabela

Za oceno tehničnih in ekonomskih značilnosti zasnovanega tračnega brusilnika je bila izvedena primerjava z izbranimi komercialno dostopnimi modeli. Pregled osnovnih tehničnih parametrov, hitrosti brusnega traku in cenovnih razredov treh primerljivih tračnih brusilnikov je prikazan v Tabeli 1.

V tabeli so povzeti podatki in preračuni omenjenih parametrov. Podatki o modelih so povzeti z uradnih strani proizvajalcev; hitrosti pri 2500 rpm so izračunane po $v = \frac{\pi.\mathrm{Dn}}{60}$. Cene so okvirne in odvisne od konfiguracije, davkov in tečaja na dan 19. 11. 2025.

GLAVNE PRIMERJALNE TOČKE			
KRITERIJ	**Beaumont KMG-TX**	**84 Engineering Shop Master 2×72 Deluxe**	**Origin Blade Maker Dominator 2×72**
Okvirna cena v EUR	2951 do 3540	5553	1626
Nastavljivi obrati elektromotorja	DA - z frekvenčnim regulatorjem	DA - z frekvenčnim regulatorjem	DA - z frekvenčnim regulatorjem
Moč elektromotorja (3 fazni)	1,5 kW ali 2,2 kW	2,2 kw	1,5 kw
Deklariran razpon hitrosti traku (pri 2500 rpm elektromotorja)	20 m/s do 33 m/s (glede na pogonsko kolo)	24 m/s	24 m/s
Pogonsko kolo	158mm ali 263mm (6" ali 10")	184mm (7")	184mm (7")
Tilt (vertikalno/horizontalno)	DA	DA	DA

Tabela 1: Primerjava med tremi tračnimi brusilniki, dostopnimi v prosti prodaji.
(Viri: Beaumont Metal Works, 2026; 84 Engineering, 2026; Origin Blade Maker, 2026)

Primerjava pokaže, da predstavljeni komercialni modeli prednjačijo v vsestranskosti hitrosti zaradi VFD. Razviti prototip bo pri fiksni hitrosti dosegel ciljno hitrost traku za kovine (≈18–22 m/s) in ob ustrezni togosti, uravnoteženih kolesih ter natančnem sledenju dosegel stabilen tek. Najbolj smiselno področje za nadgradnjo bo dodatek VFD, ki razširi delovno okno hitrosti traku in olajša nadzor temperature obdelovanca. Cenovno lahko DIY obdrži prednost ≤ 50 % referenčne cene. Izračunana povprečna vrednost iz zgoraj omenjenih tračnih brusilnikov je 3417 € polovični znesek torej znaša 1708 €.

3 ZASNOVA TRAČNEGA BRUSILNIKA

3.1 Izbira zasnove in delovnih mer

Izbrana je topologija 60 × 2000 mm z možnostjo dela vertikalno/horizontalno. Osnovni delovni modul je ravna opora (platen) za nadzorovan ravninski finiš in posnemanje robov, dopolnjen z možnostjo slack-belt za mehkejše prehode. Uporaba kontaktnega (gumiranega) kolesa je predvidena kot nadgradnja v poznejši fazi in v osnovni verziji ni vključeno. Širina 60 mm nudi večjo kontaktno površino in enakomernejši finiš širših ploskev ob zmerno povečani potrebi po moči ter zahtevnejšem sledenju.

Pogonsko kolo se trenutno predvideva do max. Ø ~180 mm (7") – to uvršča hitrost v tipično okno za kovine pri standardnih vrtljajih in je skladno s komercialnim razredom. Sledilno kolo se trenutno predvideva do max. Ø ~100 mm z blagim radiusom za stabilno sledenje. Ciljna fiksna hitrost traku je ~18–22 m/s (natančen preračun v poglavju 4.2 po enačbi $v = \frac{\pi.\mathrm{Dn}}{60}$). Napenjalni mehanizem ima hod ~25–35 mm in nastavljiv kot sledilnega kolesa (pribl. ±3–5°) za centriranje traku.

3.2 Seznam uporabljenih komponent

3.2.1 Pogon in prenos

- Asinhronski motor 1,5–2,2 kW, 380 V, VFD kot opcija.
- Pogonsko kolo: max. Ø ~180 × (60–65) mm, aluminij (po možnosti gumirano) ter natančno uravnoteženo.
- Sledilno kolo (tracking wheel): Ø ~70–90mm × (60–65) mm z nastavljivim nagibom.
- Kontaktno (gumirano) kolo: Ø ~200–250mm × (60–65) mm v primeru nadgradnje.
- Zgornje in spodnje podporno kolo (platen wheels): Ø ~50–70mm × (60–65) mm.

3.2.2 Podporna plošča (flat platen)

- jeklena kaljena plošča z nastavljivim odmikom in kotom

3.2.3 Napenjalna roka

- napenjalna roka bo iz jeklenega profila z navadno ali plinsko vzmetjo ustrezne sile

3.2.4 Ogrodje in osnova

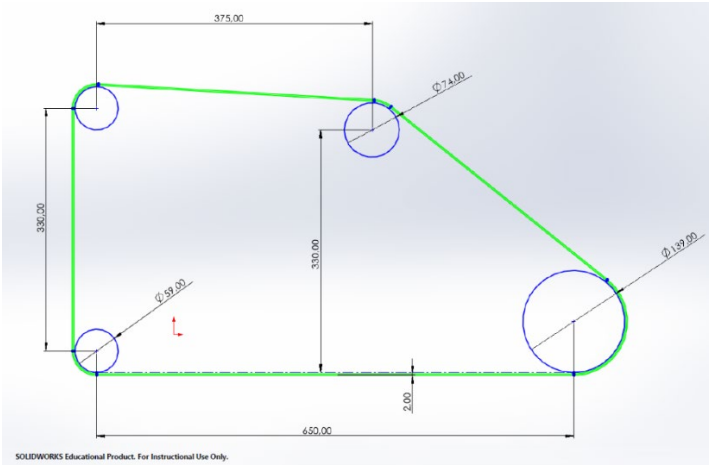
- varjeno/vijačeno ogrodje iz konstrukcijskega jekla
- nastavljiva delovna mizica z mikronastavitvijo kota; delovna višina ~1000–1050 mm

3.2.5 Varnost in elektrika

- ščitniki traku in usmernik isker, zbirna posoda (priklop odsesavanja ni predviden)
- ustrezno stikalo za vklop in izklop, kabelske uvodnice in zaščita pred prahom, ustrezna ozemljitev

3.3 Priprava osnovnega tehničnega koncepta

3.3.1 Kinematika tračnega brusilnika in osnovna zasnova sistema



Slika 4: Osnovni koncept kinematike tračnega brusilnika
(Lastni vir)

Na Sliki 4 je prikazan osnovni koncept kinematike tračnega brusilnika in zasnova sistema. Brusni trak poteka od pogonskega kolesa preko sledilnega kolesa, ki omogoča nastavitev nagiba za pravilno sledenje traku, ter preko napenjalnega mehanizma do izbranega delovnega modula (podporna plošča – platen, kontaktno kolo ali prosti tek – slack belt) in nato nazaj na pogonsko kolo. Referenčne ravnine sistema predstavljajo os pogona, ravnina podporne plošče in delovna mizica, pri čemer sta ključni vzporednost in pravokotnost nosilnih elementov.

Sledenje brusnega traku je zagotovljeno z majhnim kotom nagiba osi sledilnega kolesa (približno ±3–5°). Dodatno stabilizacijo položaja traku omogoča radialna oblika (t. i. crown) sledilnega kolesa, ki prispeva k pasivnemu samocentriranju brusnega traku med delovanjem naprave.

Napenjalni mehanizem z delovnim hodom približno 25–35 mm omogoča kompenzacijo toleranc dolžine brusnih trakov ter temperaturnih raztezkov in zagotavlja stalno napetost traku med obratovanjem. Zasnova sistema omogoča hitro menjavo med posameznimi delovnimi moduli (podporna plošča, kontaktno kolo in prosti tek), pri čemer je cilj zagotoviti čas menjave brusnega traku do 60 s, ponovljiv ničelni položaj modulov ter stabilno poravnavo sistema.

Pri zasnovi so bile upoštevane tudi varnostne zahteve. Posebna pozornost je namenjena nevarnim conam, predvsem območju uvleka brusnega traku, zaščitnim pokrovom ter usmerjanju isker in delcev materiala. Izklop elektromotorja je predviden v dosegu roke uporabnika, električne komponente pa so zaščitene pred prahom. Konstrukcija omogoča enostavno demontažo koles ter dostop do ležajev zaradi vzdrževanja.

4 DIMENZIONIRANJE IN IZBOR KOMPONENT

Tehnične odločitve v poglavju 4 temeljijo na strokovni literaturi, uporabljenih standardih ter praktični izvedbi tračnega brusilnika.

4.1 Izbira dolžine brusnega traku

Pri zasnovi tračnega brusilnika je bila ena ključnih odločitev izbira ustrezne dolžine in širine brusnega traku, saj ti parametri neposredno vplivajo na stabilnost delovanja, hlajenje traku, obrabo in uporabnost naprave. Na podlagi pregleda strokovne literature in obstoječih praktičnih rešitev je bil prvotno izbran standardni brusni trak dolžine 2000 mm in širine 50 mm.

Dolžina brusnega traku 2000 mm sodi med uveljavljene dimenzije tako v industrijski praksi kot pri prototipnih in DIY tračnih brusilnikih. Daljši trak omogoča večjo razdaljo med kontaktnimi točkami, kar prispeva k boljšemu hlajenju traku med povratnim tekom in zmanjšanju toplotne obremenitve abrazivnega materiala. S tem se zmanjša lokalno pregrevanje, podaljša življenjska doba traku in izboljša stabilnost obdelave. Podobne dolžine trakov so uporabljene tudi v raziskovalnih in prototipnih brusilnikih, kjer je poudarek na stabilnem teku in ponovljivosti obdelave (Matejić idr., 2022; Nguyen, 2023).

Poleg dolžine je bilo zavestno določeno povečanje standardne širine traku s 50 mm na 60 mm. Večja širina brusnega traku poveča kontaktno površino med trakom in obdelovancem, kar omogoča enakomernejšo porazdelitev kontaktnega tlaka in s tem stabilnejše ročno brušenje. Večja kontaktna površina hkrati zmanjšuje lokalno obrabo abrazivnih zrn in prispeva k boljši vodljivosti traku pri ročnem delu, kar je še posebej pomembno pri obdelavi večjih ali neravnih površin. Literatura s področja abrazivnega brušenja navaja, da kontaktna površina pomembno vpliva na proces odstranjevanja materiala in stabilnost obdelave, pri čemer večja površina praviloma omogoča bolj nadzorovan proces (Pandiyan idr., 2020; Syreyshchikova idr., 2021).

Izbrana dimenzija 2000 × 60 mm predstavlja kompromis med razširjeno uporabnostjo in praktično izvedljivostjo. Brusni trakovi teh dimenzij so še vedno dobavljivi pri več proizvajalcih in dobaviteljih, hkrati pa ne zahtevajo bistveno večjih konstrukcijskih prilagoditev v primerjavi s standardno širino. S tem je zagotovljena združljivost z izbrano zasnovo brusilnika, dobra dostopnost potrošnega materiala in ustrezna robustnost za predvideno uporabo v hobi in manjših obrtnih delavnicah.

4.2 Izračun hitrosti brusnega traku

Linearna hitrost brusnega traku je odvisna od vrtilne hitrosti pogonskega kolesa in njegovega premera. Pri zasnovi je izbran **direktni pogon**, zato je vrtilna hitrost pogonskega kolesa enaka vrtilni hitrosti elektromotorja.

Linearna hitrost brusnega traku je podana z enačbo:

$$v = \frac{\pi \,.\, \mathrm{D} \,.\, \mathrm{n}}{60}$$

kjer je:

v = linearna hitrost brusnega traku [m/s]

D = premer pogonskega kolesa [m]

n = vrtilna hitrost pogonskega kolesa [min^{-1}]

V izračunu je upoštevan premer pogonskega kolesa D = 139 mm = 0,139 m

4.2.1 Motor 2,2 kW / 2800 min^{-1} / 230 V

Nazivna vrtilna hitrost motorja je n = 2800 min^{-1}.

$$v = \frac{\pi \,.\, \mathrm{D} \,.\, \mathrm{n}}{60} = \frac{\pi \,.\, 0{,}139 \,.\, 2800}{60} = 20{,}38\ m/s$$

4.2.2 Motor 2,2 kW / 2840 min^{-1} / 380 V

Nazivna vrtilna hitrost motorja je n = 2840 min^{-1}..

$$v = \frac{\pi \,.\, \mathrm{D} \,.\, \mathrm{n}}{60} = \frac{\pi \,.\, 0{,}139 \,.\, 2840}{60} = 20{,}67\ m/s$$

4.2.3 Primerjava rezultatov

- Motor **230 V / 2800 min^{-1}** : v ≈ 20,38 m/s
- Motor **380 V / 2840 min^{-1}** : v ≈ 20,67 m/s

Razlika v hitrosti traku je približno 0,29 m/s (manj kot 2 %), zato z vidika hitrosti traku oba motorja dosegata praktično enako obratovalno stanje. Obe vrednosti sta v ciljnem območju 18–22 m/s, ki je primerno za tračno brušenje, saj literatura navaja, da se pri

tračnem brušenju pogosto uporabljajo hitrosti v širšem območju približno 10–30 m/s, pri čemer je izbira odvisna od materiala in režima obdelave.

Na podlagi tega je za nadaljnje dimenzioniranje in izvedbo pogona kot končna izbira izbran trifazni elektromotor 380 V, saj poleg ustrezne hitrosti omogoča stabilnejše obratovanje in možnost poznejše regulacije s frekvenčnim pretvornikom (VFD).

4.3 Dimenzioniranje in optimizacija napenjalnega mehanizma brusnega traku

Pri zasnovi tračnega brusilnika je bilo treba določiti ustrezno napenjalno silo brusnega traku, ki zagotavlja stabilen tek traku, zanesljivo sledenje po kolesih ter preprečuje zdrs pri obremenitvah med brušenjem. Nezadostna napetost povzroča nestabilno delovanje in uhajanje traku, medtem ko pretirana napetost povečuje obremenitve ležajev, osi in konstrukcije.

V industrijski praksi se napetost brusnega traku običajno izraža kot sila na enoto širine traku, kar omogoča primerljivost med različnimi dimenzijami tračnih brusilnikov (Red Label Abrasives, n.d.). Priporočene vrednosti znašajo približno 20–25 lb na linearni palec širine traku, kar ustreza območju 3,5–4,3 N/mm.

Za izbrani brusni trak širine 60 mm to pomeni ciljno skupno napenjalno silo približno med 210 N in 260 N.

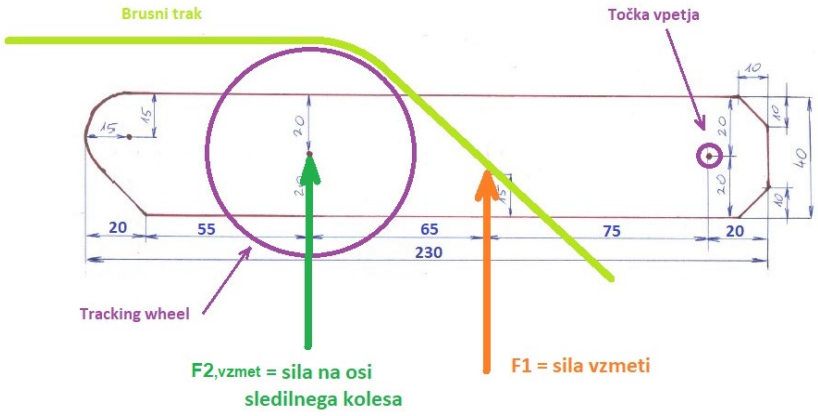
4.3.1 Opis sil in oznake

Pri analizi napenjalnega mehanizma so uporabljene naslednje oznake sil:

- $\boldsymbol{F1}$– sila vzmeti napenjalnega mehanizma [N]
- $\boldsymbol{F2, vzmet}$ – sila, s katero napenjalni mehanizem (vzmet in ročica) deluje na os sledilnega kolesa [N]
- $\boldsymbol{F2, trak}$ – rezultanta sil napetega brusnega traku (veji T_1 in T_2) na sledilno kolo [N]
- $\boldsymbol{F2r}$ – skupna rezultanta obremenitve osi sledilnega kolesa, ki vključuje vpliv vzmeti in brusnega traku [N]
- $\mathbf{T_1}$ – sila napetega brusnega traku v vstopni veji [N]
- $\mathbf{T_2}$ – sila napetega brusnega traku v izstopni veji [N]
- **F** – vzdolžna napetost brusnega traku [N]
- **σ** – napetost brusnega traku na enoto širine [N/mm]
- **b** – širina brusnega traku [mm]
- $\mathbf{L_1}$ – razdalja med točko vpetja napenjalne roke in točko delovanja sile vzmeti [mm]
- $\mathbf{L_2}$ – razdalja med točko vpetja napenjalne roke in osjo sledilnega kolesa [mm]
- **α** – kot ovitja brusnega traku okoli sledilnega kolesa [°]

- **φ** – kot med silama T_1 in T_2 [°]
- **β** – kot med rezultanto $F2r$ in smerjo delovanja sile napenjalnega mehanizma [°]

Geometrija napenjalnega mehanizma in razmerje ročic sta prikazana na Sliki 5.



Slika 5: Osnovni koncept postavitve vzmeti in sledilnega kolesa (Primer A in B).
(Lastni vir)

4.3.2 Primerjalna analiza konfiguracij napenjalnega mehanizma

V postopku razvoja so bile analizirane štiri konfiguracije napenjalnega mehanizma (Primer A–D), ki so se razlikovale po:

- sili vzmeti,
- geometriji napenjalne roke (razmerju L_1/L_2).

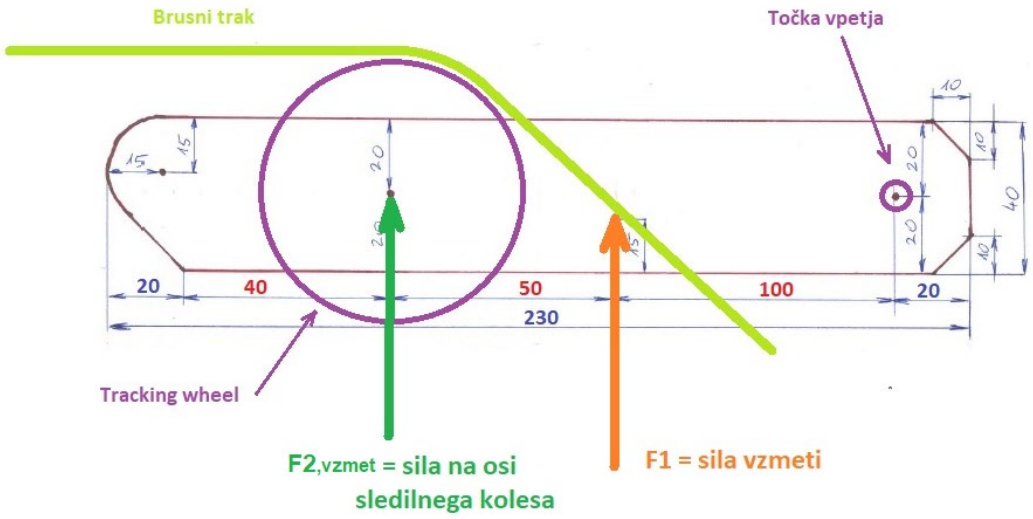
Za vsako konfiguracijo je bila iz ravnotežja momentov ocenjena sila $F2, vzmet$, nato pa na podlagi vektorskega seštevanja sil traku določena napetost brusnega traku. Podrobni matematični izračuni so podani v Prilogi 1.

Rezultati so povzeti v spodnji tabeli:

	L1 / L2	Sila vzmeti F1 [N]	Napetost traku σ [N/mm]	Ocena ustreznosti
Primer A	75 mm / 140 mm	390	2,1	neustrezna
Primer B	75 mm / 140 mm	460	2,3	neustrezna
Primer C	100 mm / 150 mm	460	2,65	mejna
Primer D	100 mm / 150 mm	600	3,45	ustrezna

Tabela 2: Povzetek izračunanih rezultatov iz Priloge 1
(Lastni vir)

Iz Tabele 2 je razvidno, da zgolj povečanje sile vzmeti brez spremembe geometrije napenjalne roke ne zagotavlja zadostne napetosti brusnega traku. Ključni vpliv ima razmerje ročic L1 : L2, ki določa, kolikšen delež sile vzmeti se prenese na sledilno kolo.
Spremenjena geometrija napenjalne roke (Slika 6) je omogočila bistveno povečanje efektivne sile na sledilno kolo in s tem doseganje napetosti traku v območju industrijskih priporočil.



Slika 6: Spremenjena geometrija napenjalne roke (Primer C in D).
(Lastni vir)

4.3.3 Eksperimentalna potrditev

Končna konfiguracija (Primer D) je bila preverjena tudi eksperimentalno z ročnim silomerom, kot je prikazano na Sliki 7. Izmerjena sila na napenjalnem mehanizmu je znašala približno 73 kg, kar ustreza približno 716 N. Teoretično izračunana vrednost rezultante sil $F2r$ znaša 793 N.

Manjše odstopanje je mogoče pripisati:

- trenju v ležajih in vodilih napenjalnega mehanizma,
- elastičnosti brusnega traku,
- deformacijam konstrukcije,
- omejeni natančnosti uporabljenega merilnega instrumenta.

Meritev potrjuje ustreznost izbranega dimenzioniranja in skladnost med teoretičnim modelom in dejanskim delovanjem sistema.



Slika 7: Meritev sile napenjalnega mehanizma s silomerom
(Lastni vir)

4.3.4 Zaključni sklep

Na podlagi teoretičnih izračunov in praktičnih preizkusov je bila kot končna rešitev izbrana konfiguracija z vzmetjo sile 600 N in spremenjeno geometrijo napenjalne roke (Primer D). Dosežena napetost brusnega traku znaša približno 3,45 N/mm, kar predstavlja spodnjo mejo industrijsko priporočenega območja (3,5–4,3 N/mm), vendar se je v praksi izkazala kot zadostna za stabilen tek traku in zanesljivo obratovanje naprave.

Rezultati potrjujejo, da ima geometrija napenjalnega mehanizma enako pomembno vlogo kot absolutna sila vzmeti. Ustrezno dimenzioniran napenjalni mehanizem zagotavlja stabilno sledenje brusnega traku, zmanjšuje vibracije in prispeva k daljši življenjski dobi ležajev ter brusnega traku.

Podrobni potek izračuna ravnotežja momentov, vektorskega seštevanja sil ter določitev napetosti brusnega traku za posamezne konfiguracije (Primeri A–D) je prikazan v Prilogi 1.

4.4 Dimenzioniranje in izbor ležajev

Pri zasnovi tračnega brusilnika je bilo treba dimenzionirati ležaje na pogonskem in sledilnem kolesu tako, da zagotovijo varno in zanesljivo delovanje pri predvidenih obremenitvah ter zadostno življenjsko dobo naprave. Obremenitve ležajev izhajajo predvsem iz napetosti brusnega traku in sile napenjalnega mehanizma, ki so bile določene v poglavju 4.3.
Ležaji morajo poleg nosilnosti zagotavljati tudi primerno obratovalno stabilnost pri razmeroma visokih vrtilnih hitrostih ter odpornost na prah in nečistoče, ki nastajajo pri postopku brušenja.

4.4.1 Obremenitve ležajev

Na os sledilnega kolesa deluje rezultanta (sila F2r), ki predstavlja vektorsko vsoto sil napetega brusnega traku in sile napenjalnega mehanizma. Za končno izbrano konfiguracijo napenjalnega mehanizma (Primer D) znaša teoretično izračunana vrednost rezultante:

$$\boldsymbol{F}2r \;=\; 793\,N$$

Ker je sledilno kolo vpeto z dvema ležajema, se obremenitev v prvi aproksimaciji razdeli približno enakomerno na oba ležaja, kar pomeni, da posamezni ležaj prevzema radialno silo približno:

$$\boldsymbol{F}ležaj \;=\; 400\,N$$

Podobne velikostne razrede obremenitev lahko pričakujemo tudi na ležajih pogonskega kolesa, kjer poleg napetosti traku delujejo še dodatne obremenitve zaradi mase kolesa in pogonskega momenta elektromotorja. V obeh primerih prevladuje radialna obremenitev, aksialne sile pa so v primerjavi z radialnimi bistveno manjše, zato so v nadaljnji analizi zanemarjene.

4.4.2 Izbor tipa ležaja

Glede na naravo obremenitve (pretežno radialna sila), razmeroma visoke vrtilne hitrosti ter zahteve po enostavni montaži in dobavljivosti je bil izbran standardni kroglični kotalni ležaj.

Ta tip ležaja je primeren za:

- prenašanje radialnih obremenitev,
- zmerne aksialne obremenitve,
- visoke vrtilne hitrosti,
- enostavno vgradnjo in vzdrževanje.

Za zaščito pred prahom in kovinskimi delci, ki nastajajo pri brušenju, je bil izbran ležaj z obojestranskim tesnjenjem (oznaka 2RS).

Kot primer ustreznega ležaja je bil izbran ležaj tipa 6202-2RS, ki ima po katalogu proizvajalcev osnovno dinamično nosilnost, večjo od izračunanih obremenitev, kar zagotavlja ustrezno varnostno rezervo in zanesljivo obratovanje v obravnavanem sistemu.

4.4.3 Preverjanje nosilnosti in življenjske dobe

Nosilnost in življenjska doba ležajev sta bili preverjeni na podlagi standardne enačbe za izračun osnovne dobe trajanja kotalnih ležajev:

$$L10 = \left(\frac{C}{P}\right)^{p}$$

kjer je:

- **L10** - osnovna doba trajanja ležaja
- **C** - osnovna dinamična nosilnost ležaja
- **P** - ekvivalentna dinamična obremenitev
- **p** - eksponent, ki znaša 3 za kroglične ležaje

Na podlagi izračunov sil v poglavju 4.3 znaša rezultanta na os sledilnega kolesa:

$F2r = 793\ N$

Ker je sledilno kolo vpeto z dvema ležajema, znaša radialna obremenitev posameznega ležaja:

$$P = \frac{F2r}{2} = 400\ N$$

Dinamična nosilnost ležaja in življenjska doba

To je obremenitev, ki jo ležaj lahko prenaša pri vrtenju določeno število obratov, ne da bi prišlo do utrujanja materiala kotalnih elementov in tekalnih stez.

Za izbrani globoko kroglični ležaj tipa 6202-2RS je osnovna dinamična nosilnost ležaja po katalogu proizvajalca:

$\boldsymbol{C} = 7800\ N$

Vstavimo vrednosti v enačbo za življenjsko dobo:

$$L10 = \left(\frac{C}{P}\right)^{p} = \left(\frac{7800\ N}{400\ N}\right)^{3} = (19{,}5)^{3} = 7414$$

Kar pomeni:

$$L10 = 7{,}4 \times 10^{3}\ milijonov\ obratov$$

Pretvorba v ure obratovanja pri nazivni vrtilni hitrosti $n = 2800\ min - 1$

$$L10\ h = \frac{L10 \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{7{,}4 \cdot 10^3 \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{7{,}4 \cdot 10^9}{60 \cdot 2800} = 44000\ h$$

Izračunana vrednost predstavlja življenjsko dobo ležaja pri stalni maksimalni obremenitvi. V realnih obratovalnih pogojih bo dejanska življenjska doba nekoliko krajša zaradi prisotnosti brusnega prahu, vibracij in neidealnih delovnih razmer. Kljub temu je pričakovana življenjska doba še vedno zelo dolga, saj je obremenitev ležaja bistveno manjša od njegove nazivne dinamične nosilnosti.

Zaradi predimenzioniranja izbranega ležaja se pričakujejo zmanjšana potreba po vzdrževanju in redke menjave ležajev, kar prispeva k večji zanesljivosti in uporabni vrednosti naprave.

Statična nosilnost ležaja

To je največja obremenitev, ki jo ležaj lahko prenese v mirovanju (ali pri zelo majhni hitrosti), ne da pride do trajnih deformacij kroglic in obročev**.**

Za izbrani globokokrogličnі ležaj tipa 6202-2RS je osnovna statična nosilnost ležaja po katalogu proizvajalca:

$\mathbf{C}_0 = 3750\ N$

Pogoj statične nosilnosti se preveri s primerjavo ekvivalentne obremenitve ležaja P s kataloško vrednostjo statične nosilnosti $\mathbf{C}_0$**.**

$$\boldsymbol{P} < \mathbf{C}_0$$

$$400\ \mathrm{N} < 3750\ \mathrm{N}$$

Preverjanje statične nosilnosti potrjuje, da izbrani ležaj deluje z veliko varnostno rezervo in izpolnjuje pogoje za varno in zanesljivo obratovanje sistema.

4.5 Dimenzioniranje konstrukcije

Konstrukcija tračnega brusilnika mora zagotavljati zadostno togost, stabilnost in varnost pri obratovanju, hkrati pa omogočati natančno vodenje brusnega traku in zanesljivo delovanje pogonskega sklopa. Pri dimenzioniranju konstrukcije je bil poudarek na praktični izvedbi, mehanski robustnosti in dostopnosti materialov.

Nosilni deli konstrukcije so izdelani pretežno iz ploščatega jekla debeline približno 10 mm, v skladu s standardom EN 10025 (European Committee for Standardization,

2004). Takšna izbira materiala zagotavlja visoko togost konstrukcije in zmanjšuje elastične deformacije pri obremenitvah, ki nastajajo med brušenjem. Zaradi masivnosti uporabljenih elementov so deformacije konstrukcije zanemarljive in ne vplivajo na stabilnost delovanja naprave.

Posebna pozornost je bila namenjena vpetju elektromotorja in pogonskega kolesa, saj stabilnost tega sklopa neposredno vpliva na tek brusnega traku. Elektromotor je pritrjen na masiven nosilni del konstrukcije, kar omogoča natančno poravnavo pogona in zmanjšuje prenos vibracij.

Zgornji del konstrukcije, kjer so nameščena vodilna in napenjalna kolesa, omogoča natančno nastavitev sledenja brusnega traku. Napenjalni mehanizem je vpet v togo konstrukcijo, kar zagotavlja stabilen tek traku tudi pri večjih obremenitvah.

Delovna miza je zasnovana kot tog in samostojen element, ki omogoča varno in natančno vodenje obdelovanca. Stabilnost celotne naprave dodatno povečuje razporeditev mase, saj je elektromotor nameščen v spodnjem delu brusilnika, kar znižuje težišče in prispeva k mirnemu obratovanju.

4.6 Izbor motorja in pogonskih elementov

V postopku zasnove tračnega brusilnika sta bila kot možni pogonski enoti obravnavana dva asinhronska elektromotorja enake nazivne moči 2,2 kW, ki se razlikujeta glede na napajalno napetost in nazivno vrtilno hitrost. Prva možnost je trifazni elektromotor z nazivno napetostjo 380 V in nazivno vrtilno hitrostjo 2840 min^{-1} (Slika 9), druga pa enofazni elektromotor z nazivno napetostjo 230 V in nazivno vrtilno hitrostjo 2800 min^{-1} (Slika 8).

Oba motorja po nazivni moči in vrtilni hitrosti izpolnjujeta osnovne zahteve za pogon tračnega brusilnika ter omogočata doseganje želene linearne hitrosti brusnega traku. Izbira primernega motorja je bila tako odvisna predvsem od razpoložljivosti električnega omrežja in praktičnih vidikov vgradnje v konstrukcijo naprave.



Slika 8: Elektro motor 220V
(Vir: Protech shop, 2026a)



Slika 9: Elektro motor 380V
(Vir: Protech shop, 2026b)

4.6.1 Primerjava glede na električne in obratovalne lastnosti

Trifazni elektromotor z napajanjem 380 V (Slika 8 b) omogoča enakomernejše elektromagnetno polje in tako stabilnejši navor v celotnem območju obratovanja. Takšni motorji so v industrijskih aplikacijah pogosteje uporabljeni pri kontinuiranih obremenitvah, saj imajo praviloma boljši izkoristek, manjše tokovne obremenitve posameznih faz in manjšo toplotno obremenitev navitij. To prispeva k večji zanesljivosti delovanja in daljši življenjski dobi motorja, zlasti pri dolgotrajnem brušenju z večjimi kontaktnimi silami (Chapman, 2012; Boldea In Nasar, 2017).

Enofazni elektromotor z napajanjem 230 V (Slika 8 a) predstavlja praktično bolj dostopno rešitev, saj omogoča priklop na standardno enofazno električno omrežje, ki je običajno prisotno v domačih delavnicah. Slabost takšne rešitve je uporaba zagonskih in delovnih kondenzatorjev, kar poveča velikost sklopa, kompleksnost motorja in lahko vpliva na nekoliko manj stabilno delovanje pri višjih obremenitvah. Pri daljših obratovalnih ciklih se lahko pojavijo večje toplotne obremenitve, kar je v literaturi pogosto navedeno kot omejitveni dejavnik enofaznih motorjev večjih moči (Chapman, 2012).

4.6.2 Vpliv vrtilne hitrosti na delovanje brusilnika

Razlika med nazivnima vrtilnima hitrostma obeh motorjev (2800 min^{-1} in 2840 min^{-1}) je majhna in v praksi zanemarljiva. Pri izbranem premeru pogonskega kolesa 139 mm oba motorja omogočata linearno hitrost brusnega traku v območju približno 20 m/s, kar ustreza priporočilom strokovne literature za tračno brušenje kovinskih materialov. Razlika v hitrosti traku je manjša od 2 %, zato ta parameter ni odločilen pri izbiri motorja (Pandiyan idr., 2020; Syreyshchikova idr., 2021).

4.6.3 Izbor glede na namen uporabe

Pri končni izbiri elektromotorja je bil poleg tehničnih parametrov upoštevan tudi predviden način uporabe tračnega brusilnika ter možnost poznejše nadgradnje pogonskega sklopa. Enofazni elektromotor 230 V predstavlja praktično rešitev za uporabo v domačem okolju, kjer trifazno napajanje ni na voljo, in omogoča enostavno priključitev brez dodatnih električnih prilagoditev. Takšna rešitev je primerna predvsem za občasno ali hobi uporabo.

Trifazni elektromotor 380 V pa predstavlja tehnično bolj robustno rešitev za zahtevnejšo in dolgotrajnejšo uporabo. Njegova pomembna prednost je tudi možnost poznejšega priklopa na frekvenčni pretvornik (VFD), kar omogoča zvezno regulacijo hitrosti brusnega traku, mehki zagon motorja in večjo prilagodljivost delovanja brez konstrukcijskih sprememb pogona. Zaradi stabilnejšega navora in večje obratovalne zanesljivosti je trifazni elektromotor primernejši za intenzivnejšo uporabo in nadaljnji razvoj naprave.

4.6.4 Izbor in dimenzioniranje pogonskega kolesa

Pogonsko kolo predstavlja ključen element pogonskega sklopa tračnega brusilnika, saj neposredno vpliva na stabilnost teka brusnega traku, doseženo linearno hitrost in zanesljivost obratovanja. Na podlagi izbrane zasnove pogona in dimenzij brusnega traku je bilo izbrano pogonsko kolo s premerom 139 mm in širino 66 mm.

Premer pogonskega kolesa je bil izbran tako, da v kombinaciji z nazivno vrtilno hitrostjo elektromotorja omogoča doseganje priporočene linearne hitrosti brusnega traku (med 18 in 22 m/s), pri čemer je omogočena izvedba neposrednega pogona brez dodatnih redukcijskih elementov. Takšna rešitev zmanjšuje mehanske izgube, poenostavi konstrukcijo pogona in prispeva k večji togosti celotnega sistema.

Širina pogonskega kolesa 66 mm je bila izbrana nekoliko večja od širine brusnega traku 60 mm. S tem je zagotovljeno, da brusni trak med obratovanjem ne teče neposredno ob robovih kolesa, kar zmanjšuje možnost poškodbe robov traku, povečuje varnost delovanja in prispeva k daljši življenjski dobi abrazivnega materiala.

Obod pogonskega kolesa ni raven, temveč je izveden z rahlim konveksnim profilom (t. i. crown), pri katerem se površina od sredine proti robovom postopoma znižuje pod majhnim kotom, približno 2°. Takšna oblika omogoča samodejno centriranje brusnega traku med obratovanjem, saj trak zaradi geometrije teži k sredini kolesa. Uporaba rahlo kronanega pogonskega kolesa je uveljavljena rešitev pri tračnih brusilnikih, saj izboljšuje stabilnost teka traku in zmanjšuje potrebo po pogostih ročnih korekcijah sledenja.

5 IZDELAVA TRAČNEGA BRUSILNIKA

V tem poglavju je predstavljen postopek izdelave tračnega brusilnika kot enkratne prototipne naprave. Opis se osredotoča na zaporedje dela in sprejete konstrukcijske rešitve, ki so bile uporabljene pri izdelavi in sestavi naprave. Namen poglavja ni podrobno opisovanje posameznih obdelovalnih postopkov, temveč prikaz celostnega inženirskega pristopa k uresničitvi zasnovanega stroja.

5.1 Priprava konstrukcijskih elementov

Nosilni in funkcionalni elementi konstrukcije tračnega brusilnika so bili izdelani iz ploščatega konstrukcijskega jekla debeline 10 mm. Posamezni elementi so bili razrezani na grobe dimenzije in mehansko obdelani na rezkalnem stroju. Kjer je bilo potrebno, so bile izvrtane luknje ter vrezani navoji za vijačne spoje. Robovi elementov so bili razigljeni in obdelani, kar je omogočilo varno rokovanje in natančnejšo montažo.

Poleg ploščatih konstrukcijskih elementov so bili v sestavo vključeni tudi okrogli elementi in kvadratne jeklene cevi, ki so služile kot nosilni in povezovalni deli konstrukcije. Ti elementi so prispevali k večji togosti okvirja in omogočili funkcionalno razporeditev posameznih sklopov tračnega brusilnika.

Pri izdelavi konstrukcijskih elementov je bil poudarek na funkcionalnosti, togosti in možnosti poznejših nastavitev, ne pa na estetski obdelavi posameznih delov. Izdelava je potekala na podlagi ročnih skic z orientacijskimi merami, ki so služile kot neposredna podpora pri izdelavi in sestavi posameznih sklopov.

5.2 Sestava okvirja, valjev in napenjalnega mehanizma

Po pripravi konstrukcijskih elementov je sledila sestava osnovnega okvirja tračnega brusilnika. Sestava je potekala postopoma z vijačenjem posameznih delov, pri čemer sta bili sproti preverjani poravnava konstrukcije in pravilna medsebojna lega nosilnih elementov. Tak način sestave je omogočil manjše prilagoditve položajev posameznih sklopov med montažo.

Pri zasnovi konstrukcije je bila izbrana vijačena sestava posameznih elementov. Takšna rešitev je bila izbrana predvsem zaradi možnosti natančne poravnave konstrukcije in enostavnejših nastavitev med montažo. Pri varjeni izvedbi bi zaradi toplotnih vplivov lahko prišlo do zvijanja okvirja, kar bi otežilo doseganje ustrezne poravnave valjev in stabilnega teka brusnega traku.
Dodatna prednost vijačene konstrukcije je možnost zamenjave ali ponovne izdelave posameznih elementov v primeru obrabe ali poškodbe, brez posega v celoten okvir. Takšna zasnova hkrati olajša površinsko zaščito posameznih delov, saj je galvanska

obdelava (oziroma hladno cinkanje) posameznih elementov bistveno enostavnejša kot pri enotnem varjenem kosu.

5.2.1 Vgradnja valjev in napenjalnega mehanizma

Na sestavljen okvir so bila nameščena pogonsko, napenjalno in vodilna kolesa. Napenjalni mehanizem je zasnovan tako, da omogoča enostavno nastavitev napetosti brusnega traku ter natančno nastavitev njegovega sledenja. Pogonsko kolo ima rahlo konveksno oblikovan obod (t. i. crown), ki omogoča samodejno centriranje brusnega traku med obratovanjem in prispeva k stabilnemu teku.

Po sestavi mehanskega sklopa je bil izveden osnovni preizkus teka brusnega traku brez pogona, s katerim sta bila preverjena pravilnost poravnave valjev ter osnovno delovanje napenjalnega mehanizma.

5.2.2 Izbira in zamenjava vzmeti napenjalnega mehanizma

V začetni fazi izdelave je bila v napenjalnem mehanizmu uporabljena vzmet, ki je bila razpoložljiva in je omogočala osnovno funkcionalno preverjanje delovanja sistema. Sila prvotno uporabljene vzmeti je znašala približno 390 N (Priloga 1, primer A). Ta rešitev je omogočala delovanje brusilnika brez obremenitve, vendar se je pri praktičnih preizkusih pokazalo, da ne zagotavlja stabilnega teka brusnega traku pri večjih obremenitvah.

Na podlagi rezultatov teoretične analize, predstavljene v poglavju 4, in praktičnih opažanj je bila v nadaljevanju izbrana močnejša vzmet. Izbrana vzmet ima premer žice 3,6 mm, zunanji premer 25,6 mm, notranji premer 18,4 mm ter prosto dolžino približno 143 mm. Njeni geometrijski podatki so podani v prilogi skupaj s podatki prvotno uporabljene vzmeti (Priloga 1, Primera A in D). Pri delovnem raztegu nova vzmet zagotavlja silo približno 600 N. Podatki so bili pridobljeni pri podjetju Hennlich (Priloga 4).

Sočasno z zamenjavo vzmeti je bila uporabljena tudi spremenjena geometrija napenjalne roke, opisana v poglavju 4.3.3. Ta kombinacija je omogočila bistveno povečanje učinkovite napenjalne sile na sledilno (tracking) kolo in s tem doseganje ustrezne napetosti brusnega traku v območju priporočenih industrijskih vrednosti.

Ustreznost izbrane vzmeti in nove konfiguracije napenjalnega mehanizma je bila preverjena tudi eksperimentalno z meritvijo sile s silomerom. Izmerjena vrednost napenjalne sile je bila približno 716 N, kar je v dobrem ujemanju s teoretično izračunano vrednostjo rezultante sil. Manjša odstopanja je mogoče pripisati trenju v mehanizmu, elastičnosti brusnega traku, deformacijam konstrukcije in omejeni natančnosti merilnega instrumenta.

Po zamenjavi vzmeti in prilagoditvi geometrije napenjalnega mehanizma se je stabilnost teka brusnega traku bistveno izboljšala, pri čemer po začetni nastavitvi sledenja dodatne korekcije med obratovanjem praviloma niso več potrebne. Delovanje naprave je tako postalo zanesljivejše tudi pri večjih obremenitvah med brušenjem.

5.3 Montaža motorja in preizkus pogona

V zadnji fazi izdelave je bil na konstrukcijo nameščen elektromotor. Motor je bil pritrjen na masiven nosilni del okvirja, kar zagotavlja stabilno vpetje in natančno poravnavo osi motorja s pogonskim kolesom. Po montaži motorja je bilo pogonsko kolo nameščeno na gred motorja in poravnano s sistemom valjev.

V začetni konfiguraciji je bil uporabljen asinhronski elektromotor nazivne moči 1,5 kW z nazivno vrtilno hitrostjo 2840 min^{-1} in napajanjem 380 V. Motor je bil priključen na frekvenčni regulator, kar je omogočalo prilagajanje vrtilne hitrosti in s tem linearne hitrosti brusnega traku. Sledil je prvi zagon pogona brez obremenitve, pri katerem so bili preverjeni delovanje elektromotorja, stabilnost teka brusnega traku in delovanje napenjalnega mehanizma.

Pri praktičnem preizkusu z obremenitvijo se je izkazalo, da navedeni elektromotor pri večjih obremenitvah ne zagotavlja zadostnega navora. Ob močnejšem pritisku obdelovanca na brusni trak je prihajalo do izrazitega padca vrtilne hitrosti oziroma zaustavitve pogona, kar je omejevalo uporabnost naprave.

Na podlagi teh ugotovitev je bila sprejeta odločitev o zamenjavi elektromotorja z zmogljivejšo pogonsko enoto. V končni izvedbi je bil uporabljen asinhronski elektromotor nazivne moči 2,2 kW, ki omogoča stabilno delovanje tudi pri večjih obremenitvah. Pogon je bil v tej konfiguraciji izveden brez frekvenčnega regulatorja, saj nazivna vrtilna hitrost motorja omogoča doseganje ustrezne linearne hitrosti brusnega traku.

Po montaži izbranega elektromotorja je bil ponovno izveden zagon pogona brez obremenitve, pri katerem so bili preverjeni pravilno delovanje pogonskega sklopa, stabilnost teka brusnega traku in odsotnost izrazitih vibracij. Preizkus je potrdil ustrezno delovanje pogonskega sklopa in pripravljenost naprave za nadaljnje praktične preizkuse.

6 DOKUMENTACIJA IZDELAVE

V tem poglavju je predstavljena dokumentacija glavnih konstrukcijskih sklopov tračnega brusilnika, ki dopolnjuje opis postopka izdelave iz prejšnjega poglavja. Pri zasnovi posameznih sklopov je bil poudarek namenjen zagotavljanju stabilnosti konstrukcije, funkcionalnosti naprave ter možnosti prilagajanja delovnega položaja glede na različne načine uporabe.

Konstrukcija tračnega brusilnika je razdeljena na več medsebojno povezanih sklopov, ki skupaj tvorijo funkcionalno in mehansko stabilno celoto. Posamezni sklopi so bili zasnovani tako, da omogočajo enostavno montažo, nastavitev in vzdrževanje naprave, hkrati pa zagotavljajo ustrezno togost in varno delovanje pri obratovanju.

Pregled glavnih konstrukcijskih sklopov in njihova umestitev v celotno konstrukcijo sta prikazana v Tabeli 3, njihova prostorska razporeditev pa je grafično prikazana v Prilogi 2 na Slikah B 16–B 19. Slike prikazujejo razporeditev posameznih sklopov v končni izvedbi prototipa tračnega brusilnika ter omogočajo boljše razumevanje njihove medsebojne povezanosti.

Dokumentacija vključuje opis osnovne funkcije posameznih konstrukcijskih sklopov z vidika njihove vloge v celotnem sistemu. Podrobne ročne skice, orientacijske mere in dodatni tehnični opisi posameznih sklopov so zbrani v Prilogi 2, kjer so prikazane njihova geometrija, medsebojna povezava ter uporabljene konstrukcijske rešitve.

Namen tega poglavja je zagotoviti preglednost zasnove in izvedbe naprave ter omogočiti boljše razumevanje uporabljenih tehničnih rešitev. Podrobna obravnava vseh posameznih komponent in njihovih medsebojnih razmerij bi presegla okvir diplomskega dela ter bi predstavljala obsežno projektno dokumentacijo. Zato so v diplomskem delu predstavljeni predvsem ključni konstrukcijski sklopi, medtem ko so podrobnosti posameznih podsistemov obravnavane le v obsegu, ki omogoča razumevanje delovanja celotne naprave.

POZICIJA DELA NA SLIKI	IME SKLOPA
1	Podnožje nosilca (Osnovna plošča 1 a, Levi in desni stranski del pri podnožju nosilca 1 b, Vrtljiva baza 1 c)
2	Levi in desni nosilec ohišja
3	Ohišje tračnega brusilnika
4	Nosilec napenjalne roke
5	Napenjalna roka
6	Centrirne vilice 6 a in distančnik 6 b
7	Nosilec valjčkov in podporne plošče
8	Zaščita pogonske jermenice
9	Pogonsko kolo
10	Sledilno kolo 10 a (tracking wheel) in vodilno kolo 10 b (roller)
11	Distančnik 11 a in nosilec vzmeti 11 b

Tabela 3: Tabela sklopov predstavljenih v Prilogi 2
(Lastni vir)

7 PREIZKUS NAPRAVE IN ANALIZA DELOVANJA

Po zaključeni izdelavi in sestavi tračnega brusilnika so bili izvedeni praktični preizkusi delovanja naprave. Namen preizkusov je bil preveriti funkcionalnost posameznih sklopov, stabilnost teka brusnega traku ter uporabnost naprave v realnih delovnih pogojih. Preizkusi so vključevali prosti tek naprave, zmerno obremenitev pri brušenju ter opazovanje obnašanja napenjalnega mehanizma, pogonskega sklopa in zaščitnih elementov.

Preizkusi so bili izvedeni v delavniškem okolju pri približno stalnih okoljskih pogojih. Meritve so bile večinoma izvedene kvalitativno oziroma s preprostimi merilnimi pripomočki, skladno z namenom prototipne naprave.

7.1 Ovrednotenje hipotez in merilnih kriterijev

Na podlagi izvedenih preizkusov so bile ovrednotene hipoteze, definirane v poglavju 1.5.

7.1.1 H 1 – vibracije (»kovanec na robu«)

Pri prostem teku je kovanec v vseh treh ponovitvah ostal pokonci celotnih 60 s. Pri zmerni in približno konstantni obremenitvi med brušenjem je v dveh od treh ponovitev ostal pokonci približno 15 s. Pri večjih in spremenljivih obremenitvah, ki nastopijo pri intenzivnejšem brušenju in ročnem vodenju obdelovanca, pa je kovanec izgubil stabilnost in padel, kar je pričakovano glede na naravo preizkusa.

Takšen rezultat kaže, da so vibracije naprave pri prostem teku in pri zmerni obremenitvi nizke, medtem ko se pri večjih in neenakomernih silah, ki nastanejo zaradi ročnega pritiska in premikanja obdelovanca, vibracije povečajo. To je posledica omejene mase in togosti konstrukcije prototipne naprave ter dinamičnih vplivov ročnega upravljanja.

Glede na začetno zastavljeni kriterij hipoteze H 1, po katerem bi moral kovanec pri zmerni obremenitvi ostati stabilen vsaj 30 s, je mogoče ugotoviti, da hipoteza ni bila v celoti izpolnjena. Rezultati pa kljub temu potrjujejo nizko raven vibracij v pogojih prostega teka in pri zmerni, približno konstantni obremenitvi, kar ustreza normalnim obratovalnim pogojem naprave.

Preizkus stabilnosti vibracij je bil dodatno dokumentiran z video posnetkom, ki je priložen v Prilogi 6, pri čemer je bila kot nadomestna utež uporabljena kovinska podložka, ki ima enakovredno funkcijo kot kovanec.

Merilni postopek:

- kovanec je bil postavljen na rob (pokonci) na različnih mestih ohišja in delovne mize,
- trajanje posamezne meritve je bilo 60 s pri prostem teku ter približno 15 s pri zmerni in konstantni obremenitvi,
- preizkus je bil izveden v treh ponovitvah,
- stabilnost kovanca je bila uporabljena kot kvalitativni pokazatelj ravni vibracij sistema.

7.1.2 H 2 – poravnava (stabilen tek)

Po začetni poravnavi je brusni trak v 10-minutnem prostem teku deloval stabilno in ni zahteval dodatnih korekcij sledenja. Hipoteza H 2 je bila potrjena.

Pri preizkusih se je izkazalo, da je k stabilnosti teka bistveno prispevala sprememba geometrije sledilnega kolesa. V začetni izvedbi je imel obod sledilnega kolesa konusni naklon 2° od sredine proti robovoma, kar je zahtevalo občasne korekcije sledenja. Po zamenjavi te oblike z radialno oblikovanim obodom z radijem R = 310 mm, kasneje pa z R = 350 mm ter po pravilni izbiri vzmeti napenjalnega mehanizma dodatne korekcije sledenja niso bile več potrebne niti med prostim tekom niti med obremenitvijo.

To potrjuje, da kombinacija ustrezne geometrije sledilnega kolesa in pravilno dimenzionirane napenjalne sile zagotavlja stabilen in ponovljiv tek brusnega traku.

Merilni postopek:

- trajanje preizkusa 10 min (merjeno s štoparico)
- beleženje morebitnih korekcij nastavitev sledenja
- tudi najmanjši poseg v nastavitveni vijak bi bil upoštevan kot korekcija

7.1.3 H 3 – poravnava (geometrija na platnu)

Merilni postopek: Po zagonu brusilnika in začetni nastavitvi položaja brusnega traku je bil stroj v prostem teku 1 minuto. Po zaustavitvi stroja je bila v mirovanju izmerjena razdalja med robom kontaktne plošče in robom brusnega traku v štirih skrajnih merilnih točkah. Največje izmerjeno odstopanje med posameznimi meritvami ni preseglo 0,5 mm po celotni širini traku (60 mm).

Takšen rezultat kaže, da je kontaktna plošča pravilno poravnana glede na smer teka brusnega traku in da trak poteka vzporedno z njenim robom. S tem je zagotovljen

enakomeren stik med brusnim trakom in kontaktno ploščo ter zmanjšana možnost poševnega teka in neenakomerne obrabe traku.

Glede na začetno zastavljeni kriterij hipoteze H 3, po katerem največje dovoljeno odstopanje položaja brusnega traku po širini 60 mm ne sme presegati 1 mm, je mogoče ugotoviti, da je bila hipoteza H 3 v celoti potrjena, saj izmerjeno odstopanje (≤ 0,5 mm) ostaja znotraj predpisane meje.

- brusilnik je bil zagnan in po začetni nastavitvi položaja brusnega traku 1 minuto v prostem teku;
- po zaustavitvi stroja je bila z digitalnim kljunastim merilom v mirovanju izmerjena razdalja med robom kontaktne plošče in robom brusnega traku v štirih skrajnih točkah;
- preizkus je bil izveden v treh ponovitvah;
- enakost razdalj je bila uporabljena kot pokazatelj vzporednosti kontaktne plošče in teka brusnega traku.

7.1.4 H 4 - hrup v prostem teku, ter H5 - hrup pri zmerni obdelavi

Meritve ravni hrupa pri prostem teku so pokazale, da je povprečna izmerjena vrednost znašala približno 81 dB (A) na razdalji 1 m od naprave. Najvišja izmerjena vrednost med posameznimi ponovitvami ni presegla 83 dB (A).

Takšen rezultat kaže, da raven hrupa naprave pri prostem teku ostaja znotraj sprejemljivih mej za delavniško okolje ter ne presega mejne vrednosti 85 dB (A), določene v začetni hipotezi. Glavni viri hrupa so bili vrtenje brusnega traku, delovanje elektromotorja ter zračni tok okoli vrtečih se delov.

Glede na začetno zastavljeni kriterij hipoteze H 4, po katerem raven hrupa pri prostem teku ne sme presegati 85 dB (A), je mogoče ugotoviti, da je bila hipoteza H4 v celoti potrjena.

Meritve ravni hrupa pri zmerni in približno konstantni obremenitvi med brušenjem so pokazale, da je povprečna izmerjena vrednost znašala približno 88 dB (A) na razdalji 1 m od naprave. Najvišja izmerjena vrednost med posameznimi ponovitvami ni presegla 90 dB (A).

Takšen rezultat kaže, da se raven hrupa med dejanskim brušenjem pričakovano poveča v primerjavi s prostim tekom, kar je posledica neposrednega stika brusnega traku z obdelovancem, mehanskih vibracij ter nastajanja isker in odrezkov materiala. Kljub temu izmerjene vrednosti ostajajo znotraj mejne vrednosti 90 dB (A), določene v kriteriju hipoteze H 5.

Glede na začetno zastavljeni kriterij hipoteze H 5, po katerem povprečna raven hrupa pri zmerni obdelavi ne sme presegati 90 dB (A), je mogoče ugotoviti, da je bila hipoteza H 5 potrjena.

Meritev je bila izvedena z uporabo mobilne aplikacije za merjenje ravni hrupa, zato so dobljeni rezultati orientacijske narave in služijo primerjalni oceni ravni hrupa naprave, ne pa natančni laboratorijski določitvi vrednosti.

Merilni postopek:

- meritev je bila izvedena z uporabo mobilne aplikacije za merjenje ravni hrupa na pametnem telefonu
- mobilna naprava je bila nameščena na razdalji 1 m od brusilnika v višini osi vrtenja
- vsaka meritev je trajala 60 s
- preizkus je bil izveden v treh ponovitvah
- kot rezultat je bila upoštevana povprečna vrednost ravni hrupa posamezne meritve, izražena v dB (A)

7.1.5 H 6 – segrevanje ležajev

Temperatura okolice je bila izmerjena z ročnim infrardečim (laserskim) merilnikom temperature in je znašala približno 18 °C. Nato je bil brusilnik obratoval 15 minut v prostem teku, po čemer je bila ponovno izmerjena temperatura na ležajnih ohišjih obeh sledilnih koles ter na vodilnem kolesu.

Izmerjena razlika med začetno temperaturo in temperaturo po 15 minutah obratovanja je znašala približno 2–4 °C.

Pri meritvah se je izkazalo, da je s prenosnim infrardečim merilnikom težko natančno določiti majhne temperaturne razlike, saj merilnik ni laboratorijsko umerjen in je namenjen predvsem orientacijskim meritvam. Ker so bile temperaturne razlike zelo majhne, absolutne vrednosti meritev niso ključnega pomena, temveč predvsem ocena spremembe temperature med mirovanjem in obratovanjem stroja.

Na podlagi izvedenih meritev in analize obremenitev ležajev je mogoče sklepati, da je segrevanje ležajev med obratovanjem majhno. Razlog za majhno segrevanje je predvsem nizka obremenitev ležajev. Na podlagi izračuna znaša ekvivalentna radialna obremenitev posameznega ležaja približno $\boldsymbol{P = 400\ N}$. Izbrani globokoutorni kroglični ležaj tipa 6202-2RS ima osnovno dinamično nosilnost $\boldsymbol{C = 7800\ N}$, kar pomeni, da ležaj med obratovanjem deluje pri približno 5 % nazivne nosilnosti. Pri tako majhni obremenitvi so izgube zaradi trenja zelo majhne.

Dodatno majhno segrevanje omogočajo tudi naslednji dejavniki:

- razmeroma nizka vrtilna hitrost (2800 min^{-1}), ki predstavlja približno 20–25 % dovoljene vrtilne hitrosti za ta tip ležaja,
- dobra toplotna prevodnost aluminijastega nosilca valjčkov, ki učinkovito odvaja toploto,
- kroženje zraka okoli vrtečih se valjčkov, ki dodatno prispeva k hlajenju.

Na podlagi meritev in analize je mogoče zaključiti, da med obratovanjem ne prihaja do prekomernega segrevanja ležajev. Glede na kriterij hipoteze H 6, po katerem razlika med temperaturo ležajev in temperaturo okolice ne sme presegati +25 °C, je mogoče ugotoviti, da je hipoteza potrjena, saj izmerjena temperaturna razlika ostaja bistveno pod dovoljeno mejo.

Merilni postopek:

- najprej je bila izmerjena temperatura okolice in temperatura ležajnih ohišij pri mirujočem stroju,
- brusilnik je bil nato obratovan 15 min v prostem teku,
- po zaustavitvi stroja je bila ponovno izmerjena temperatura ležajnih ohišij na isti merilni točki,
- meritev je bila izvedena z ročnim infrardečim (laserskim) merilnikom,
- razlika temperature pred in po obratovanju je bila uporabljena kot pokazatelj segrevanja ležajev.

7.1.6 H 7 – učinkovitost (menjava brusnega traku)

Menjava brusnega traku zahteva predhodno odstranitev ohišja pogonske jermenice, ki je pritrjeno z dvema vijakoma, ter snemanje zbiralnika opilkov pod delovno mizo, ki je pritrjen z enim vijakom. Šele po odstranitvi teh elementov je omogočen dostop do brusnega traku in izvedba njegove zamenjave.

Pri zelo hitrem in poenostavljenem postopku je bilo možno menjavo izvesti v času, krajšem od 60 s. Vendar pa pri običajnem in varnem načinu dela, ki vključuje odvijanje pritrdilnih vijakov, snemanje zaščitnih elementov, zamenjavo brusnega traku in ponovno sestavo naprave, postopek realno traja približno 2 do 3 minute.

Takšen rezultat kaže, da menjava brusnega traku ni povsem skladna z zastavljenim ciljem v začetni hipotezi, saj zahteva delno razstavljanje zaščitnih komponent naprave. Kljub temu je postopek preprost in ne zahteva posebnega orodja, razen osnovnega vijačenja.

Glede na začetno zastavljeni kriterij hipoteze H 7, po katerem naj bi povprečni čas menjave traku znašal največ 60 s, je mogoče ugotoviti, da hipoteza H 7 ni bila

potrjena. Čeprav je z zelo hitrim postopkom mogoče doseči čas, krajši od 60 s, realni in varni delovni postopek to časovno omejitev presega.

Merilni postopek:

- merjen je bil čas od začetka razstavljanja zaščitnih elementov do stabilnega teka novega brusnega traku
- postopek je vključeval odstranitev ohišja pogonske jermenice in zbiralnika opilkov, zamenjavo traku ter ponovno sestavo
- meritev je bila izvedena s štoparico
- čas menjave je bil uporabljen kot pokazatelj učinkovitosti in ergonomije postopka

7.1.7 H8 – stroški (primerljivost)

POSTAVKA	CENA (EUR)
Aluminij za kolesa in razrez	100
Struženje kolesa, osi, distančniki (zunanji izvajalec)	250
Jeklo za konstrukcijo in razrez	200
Svetlo vlečeno jeklo 30 mm x 30 mm	60
Ležaji	40
Vijaki, podložke, zatiči, bakelitni vijaki	80
Ostali stroški (widia ploščice, obraba rezkarjev, brusni trakovi, elektrika, barva)	100
Cinkanje	100
Izdelava ščitnika pogonskega kolesa (laserski razrez in PVC cev)	70
Elektromotor	150
SKUPAJ	**1150**

Tabela 4: Tabela osnovnih stroškov
(Lastni vir)

Na podlagi zbranih podatkov o stroških materiala, zunanjih storitev in kupljenih komponent znaša skupni strošek izdelave prototipa tračnega brusilnika približno 1150 €, kot je prikazano v Tabeli 4. V izračun niso vključeni stroški lastnega dela, ki je obsegal približno 60 ur.

Cene primerljivih komercialno dostopnih tračnih brusilnikov se na spletu gibljejo od približno 1500 € za osnovne modele do 4000 € in več za naprave z vgrajenim frekvenčnim regulatorjem ter dodatno opremo. Glede na uporabljene materiale, togost konstrukcije in izvedbo mehanskih komponent je izdelani prototip po kakovosti primerljiv z napravami srednjega do višjega cenovnega razreda.

Pomemben delež skupnih stroškov predstavlja mehanska obdelava pri zunanjem izvajalcu, zlasti struženje koles, osi in distančnikov. Ta strošek je neposredno povezan z dejstvom, da ni bila na voljo lastna stružnica. V primeru lastne strojne opreme ali serijske izdelave več enakih naprav bi bilo mogoče stroške mehanske obdelave ter čas izdelave bistveno zmanjšati.

Poleg tega lastno delo v obsegu približno 60 ur ni vključeno v stroškovni izračun. Pri izdelavi več enakih brusilnikov bi se število potrebnih delovnih ur na posamezen kos zmanjšalo zaradi poenotenja postopkov, manjšega števila menjav orodij ter hkratne obdelave več kosov enakih komponent.

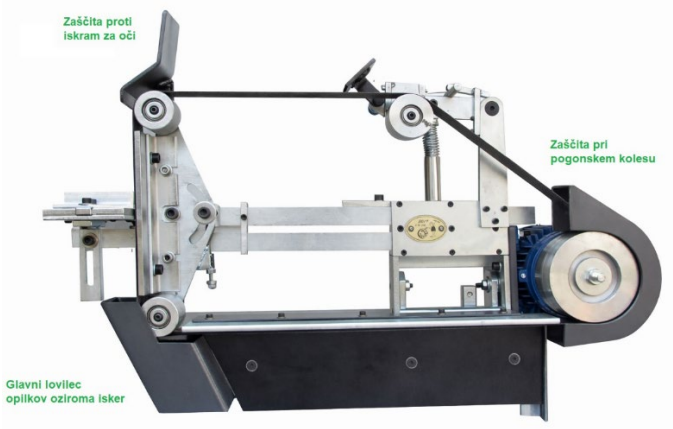
Glede na začetno zastavljeni kriterij hipoteze H8, po katerem naj bi skupni stroški izdelave znašali manj kot 50 % cene primerljivega komercialnega modela (brez upoštevanja stroškov dela), je mogoče ugotoviti, da hipoteza H8 ni bila potrjena. Kljub temu rezultati kažejo, da je izdelava prototipa v lastni režiji ekonomsko upravičena z vidika razmerja med ceno in kakovostjo ter omogoča prilagoditev konstrukcije specifičnim zahtevam uporabnika.

Merilni postopek:

- zbrani so bili stroški materiala, kupljenih komponent in zunanjih storitev
- izdelana je bila pregledna tabela stroškov
- stroški lastnega dela niso bili vključeni v izračun
- skupni znesek je bil primerjan s cenami primerljivih komercialnih tračnih brusilnikov, dostopnih na spletu

7.1.8 H 9 – varnost (izmet isker)

Postavitev in delovanje treh glavnih zaščitnih elementov (zaščita pri pogonskem kolesu, zaščita proti iskram v zgornjem delu ter glavni lovilec opilkov) sta prikazana na Sliki 9.



Slika 10: Razporeditev zaščitnih elementov, ki usmerjajo tok isker in preprečujejo njihov neposreden izmet proti uporabniku
(Lastni vir)

Med preizkusi brušenja pri zmerni obremenitvi je bilo opazovano gibanje isker in odrezkov v delovnem območju stroja. Ugotovljeno je bilo, da so iskre v večini primerov usmerjene v spodnji zbiralnik opilkov ter za zaščitne elemente naprave in ne dosegajo uporabnika.

Del drobnih opilkov, ki ostanejo pritrjeni na površini brusnega traku, se kopiči v območju zaščite pogonskega kolesa. Ti delci se ob vrtenju traku delno usipajo iz zaščitnega območja, saj zaščita pri pogonskem kolesu ni namenjena zbiranju opilkov, temveč predvsem mehanski zaščiti pogona in okolice za tračnim brusilnikom. Takšno obnašanje ni predstavljalo povečane nevarnosti za uporabnika.

Takšen rezultat kaže, da zaščitni elementi učinkovito preprečujejo neposreden izmet isker proti uporabniku in okolici, zlasti v območju glave in oči. Najpomembnejši varnostni element predstavlja zaščita proti iskram v zgornjem delu stroja, ki je učinkovito preprečevala izmet isker v smeri uporabnika in s tem zagotavljala ustrezno stopnjo varnosti pri obratovanju naprave.

Glede na začetni zastavljeni kriterij hipoteze H 9, po katerem ne sme prihajati do izmeta isker izven varovanega območja proti uporabniku, je mogoče ugotoviti, da je bila hipoteza H 9 potrjena.

8 PREDNOSTI IN MOREBITNE IZBOLJŠAVE

8.1 Izvedene izboljšave med razvojem

Med razvojem in praktičnimi preizkusi tračnega brusilnika je bilo izvedenih več konstrukcijskih izboljšav, katerih cilj je bil izboljšati stabilnost teka brusnega traku, odzivnost nastavitev in ergonomijo uporabe naprave.

8.1.1 Vzmet

Prva pomembna konstrukcijska izboljšava je bila zamenjava napenjalne vzmeti z vzmetjo večje sile. Prvotno uporabljena vzmet ni zagotavljala zadostne napetosti brusnega traku zaradi geometrije napenjalne roke, kar se je odražalo v manj stabilnem teku traku in potrebi po pogostejših korekcijah sledenja pri večjih obremenitvah.

Na podlagi teoretičnih izračunov napenjalnega mehanizma (poglavje 4) in praktičnih preizkusov je bila izbrana vzmet z večjo nazivno silo, ki je omogočila doseganje linearne napetosti brusnega traku v območju industrijsko priporočenih vrednosti. Zamenjava vzmeti se je v praksi izkazala kot ključna izboljšava, saj je bistveno povečala stabilnost teka brusnega traku ter zmanjšala občutljivost sistema na spremembe obremenitve med brušenjem.

Po uvedbi nove vzmeti in prilagoditvi geometrije napenjalnega mehanizma dodatne korekcije sledenja po začetni nastavitvi niso bile več potrebne, kar je potrdil tudi eksperimentalni preizkus stabilnosti teka (poglavje 7). S tem je bila zagotovljena večja zanesljivost delovanja naprave in izboljšana uporabniška izkušnja pri obratovanju.

8.1.2 Geometrija na vodilnem in pogonskem kolesu

Posebna pozornost je bila namenjena geometriji sledilnega (tracking) kolesa, saj ima ta ključno vlogo pri nastavljanju položaja in stabilnosti teka brusnega traku. V začetni izvedbi je imel obod sledilnega kolesa konusni nagib z odmikom 2° od sredine proti robovoma. V nadaljnjem razvoju je bila ta rešitev nadomeščena z radialno oblikovanim obodom, pri čemer so bili preizkušeni različni radiji (R = 500 mm, R = 400 mm, R = 390 mm, R = 350 mm, R =320 mm, R = 310 mm in R = 250 mm). Preizkusi so pokazali, da radij manjši od približno 310 mm vodi v slabšo odzivnost sledenja brusnega traku in manj predvidljivo obnašanje sistema. Kot optimalna rešitev sta se izkazala radija R = 350 mm in R = 320 mm, ki zagotavljata dobro ravnovesje med občutljivostjo nastavitve in stabilnostjo teka v primerjavi s prvotno konusno izvedbo. Na podlagi teh ugotovitev je bila radialna oblika oboda sledilnega kolesa ohranjena.

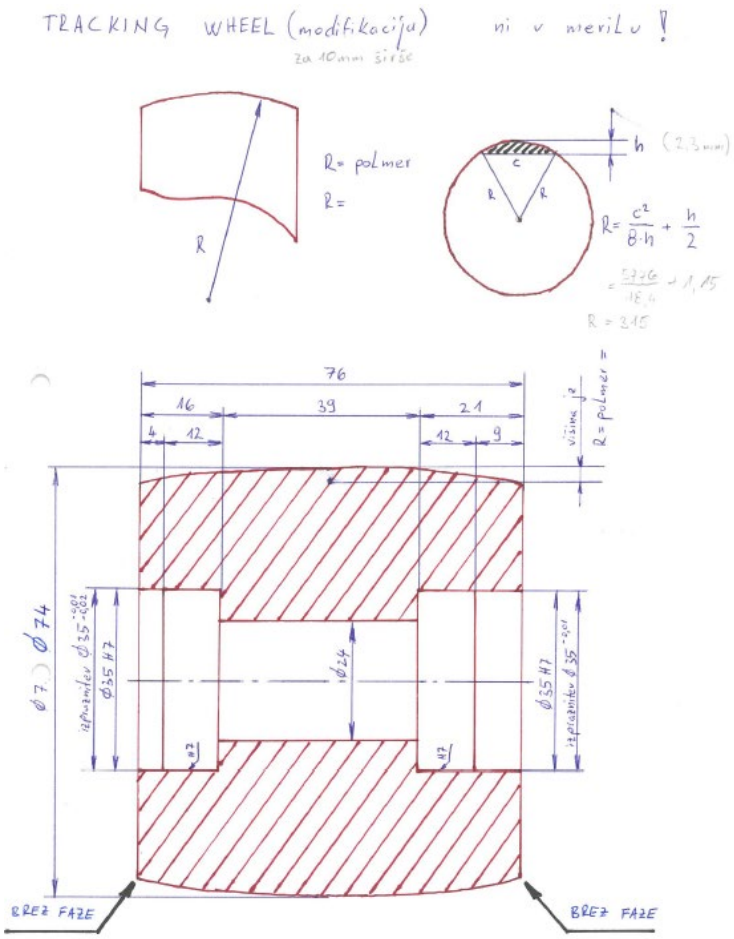
Pri pogonski jermenici se je nasprotno izkazalo, da rahla konusna oblika oboda z majhnim naklonom predstavlja ugodno rešitev za pasivno stabilizacijo teka brusnega

traku. Med razvojem je bila najprej uporabljena izvedba s konusnim nagibom 2°, nato pa je bila preizkušena tudi radialna oblika z radijem R = 310 mm, ki se je izkazala kot manj ustrezna z vidika stabilnosti teka. Na podlagi teh ugotovitev je bila ponovno izbrana izvedba z ohranjenim konusnim nagibom približno 2° od sredine proti robovoma, ki se je v praksi izkazala kot najboljša rešitev.

Takšna oblika pogonske jermenice prispeva k samocentriranju brusnega traku in učinkovito dopolnjuje delovanje radialno oblikovanega sledilnega kolesa. Kombinacija radialno oblikovanega sledilnega kolesa z radijem R = 350 mm in rahlo konusno oblikovane pogonske jermenice z naklonom približno 2° se je v praksi izkazala kot optimalna rešitev, saj omogoča stabilen, ponovljiv in predvidljiv tek brusnega traku tudi pri spremenljivih obremenitvah med brušenjem.

Konstrukcijska izvedba sledilnega (tracking) kolesa je prikazana na Sliki 10. Kolo je namensko dimenzionirano za približno 10 mm širše od širine uporabljenega brusnega traku, kar zagotavlja dodatno varnostno območje pri nastavitvi položaja traku. Takšna zasnova omogoča, da se brusni trak nastavi tudi tako, da teče povsem ob robu kontaktne (podporne) plošče, ne da bi pri tem zdrsnil z vodilnega kolesa. To je posebej pomembno pri natančnem brušenju robov, vogalov in manjših detajlov, kjer je potreben nadzorovan stik traku z robom podporne površine.

Povečana širina sledilnega kolesa hkrati izboljšuje stabilnost teka traku in zmanjšuje možnost njegovega zdrsa ali nenadzorovanega premika pri večjih obremenitvah. Na Sliki 10 je dodatno prikazana tudi radialna oblika oboda z izbranim radijem R = 350 mm, ki omogoča predvidljivo in natančno odzivnost sistema pri nastavljanju sledenja brusnega traku. Takšna kombinacija geometrije oboda in povečane širine kolesa se je v praksi izkazala kot ustrezna rešitev za natančno in stabilno obratovanje tračnega brusilnika tudi pri zahtevnejših obdelavah robov.



Slika 11: Sledilno kolo z radialnim obodom (R = 350 mm) in povečano širino
(Lastni vir)

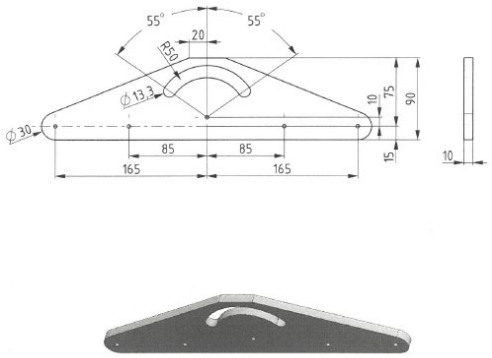
8.1.3 Nosilec valčkov in podporne plošče

V okviru razvoja tračnega brusilnika so bile izvedene tudi izboljšave nosilca valjčkov in podporne plošče z namenom povečanja dostopnosti delovnega območja ter izboljšanja ergonomije pri brušenju (Slika 12 in Slika 13). Prvotna zasnova nosilca je omejevala prostor okoli kontaktne plošče, kar je oteževalo obdelavo večjih ali nerodnih obdelovancev ter zmanjšalo preglednost delovnega območja.

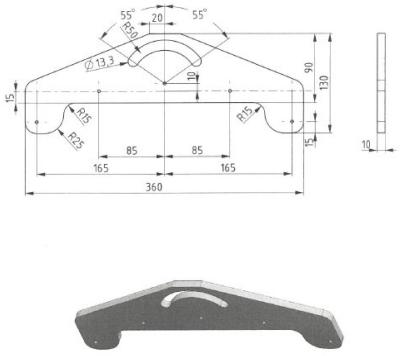
Spremenjena zasnova nosilca omogoča več odprtega prostora okoli podporne plošče in s tem boljši dostop do brusnega traku. To se je v praksi izkazalo kot pomembna izboljšava predvsem pri natančnem brušenju robov, vogalov in večjih površin, kjer je potreben stabilen položaj obdelovanca in dober vizualni nadzor nad procesom brušenja.

Na Slikah 12 in 13 je prikazana primerjava začetne in izboljšane izvedbe nosilca v obliki konstrukcijskih skic.

Z novo obliko nosilca je bila dosežena večja ergonomija uporabe naprave, zmanjšana možnost trkov obdelovanca z nosilnimi elementi ter boljša prilagodljivost pri različnih vrstah obdelave. Sprememba konstrukcije tako ne vpliva zgolj na funkcionalnost sistema, temveč tudi na varnost in udobje uporabnika pri delu.



Slika 12: Konstrukcijska skica začetne izvedbe nosilca valjčkov in podporne plošče
(Lastni vir)



Slika 13: Konstrukcijska skica izboljšane izvedbe nosilca valjčkov in podporne plošče
(Lastni vir)

8.1.4 Podporna plošča

Pomembna izboljšava je bila izvedena na podporni plošči, nameščeni za brusnim trakom v območju obdelovalne mize. V začetni izvedbi je bila plošča izdelana iz navadnega konstrukcijskega jekla, kar je pri daljši uporabi povzročalo opazno obrabo in postopno nastajanje utorov zaradi stalnega pritiska obdelovanca. Zaradi tega je bila prvotna izvedba zamenjana z novo podporno ploščo iz kaljenega orodnega jekla EN 90MnCrV8 (nekdanja JUS oznaka Č.4732).

Izbrani material se standardno uporablja za merila, šablone in drsne površine, kjer je prisoten trajen kontakt in lokalno povečana kontaktna obremenitev. Nova izvedba se je v praksi izkazala za odpornejšo proti obrabi, pojav utorov pa je bil bistveno

zmanjšan, kar prispeva k stabilnejši opori pri brušenju in bolj enakomernemu obnašanju brusnega traku. Izbira materiala je bila poleg ustreznih mehanskih lastnosti tudi praktično utemeljena, saj je bil material že razpoložljiv v obliki ostanka materiala, kar je omogočilo cenovno ugodno izvedbo izboljšave.

V primeru, da izbrani material ne bi bil na voljo, bi bile za obravnavano aplikacijo primerne tudi druge vrste jekel z izboljšano odpornostjo proti obrabi, kot so EN 42CrMo4 + QT, EN C45 z indukcijskim kaljenjem ali EN X153CrMoV12. Navedeni materiali bi omogočili primerljivo funkcionalnost, vendar se je izbrana rešitev z jeklom EN 90MnCrV8 izkazala kot razumna kompromisna izbira glede na zahteve po odpornosti proti obrabi, obdelovalnosti in stroškovni učinkovitosti.

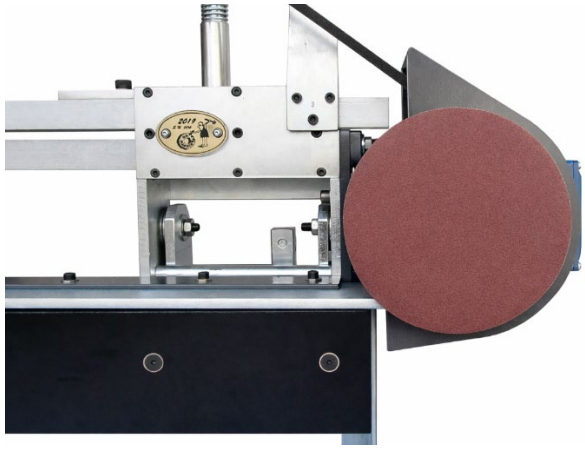
8.1.5 Kontaktni disk

V okviru razširitve funkcionalnosti naprave je bila predvidena tudi možnost uporabe kontaktnega diska, pritrjenega neposredno na pogonsko kolo, kar je prikazano na Sliki 14. Uporabljen je disk premera Ø 140 mm, ki ga je mogoče hitro namestiti in odstraniti. Brusni papir je na disk pritrjen z ježkasto (Velcro) podlago, kar omogoča hitro menjavo abrazivnih podlog različnih granulacij.

Kontaktni disk je predvsem primeren za raziglavanje robov ter izdelavo manjših posnetij, saj zaradi svoje gumijaste in elastične strukture omogoča mehkejši stik z obdelovancem kot trda kontaktna plošča, po kateri sicer teče brusni trak. Na ta način kontaktni disk delno nadomešča funkcijo gumiranega kontaktnega kolesa, ki v osnovni izvedbi naprave ni predvideno.

Takšna izvedba omogoča bolj prilagodljivo in manj agresivno obdelavo robov ter zmanjšuje nevarnost prekomernega odvzema materiala pri natančnejših opravilih. Kontaktni disk je zato posebej primeren za hitrejše delo z manjšimi obdelovanci in za operacije, kjer je potreben večji nadzor nad obdelavo, kot so raziglavanje, rahlo zaokroževanje robov in izdelava manjših posnetij.

S tem kontaktni disk predstavlja uporabno dopolnitev osnovne zasnove tračnega brusilnika s trdo kontaktno ploščo ter razširja spekter možnih obdelovalnih postopkov brez dodatnih konstrukcijskih posegov.



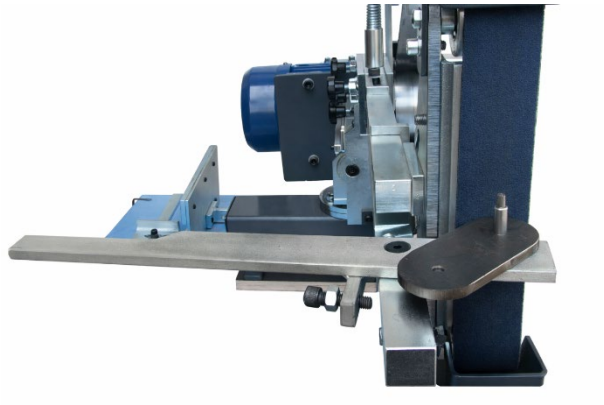
Slika 14: Kontaktni disk Ø 140 mm
(Lastni vir)

8.1.6 Priprava za pomoč pri izdelavi zaokrožitev

V okviru razširitve funkcionalnosti naprave je bila izvedena tudi priprava za pomoč pri izdelavi zaokrožitev (radijev) na obdelovancih, kar je prikazano na Sliki 15. Priprava omogoča vodenje obdelovanca okoli fiksne osi ter s tem ponovljivo in nadzorovano oblikovanje zaobljenih robov.

Konstrukcijska rešitev temelji na enostavnem nosilcu z nastavljivo podporno ploščico, ki omogoča določitev središča vrtenja obdelovanca. S tem je mogoče izdelovati različne radije z enakomerno krivino, kar je posebej uporabno pri obdelavi manjših kovinskih delov in pri izdelavi dekorativnih ali funkcionalnih zaokrožitev.

Takšna priprava predstavlja uporabno nadgradnjo osnovne zasnove tračnega brusilnika s trdo kontaktno ploščo, saj omogoča natančnejšo in ponovljivo obdelavo radijev brez potrebe po ročnem ocenjevanju oblike. Hkrati prispeva k večji varnosti in stabilnosti pri delu, ker je obdelovanec voden po vnaprej določeni poti.



Slika 15: Prikaz priprave z nameščenim obdelovancem za vodeno brušenje zaokrožitev, nameščene na tračnem brusilniku
(Lastni vir)

8.2 Možnosti nadaljnjih nadgradenj

V prihodnje so predvidene različne možnosti nadaljnjega razvoja in nadgradnje tračnega brusilnika, s katerimi bi se dodatno razširil spekter obdelovalnih postopkov ter izboljšala prilagodljivost naprave različnim zahtevam uporabnika. Predlagane nadgradnje niso nujne za osnovno delovanje naprave, vendar predstavljajo logično nadaljevanje njenega razvoja in omogočajo uporabo tračnega brusilnika tudi pri zahtevnejših ter bolj specializiranih obdelovalnih postopkih.

S tem se odpira možnost nadaljnje optimizacije konstrukcije glede na konkretne potrebe uporabnika in specifične aplikacije v praksi ter postopnega nadgrajevanja naprave v smeri večje zmogljivosti in vsestranskosti.

8.2.1 Kontaktno gumirano kolo

Ena izmed možnih nadgradenj je uporaba gumiranega kontaktnega kolesa (angl. contact wheel), ki zaradi svoje elastične površine omogoča boljše prilagajanje obliki obdelovanca. Takšno kolo je posebej primerno za brušenje cevi, zaobljenih robov in ergonomskih prehodov, kjer je potreben enakomeren in mehkejši stik brusnega traku z obdelovancem. V primerjavi s trdo kontaktno ploščo bi gumirano kontaktno kolo omogočalo bolj nadzorovano in manj agresivno obdelavo krivinskih površin.
Primer komercialno dostopne izvedbe takšnega kontaktnega kolesa je prikazan na Sliki 16, ki je povzeta s spletne strani podjetja 84 Engineering (84 Engineering, n.d.). Takšna rešitev je namenjena uporabi s tračnimi brusilniki in omogoča stabilen ter prilagodljiv stik brusnega traku z obdelovancem, kar potrjuje uporabnost gumiranega kontaktnega kolesa kot smiselne nadgradnje obravnavane naprave.



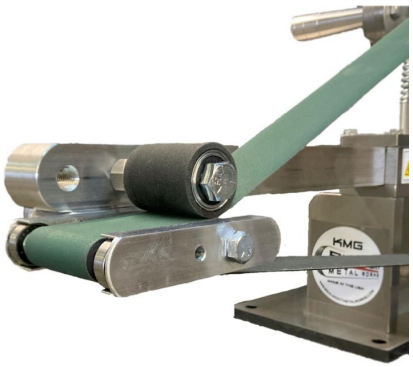
Slika 16: Gumirano kontaktno kolo (contact wheel) za brušenje zaobljenih površin
(Vir:84engineering, n.d.)

8.2.2 Kontaktna roka z valjčki

Dodatna nadgradnja bi bila uporaba kontaktne roke z valjčki, ki omogoča brušenje manjših notranjih in zunanjih radijev. Takšen nastavek je posebej uporaben pri oblikovanju ročajev nožev, utorov za prste ter pri obdelavi cevastih elementov manjših premerov.

Primer komercialno dostopne izvedbe takšnega nastavka je prikazan na Sliki 17, kjer je predstavljena rešitev proizvajalca Beaumont Metal Works. Prikazana kontaktna roka z valjčki omogoča vodenje brusnega traku preko valjčkov majhnih premerov, s čimer je mogoče izvajati natančno brušenje radijev in konkavnih površin (Beaumont Metal Works, n.d.).

Integracija podobnega nastavka v obravnavani tračni brusilnik bi bistveno razširila obdelovalne možnosti naprave brez večjih posegov v osnovno konstrukcijo ter omogočila izvedbo obdelav, ki jih s trdo kontaktno ploščo ni mogoče kakovostno izvesti.



Slika 17: Primer kontaktne roke z valjčki (small wheel attachment) za brušenje manjših radijev
(Vir: Beaumont Metal Works, n.d.)

8.2.3 Uporaba frekvenčnega regulatorja (angl. Variable frequency drive – VFD)

Na področju pogona je kot možna nadgradnja predvidena uporaba frekvenčnega regulatorja z možnostjo kratkotrajne tokovne preobremenitve elektromotorja nazivne moči 2,2 kW. Sodobni frekvenčni regulatorji omogočajo, da elektromotor za omejen čas deluje z višjim tokom od nazivnega, s čimer se poveča razpoložljivi zagonski in obremenitveni navor. Z ustrezno nastavitvijo teh parametrov bi bilo mogoče zagotoviti stabilno delovanje tudi pri kratkotrajnih večjih obremenitvah, zlasti pri nižjih nastavljenih vrtilnih hitrostih elektromotorja, ob hkratnem ohranjanju varnega obratovanja pogonskega sistema.

9 ZAKLJUČEK

9.1 Povzetek rezultatov

V okviru diplomskega dela je bil zasnovan, dimenzioniran in izdelan prototip tračnega brusilnika, pri čemer je bil poudarek namenjen funkcionalnosti, stabilnosti delovanja in prilagodljivosti konstrukcije. Na podlagi teoretičnih izračunov, konstrukcijske zasnove in praktičnih preizkusov je bilo ugotovljeno, da naprava v veliki meri izpolnjuje zastavljene cilje diplomskega dela.

Posebna pozornost je bila namenjena napenjalnemu mehanizmu brusnega traku, kjer je bila z analizo sil in z izbiro ustreznejše vzmeti dosežena primerna napetost brusnega traku, skladna z industrijskimi priporočili. Prav tako je bila z optimizacijo geometrije sledilnega (tracking) kolesa in pogonske jermenice dosežena boljša odzivnost nastavitev ter stabilnejši in predvidljivejši tek brusnega traku.

Praktični preizkusi so potrdili stabilno delovanje naprave, ustrezno togost konstrukcije ter zadovoljivo delovanje pogonskega sklopa tudi pri večjih obremenitvah. Rezultati meritev vibracij, poravnave, hrupa in segrevanja ležajev so pokazali, da prototip izpolnjuje večino zastavljenih kriterijev in potrjuje ustreznost izbranih konstrukcijskih rešitev.

Izdelana naprava predstavlja funkcionalen in uporaben tračni brusilnik, primeren za delavniško uporabo in nadaljnji razvoj. Diplomsko delo je pokazalo, da je z ustreznim teoretičnim pristopom, eksperimentalnim preverjanjem in postopnimi konstrukcijskimi izboljšavami mogoče zasnovati zanesljivo in prilagodljivo napravo, ki omogoča širok spekter obdelovalnih postopkov.

9.2 Osebna refleksija in tehnične izkušnje

Izdelava tračnega brusilnika je omogočila poglobljeno razumevanje povezave med teoretičnimi izračuni in praktično izvedbo mehanskih sistemov. Med potekom dela se je pokazalo, da je pri razvoju prototipne naprave iterativni pristop, ki vključuje načrtovanje, izdelavo, preizkušanje in sprotno prilagajanje konstrukcije, ključnega pomena za doseganje stabilnega in zanesljivega delovanja.

Posebej pomembne so bile izkušnje, pridobljene pri reševanju praktičnih konstrukcijskih izzivov, saj se je izkazalo, da je nekatere tehnične odločitve mogoče ustrezno ovrednotiti šele s praktičnimi preizkusi. Delo je prispevalo k boljšemu razumevanju vpliva posameznih konstrukcijskih rešitev na delovanje naprave ter k razvoju samostojnega inženirskega pristopa k reševanju tehničnih problemov.

Diplomsko delo je tako prispevalo ne le k razvoju konkretne tehnične rešitve, temveč tudi k poglobitvi znanj, pridobljenih v okviru študijskega procesa, ter k njihovi neposredni uporabi v praksi. Predstavlja pomemben korak pri razvoju mojega strokovnega znanja in njegove uporabe v praktičnem okolju. Pri izdelavi naprave je bilo uporabljeno teoretično znanje s področja strojnih elementov, mehanike in konstrukcijskega načrtovanja, ki je bilo dopolnjena z dolgoletnimi praktičnimi izkušnjami iz dosedanjega strokovnega dela.

Povezovanje znanja s predavanj s praktičnimi izkušnjami je omogočilo celovitejše razumevanje delovanja mehanskih sistemov in predstavlja pomemben korak v osebnem strokovnem razvoju ter utrjevanju kompetenc za nadaljnji strokovni in osebni razvoj na tehničnem področju.

10 LITERATURA IN VIRI

BATKO MACHINES. (n.d.). *Coin test on the Batko3000XL* [Short video]. YouTube. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.youtube.com/shorts/6ezmR3GrUaY

Beaumont Metal Works. (n.d.). *KMG-TX belt grinder*. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://beaumontmetalworks.com/product/kmg-tx/

Benedičič, B. (2026). *Prikaz tračnega brusilnika in test s kovancem* [Video]. YouTube. Pridobljeno 28.9.2026 z naslova https://youtu.be/1j5we1pQM3M

Boldea, I., in Nasar, S. A. (2017). *Electric drives* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Chapman, S. J. (2012). *Electric machinery fundamentals* (5th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.

European Committee for Standardization. (2004). *EN 10025 – Structural steels*. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/en-10025-2004

European Parliament and Council. (2002). *Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)*. Pridobljeno 1. 9. 2026 z naslova https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/44/oj

European Parliament and Council. (2003). *Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise)*. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/10/oj

European Parliament and Council. (2006). *Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast)*. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj

Frisson's Knives. (n.d.). *Vibration test for my 2×72 belt grinder* [Video]. YouTube. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.youtube.com/watch?v=rmJ4i9Hg9xo

Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (7th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 60204-1:2016 – Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://webstore.iec.ch/en/publication/26037

International Organization for Standardization. (2010*). ISO 12100:2010 – Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction*. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.iso.org/standard/51528.html

Kalpakjian, S., in Schmid, S. R. (2023). *Manufacturing processes for engineering materials* (6th ed., SI units). Harlow: Pearson Education Limited.

Löser GmbH. (n.d.). *Belt grinding technology*. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.loeser.com/en/belt-grinding

Matejić, M., Matejić, M., Živić, J., in Ivanović, L. (2022). *Design and testing of abrasive belt grinder*, 527–534.

Nguyen, T. (2023). Design and manufacture mini belt grinding machine. *Journal of Research in Mechanical Engineering, 9*(9), 6–10.

Origin Blade Maker. (n.d.). *Dominator 2×72 grinder*. Pridobljeno 1. 9. 2026 z naslova https://originblademaker.com/product/dominator-2x72-2hp-motor-vfd-7-drive-wheel/

Pandiyan, V., Caesarendra, W., Glowacz, A., in Tjahjowidodo, T. (2020). Modelling of material removal in abrasive belt grinding process: A regression approach. *Symmetry, 12*(1), 99.

Red Label Abrasives. (n.d.). *How much tension should a belt sander have?* Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.redlabelabrasives.com/blogs/news/how-much-tension-should-a-belt-sander-have

Syreyshchikova, N. V., Pimenov, D. Y., Gupta, M. K., Nadolny, K., Giasin, K., in Sharma, S. (2021). Establishing the relationship between cutting speed and output parameters in belt grinding on steels, aluminum and nickel alloys: Development of recommendations. *Materials, 14*(8), 1974.

Timesavers Inc. (2025). *13 Series Wide Belt Sander*. Pridobljeno 1. 9. 2026 z naslova https://timesaversinc.com/product/13-series/

Vandelay. (n.d.). *DIY belt grinder build – Part 1* [Video]. YouTube. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.youtube.com/watch?v=gaIVzdJ2V5w

Vandelay. (n.d.). *DIY belt grinder build – Part 2* [Video]. YouTube. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.youtube.com/watch?v=q0KzSZVommY

Vandelay. (n.d.). *DIY belt grinder build – Part 3* [Video]. YouTube. Pridobljeno 1.9.2026 z naslova https://www.youtube.com/watch?v=dvvOFyb6vXA

PRILOGE

Priloga 1: Podrobni izračuni napenjalnega mehanizma brusnega traku
Priloga 2: Ročne skice in kratek opis konstrukcijskih sklopov tračnega brusilnika
Priloga 3: Navodila za uporabo
Priloga 4: Hennlich vzmeti
Priloga 5: SKF - Deep groove ball bearings
Priloga 6: Prikaz tračnega brusilnika in test s kovancem (povezava do videoposnetka)

B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

PRILOGA 1

Podrobni izračuni napenjalnega mehanizma brusnega traku

KAZALO VSEBINE:

1. Namen priloge 1

2. Uporabljene oznake 1

3. Izračun napetosti za izbrano vzmet – Primer A 1

4. Vpliv brusnega traku 2

5. Izračun napetosti za izbrano vzmet – Primer B 6

6. Sprememba geometrije napenjalne roke – Primer C 7

7. Sprememba geometrije napenjalne roke – Primer D 9

KAZALO SLIK:

Slika A 1: Osnovni koncept postavitve vzmeti in napenjalnega kolesa 2

Slika A 2: Kot ovitja brusnega traku okoli sledilnega kolesa 3

Slika A 3: Sprememba ročice sile vzmeti 8

Slika A 4: Prikaz sil $F2$, $F2,trak$ in rezultante $F2r$ z označenimi koti α, φ in β na sledilnem kolesu (Primer D) 10

1. Namen priloge

V tej prilogi so prikazani podrobni matematični izračuni sil in napetosti brusnega traku za različne konfiguracije napenjalnega mehanizma (Primeri A–D). V glavnem besedilu (poglavje 4.3.3) so predstavljeni le končni rezultati in sklepi, v tej prilogi pa so zbrani vsi vmesni računski koraki.

2. Uporabljene oznake

Pri analizi napenjalnega mehanizma so uporabljene naslednje oznake sil:

- $\boldsymbol{F1}$ – sila vzmeti napenjalnega mehanizma [N]
- $\boldsymbol{F2,vzmet}$ – sila, s katero napenjalni mehanizem (vzmet in ročica) deluje na os sledilnega kolesa,
- $\boldsymbol{F2,trak}$ – rezultanta sil napetega brusnega traku (veji T_1 in T_2) na sledilno kolo,
- $\boldsymbol{F2r}$ – skupna rezultanta obremenitve osi sledilnega kolesa, ki vključuje vpliv vzmeti in brusnega traku.
- $\mathbf{T_1}$ – sila napetega brusnega traku v vstopni veji [N]
- $\mathbf{T_2}$ – sila napetega brusnega traku v izstopni veji [N]
- **F** – vzdolžna napetost brusnega traku [N]
- **σ** – napetost brusnega traku na enoto širine [N/mm]
- **b** – širina brusnega traku [mm]
- $\mathbf{L_1}$ – razdalja med točko vpetja napenjalne roke in točko delovanja sile vzmeti [mm]
- $\mathbf{L_2}$ – razdalja med točko vpetja napenjalne roke in osjo sledilnega kolesa [mm]
- **α** – kot ovitja brusnega traku okoli sledilnega kolesa
- **φ** – kot med silama T_1 in T_2
- **β** – kot med rezultanto $\boldsymbol{F2r}$ in smerjo delovanja sile $\boldsymbol{F2,vzmet}$

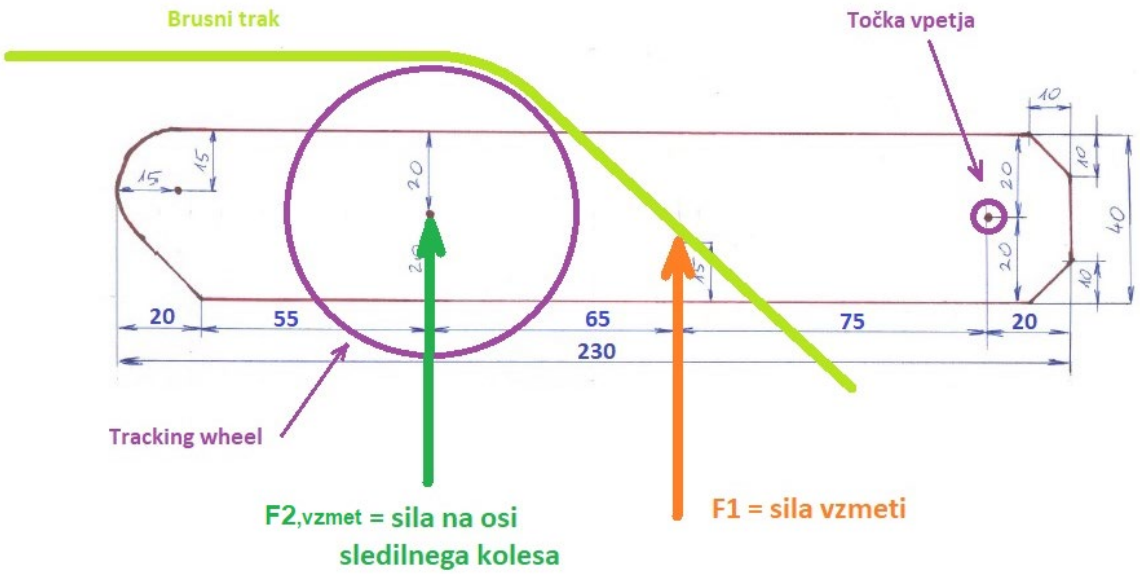
3. Izračun napetosti za izbrano vzmet – Primer A

Napenjalni mehanizem je izveden z vzmetjo, ki preko napenjalne roke deluje na sledilno (tracking) kolo. Zaradi uporabe ročice sila vzmeti ni neposredno enaka sili na osi sledilnega kolesa niti dejanski napenjalni sili v brusnem traku. Velikost sile, ki jo sledilno kolo prenaša na brusni trak, je določena iz pogoja statičnega ravnotežja momentov okoli točke vpetja napenjalne roke.
Geometrija napenjalne roke in razporeditev sil sta prikazani na **Sliki A 1**.

Geometrijski podatki

- sila vzmeti:
  - **F**1 = 390 N
- sila, ki jo napenjalna roka (vzmet + ročica) prenaša na sledilno kolo
  - **F2vzmet** = ?
- razdalja med točko vpetja napenjalne roke in točko delovanja vzmeti:

- **L1** = 75 mm
- razdalja med točko vpetja napenjalne roke in osjo sledilnega kolesa:
  - **L2** = 140 mm
- širina brusnega traku:
  - **b** = 60 mm



Slika A 1: *Osnovni koncept postavitve vzmeti in napenjalnega kolesa* (Primer A in B) (Lastni vir)

Pogoj ravnotežja momentov okoli osi vrtenja napenjalne roke:

$$\sum M = 0$$

$$F1 \cdot L1 = F2vzmet \cdot L2$$

od koder sledi:

$$F2vzmet = \frac{\mathrm{F1} \cdot \mathrm{L1}}{\mathrm{L2}} = \frac{390\mathrm{N} \cdot 75\mathrm{mm}}{140\mathrm{mm}} = \boldsymbol{209N}$$

4. Vpliv brusnega traku

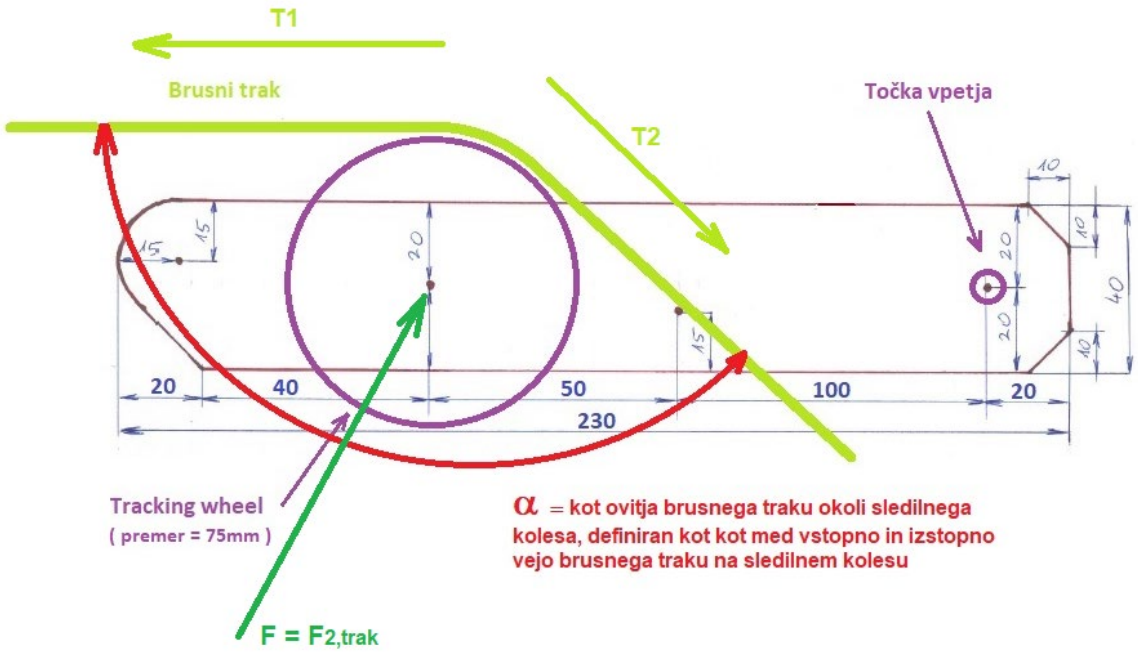
Ko je brusni trak nameščen in napet, na sledilno (tracking) kolo poleg sile napenjalnega mehanizma delujeta še sili napetega traku v vstopni in izstopni veji, označeni kot T1 in T2.

Pri statičnem stanju brez pogona in brez brušenja velja:

$T1 = T2 = F$ Kjer je:

- **T_1 =** vstopna veja traku
- **T_2 =** izstopna veja traku
- **F =** vzdolžna napetost brusnega traku

Zaradi spremembe smeri gibanja traku okoli sledilnega kolesa sili T1 in T2 ne delujeta v isti smeri, temveč med njima nastopa kot ovitja α, kot je prikazano na **Sliki A 2**. Njuna vektorska vsota povzroči dodatno obremenitev osi sledilnega kolesa, ki jo označimo kot silo **F2-trak.**



Slika A 2: *Kot ovitja brusnega traku okoli sledilnega kolesa*
(Lastni vir)

Zaradi kota ovitja α delujeta sili pod kotom (slika A2), zato nastane rezultanta:

$$F2, trak = 2 \cdot \mathrm{F} \cdot (\frac{\sin \alpha}{2})$$

kjer je:

- **F =** napetost brusnega traku
- **α =** kot ovitja brusnega traku okoli sledilnega kolesa
- $\boldsymbol{F2, trak}$ – rezultanta sil napetega brusnega traku (veji T_1 in T_2) na sledilno kolo

Za obravnavani primer velja:

α = 150°

α/2 = 75°

Zato imamo izračun:

$$F2, trak = 2 \cdot \mathrm{F} \cdot 0{,}966 = 1{,}93 \cdot \mathrm{F}$$

Razmerje med $F2, trak$ in $F2, vzmet$:

Sila $F2, vzmet$, izračunana iz ravnotežja momentov napenjalne roke, predstavlja silo, s katero napenjalni mehanizem potiska sledilno kolo. Pri statičnem ravnotežju sistema z nameščenim trakom je sila, ki jo povzroča brusni trak na sledilno kolo, približno uravnotežena s silo napenjalnega mehanizma, zato lahko za oceno napetosti traku uporabimo približek:

$$F2, trak \approx F2, vzmet$$

Iz tega sledi, da lahko napetost brusnega traku ocenimo iz pogoja:

$$F2, trak = 2 \cdot \mathrm{F} \cdot (\frac{\sin \alpha}{2})$$

Od koder dobimo:

$$F = \frac{F2, vzmet}{2\sin(\alpha \,/\, 2)}$$

Napetost brusnega traku za Primer A:

$F2, vzmet$ = 209N

$$F = \frac{209N}{2 \cdot 0{,}966} = \mathbf{108N}$$

Napetost brusnega traku na enoto širine znaša:

$$\sigma = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{b}} = \frac{108N}{60mm} = \mathbf{1{,}8N/mm}$$

Dobljena vrednost je bistveno nižja od priporočene industrijske vrednosti (3,5–4,3 N/mm), kar potrjuje, da izbrana vzmet v konfiguraciji Primer A ne zagotavlja zadostne napetosti brusnega traku, kar se je pokazalo pozneje tudi pri testiranju.

Vloga kota ovitja α

Kot ovitja α ne vpliva na velikost sile $F2, vzmet$, saj je ta določena izključno z geometrijo napenjalne roke in silo vzmeti. Kot α pa vpliva na velikost in smer sile $F2, trak$, ker določa kot med silama T1 in T2.

Kot α tako določa smer rezultante sil T1 in T2 in s tem smer in velikost skupne rezultante na osi sledilnega kolesa:

$$\overrightarrow{F2r} = \overrightarrow{F2, vzmet} + \overrightarrow{F2, trak}$$

Zaradi različne smeri delovanja sil $F2, vzmet$ in $F2, trak$ rezultanta $F2r$ ne deluje v smeri nobene od posameznih sil, temveč v novi smeri, določeni z geometrijo sistema. Velja tudi:

$$F2r > F2, vzmet$$

Kar pomeni, da je obremenitev osi sledilnega kolesa z nameščenim trakom večja kot v primeru brez traku.

Izračun rezultante $F2r$:

Imamo dve sili na osi sledilnega kolesa:

- $F_2, vzmet$ **= 209 N** ki deluje pod kotom 90°
- $F_2, trak$ **= 209 N** ki deluje po simetrali kota α, torej pod kotom 75° glede na vstopno vejo brusnega traku

Kot med obema silama zato znaša:

$$\varphi = 90° - 75° = 15°$$

Ker sili ne delujeta v isti smeri, uporabimo kosinusni izrek (vektorski seštevek sil):

$$F2r = \sqrt{F2, vzmet^2 + F2, trak^2 + 2 \cdot F2, vzmet \cdot F2, trak \cdot cos\varphi}$$

$$F2r = \sqrt{209^2 + 209^2 + 2 \cdot 209 \cdot 209 \cdot cos15°}$$

$$F2r = \sqrt{43681 + 43681 + 2 \cdot 43681 \cdot 0{,}966}$$

$$F2r = \sqrt{171754} = \mathbf{414\ N}$$

Izračun smeri rezultante $F2r$

Skupna rezultanta ima:

- navpično komponento:

$$F2, trak \cdot sin\,\varphi$$

- vodoravno komponento:

$$F2, vzmet + F2, trak \cdot cos\,\varphi$$

Kot β med rezultanto $F2r$ in smerjo sile napenjalnega mehanizma $F2, vzmet$ izračunamo iz:

Po definiciji tangensa kota:

$$tan\,\beta = \frac{nasprotna\ kateta}{priležna\ kateta}$$

$$tan\,\beta = \frac{F2, trak \cdot sin\,\varphi}{F2, vzmet + F2, trak \cdot cos\,\varphi}$$

$$tan\beta = \frac{209 \cdot sin15°}{209 + 209 \cdot cos15°}$$

$$tan\beta = \frac{54{,}1}{410{,}9}$$

$$tan\beta = 0{,}132$$

$$\beta = \mathbf{7,5}°$$

Končni rezultati za primer A:

$F2, vzmet = 209\ N$

$F2, trak = 209\ N$

$F2r = 414\ N$

$\beta = 7{,}5°$

5. Izračun napetosti za izbrano vzmet – Primer B

Ker je bila v primeru A izračunana napetost brusnega traku prenizka, je bila v naslednjem koraku izbrana močnejša tlačna vzmet iz kataloga podjetja Hennlich d. o. o. (Priloga 4) z nazivno silo:

$F1 = 460\ N$

Geometrija napenjalne roke ostane enaka kot v primeru A:

L1=75 mm
L2=140 mm

Sila na osi sledilnega kolesa:

$$F2vzmet = \frac{\mathrm{F1} \cdot \mathrm{L1}}{\mathrm{L2}} = \frac{460\ \mathrm{N} \cdot 75\ \mathrm{mm}}{140\ \mathrm{mm}} = \mathbf{246\ N}$$

Napetost brusnega traku za Primer B:

$F2, vzmet$ = 246N

$$F = \frac{F2, vzmet}{2\sin(\alpha / 2)} = \frac{246\ N}{2 \cdot 0{,}966} = \mathbf{127\ N}$$

Napetost brusnega traku na enoto širine znaša:

$$\sigma = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{b}} = \frac{127N}{60\ mm} = \mathbf{2{,}1N/mm}$$

Dobljena vrednost je še vedno nižja od priporočene industrijske vrednosti (3,5–4,3 N/mm), zato zgolj zamenjava vzmeti brez spremembe geometrije napenjalne roke ne zagotavlja zadostne napetosti brusnega traku.

6. Sprememba geometrije napenjalne roke – Primer C

Zaradi nezadostne napetosti brusnega traku je bila v naslednjem koraku spremenjena geometrija napenjalne roke, s čimer se je povečalo razmerje ročic med L1 in L2 (**Slika A 3**).

Za novo konfiguracijo velja:

F1=460 N
L1=100 mm
L2=150 mm

Sila na osi sledilnega kolesa:

$$F2vzmet = \frac{\mathrm{F1} \cdot \mathrm{L1}}{\mathrm{L2}} = \frac{460\ \mathrm{N} \cdot 100\ \mathrm{mm}}{150\ \mathrm{mm}} = \mathbf{307N}$$

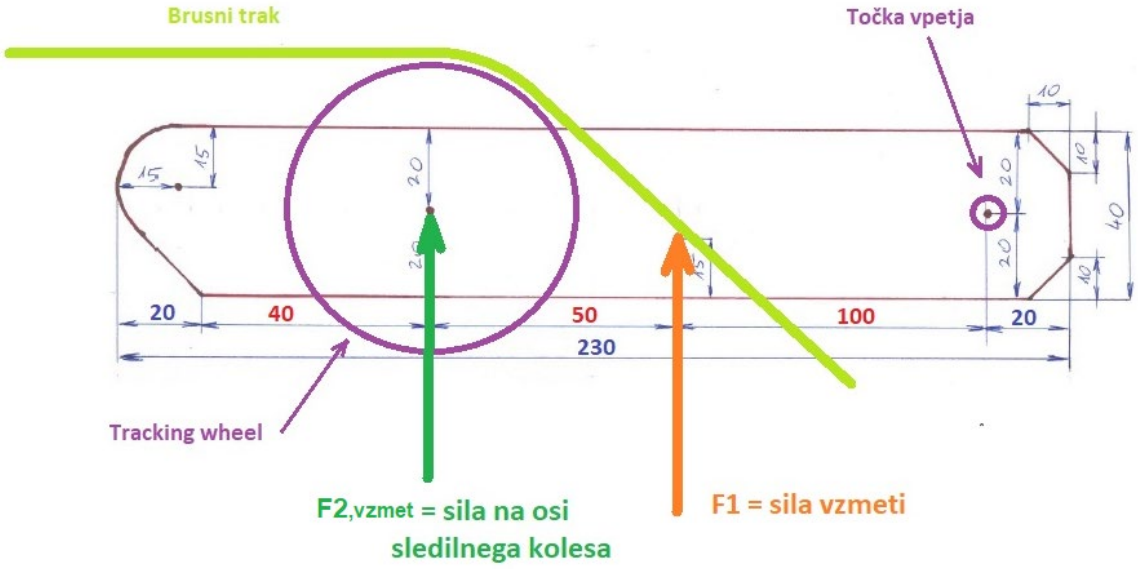
Napetost brusnega traku za Primer C:

$F2, vzmet$ = 307 N

$$F = \frac{F2, vzmet}{2\sin(\alpha / 2)} = \frac{307\ N}{2 \cdot 0{,}966} = \mathbf{159\ N}$$

Napetost brusnega traku na enoto širine znaša:

$$\sigma = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{b}} = \frac{159N}{60\ mm} = \mathbf{2{,}65N/mm}$$



Slika A 3: *Sprememba ročice sile vzmeti (Primer C)*
(Lastni vir)

Ker se geometrija poteka brusnega traku ni spremenila, ostaneta kota α in φ enaka kot v primeru A. Posledično je tudi smer rezultante sil F2r enaka, spremeni pa se njena velikost.

Velikost rezultante za Primer C se izračuna z enakim izrazom:

$$F2r = \sqrt{F2,vzmet^2 + F2,trak^2 + 2 \cdot F2,vzmet \cdot F2,trak \cdot cos\varphi}$$

$$F2r = \sqrt{307^2 + 307^2 + 2 \cdot 307 \cdot 307 \cdot cos15°}$$

$$F2r = \sqrt{94249 + 94249 + 2 \cdot 94249 \cdot 0{,}966}$$

$$F2r = \sqrt{370591} = \mathbf{609\ N}$$

7. Sprememba geometrije napenjalne roke – Primer D

Ker je bila pri konfiguraciji z vzmetjo 460 N izračunana napetost brusnega traku σ=2,65 N/mm, kar je še vedno manj od priporočene vrednosti (3,5–4,3 N/mm), je bila v nadaljevanju izbrana močnejša vzmet z nazivno silo 600 N.

Za novo konfiguracijo velja:

F1 = 600 N
L1 = 100 mm
L2 = 150 mm

Sila na osi sledilnega kolesa:

$$F2vzmet = \frac{\mathrm{F1} \cdot \mathrm{L1}}{\mathrm{L2}} = \frac{600\ \mathrm{N} \cdot 100\ \mathrm{mm}}{150\ \mathrm{mm}} = \mathbf{400\ N}$$

Napetost brusnega traku za Primer D:

$F2, vzmet$ = 400 N

$$F = \frac{F2, vzmet}{2\sin(\alpha\ /\ 2)} = \frac{400\ N}{2 \cdot 0{,}966} = \mathbf{207\ N}$$

Napetost brusnega traku na enoto širine znaša:

$$\sigma = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{b}} = \frac{207\ N}{60\ mm} = \mathbf{3{,}45 N/mm}$$

Izračunana napetost brusnega traku pri uporabi vzmeti z nazivno silo 600 N znaša 3,45 N/mm, kar predstavlja spodnjo mejo priporočene industrijske vrednosti (3,5–4,3 N/mm). Glede na doseženo stabilnost teka brusnega traku in rezultate preizkusov je bila ta konfiguracija ocenjena kot ustrezna, zato je bila izbrana kot končna rešitev napenjalnega mehanizma.

Velikost rezultante za Primer D se izračuna z enakim izrazom:

$$F2r = \sqrt{F2, vzmet^2 + F2, trak^2 + 2 \cdot F2, vzmet \cdot F2, trak \cdot cos\varphi}$$

$$F2r = \sqrt{400^2 + 400^2 + 2 \cdot 400 \cdot 400 \cdot cos15°}$$

$$F2r = \sqrt{160000 + 160000 + 2 \cdot 160000 \cdot 0{,}966}$$

$$F2r = \sqrt{629120} = \mathbf{793\ N}$$

Ker se geometrija sistema ni spremenila, ostajajo koti α, φ in β enaki kot v primeru A, spremeni pa se le velikost posameznih sil in rezultante F_2r.

Končni rezultati za primer A:

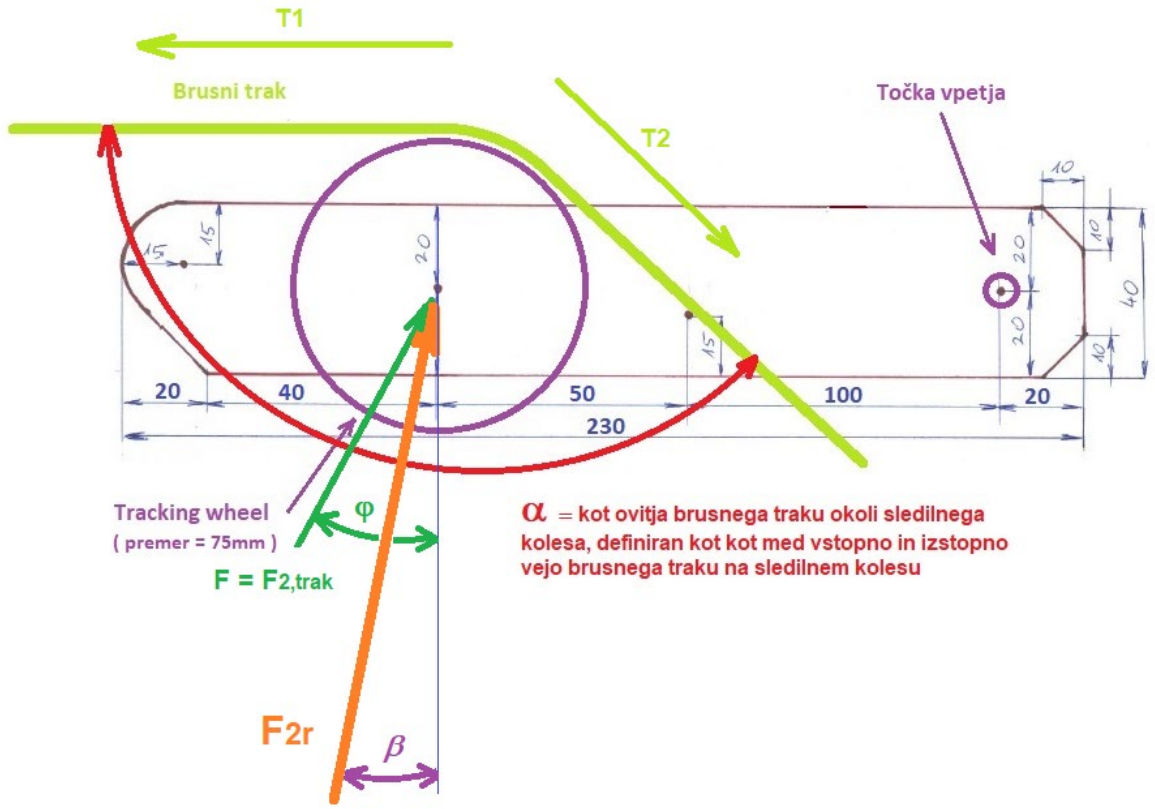
$F2, vzmet = 400\ N$ (prikaz na **Sliki A 3**)

$F2, trak = 400\ N$ (prikaz na **Sliki A 4**)

$F2r = 793\ N$ (prikaz na **Sliki A 4**)

$\beta = 7{,}5°$ (prikaz na **Sliki A 4**)

Razporeditev sil ter njihova medsebojna usmerjenost sta shematsko prikazani na **Sliki A 4**, ki prikazuje vpliv napetosti brusnega traku in napenjalnega mehanizma na obremenitev sledilnega kolesa.



Slika A 4: *Prikaz sil $F2$, $F2, trak$ in rezultante $F2r$ z označenimi koti α, φ in β na sledilnem kolesu (Primer D)*
(Lastni vir)

B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

PRILOGA 2

Ročne skice in kratek opis konstrukcijskih sklopov tračnega brusilnika

KAZALO VSEBINE:

1. Namen priloge 1

2. Podnožje nosilca 1

2.1. Osnovna plošča 1
2.2. Levi in desni stranski del pri podnožju nosilca 2
2.3. Vrtljiva baza 2

3. Levi in desni nosilec ohišja 3

4. Ohišje tračnega brusilnika 4

5. Nosilec napenjalne roke 5

6. Napenjalna roka 6

7. Centrirne vilice in distančnik 7

8. Nosilec valjčkov in podporne plošče 8

9. Zaščita pogonske jermenice 9

10. Pogonsko kolo 10

11. Sledilno kolo (tracking wheel) in vodilno kolo (roller) 11

12. Distančnik in nosilec vzmeti 12

13. Vizualni prikaz posameznih konstrukcijskih sklopov iz tabele 3 13

KAZALO SLIK:

Slika B 1: Osnovna plošča 1
Slika B 2: Levi in desni stranski del pri podnožju nosilca 2
Slika B 3: Vrtljiva baza 2
Slika B 4: Levi in desni nosilec ohišja 3
Slika B 5: Stranske plošče ohišja 4
Slika B 6: Sredinske distančne plošče ohišja 4
Slika B 7: Nosilec napenjalne roke 5
Slika B 8: Napenjalna roka 6
Slika B 9: Centrirne vilice 7
Slika B 10: Distančnik 7
Slika B 11: Nosilec valjev in podporne plošče 8
Slika B 12: Zaščita pogonske jermenice 9
Slika B 13: Pogonsko kolo 10
Slika B 14: Sledilno in vodilno kolo 11
Slika B 15: Distančnik in nosilec vzmeti 12
Slika B 16: Prikaz sklopov iz tabele 3 14
Slika B 17: Prikaz sklopov iz tabele 3 14
Slika B 18: Prikaz sklopov iz tabele 3 15
Slika B 19: Prikaz sklopov iz tabele 3 15

1. Namen priloge

V tej prilogi so zbrane ročne skice ter slikovna dokumentacija posameznih konstrukcijskih sklopov tračnega brusilnika, ki so bile uporabljene v fazi načrtovanja in izdelave prototipa. Prikazani materiali služijo kot razvojni in idejni prikaz konstrukcije ter ne predstavljajo tehniške dokumentacije v smislu delavniških risb s tolerancami in predpisanimi materiali.

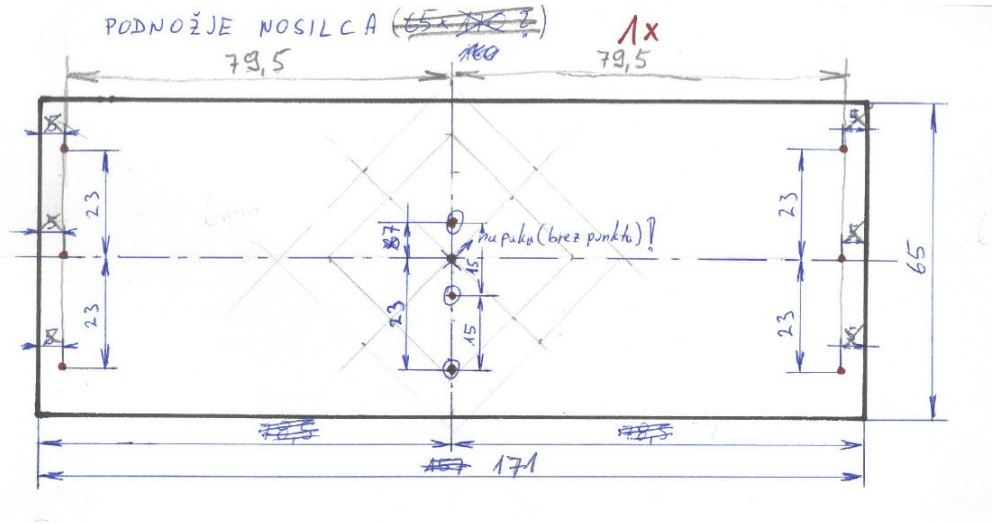
Namen priloge je prikazati potek razvoja posameznih sklopov ter omogočiti vpogled v proces prehoda od idejne zasnove do končne izvedbe prototipa. Skice in slike dopolnjujejo poglavje 6 (Izdelava tračnega brusilnika) in predstavljajo podporno gradivo k opisu konstrukcijskih rešitev v glavnem delu diplomskega dela.

Priloga tako služi kot dokumentacija razvojnega procesa ter kot vizualna podpora razumevanju izbranih konstrukcijskih rešitev tračnega brusilnika.

2. Podnožje nosilca

Skice prikazujejo osnovno ploščo kot osrednji povezovalni element spodnjega dela konstrukcije. Na podnožje sta na obeh straneh privijačena levi in desni stranski del, ki skupaj tvorita nosilni okvir spodnjega sklopa. Celotna sestava je nato privijačena na vrtljivo bazo, ki omogoča zasuk tračnega brusilnika levo/desno do približno ±45°. Takšna izvedba omogoča prilagoditev delovnega položaja naprave glede na način brušenja ter izboljša ergonomijo pri delu, hkrati pa ohranja stabilno in togo pritrditev celotne konstrukcije.

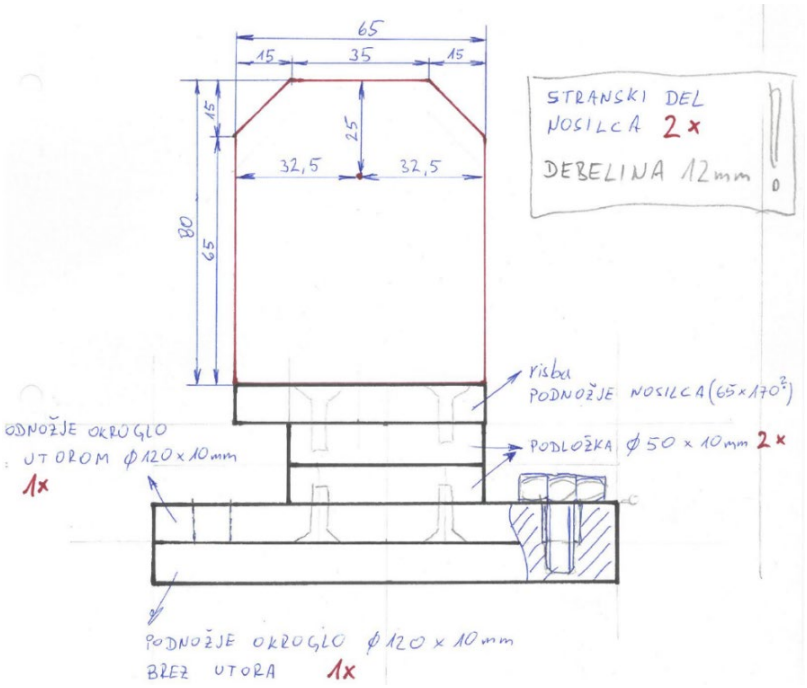
2.1. Osnovna plošča



Slika B 1: *Osnovna plošča*

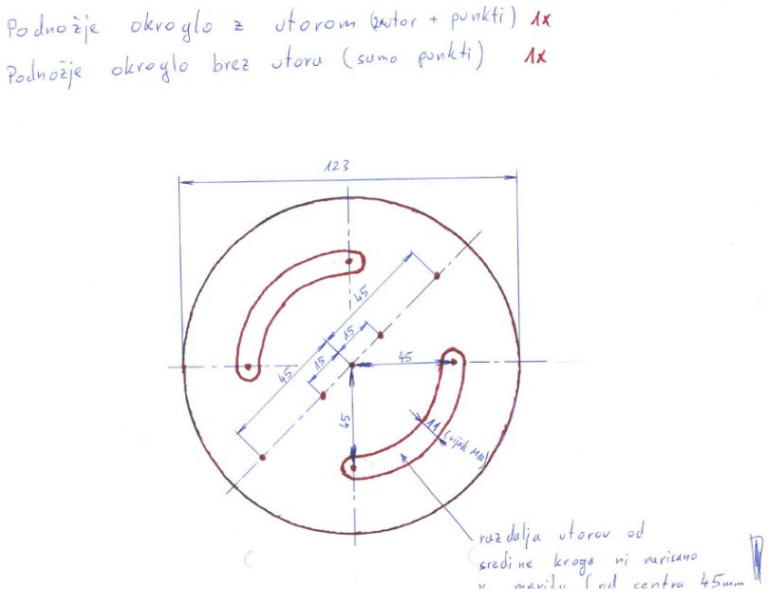
(Lastni vir)

2.2. Levi in desni stranski del pri podnožju nosilca



Slika B 2: *Levi in desni stranski del pri podnožju nosilca*
(Lastni vir)

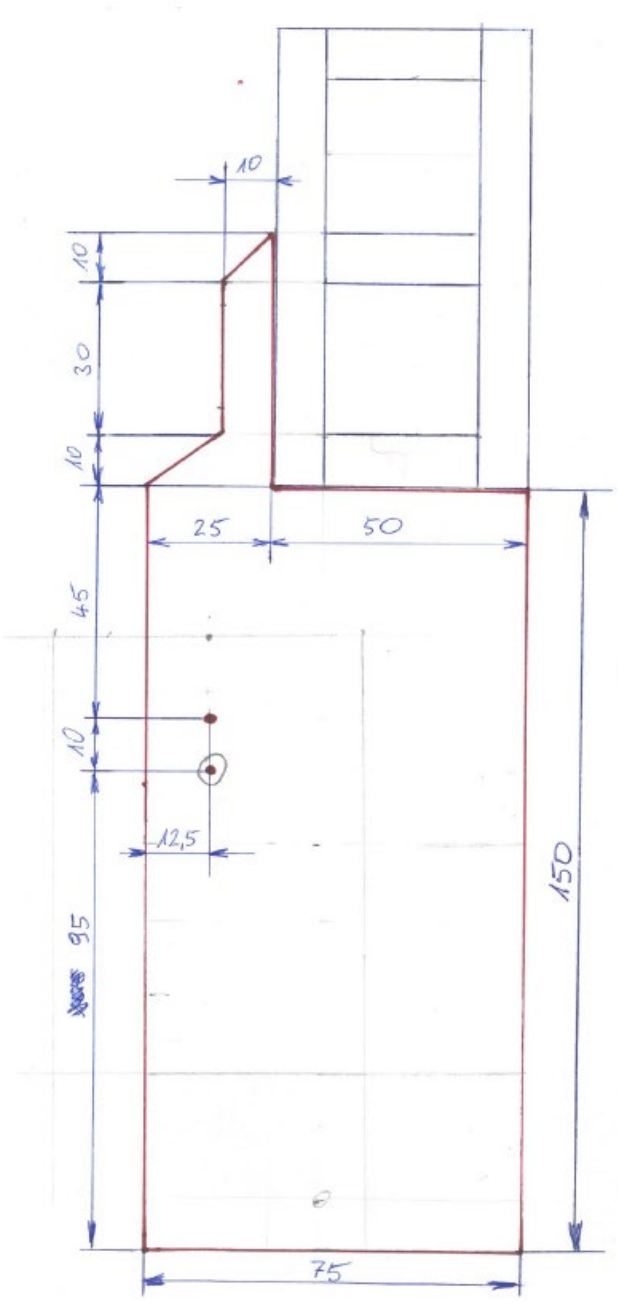
2.3. Vrtljiva baza



Slika B 3: *Vrtljiva baza*
(Lastni vir)

3. Levi in desni nosilec ohišja

Skica prikazuje levi in desni nosilec ohišja, ki sta privijačena na stranska dela podnožja nosilca in skupaj tvorita osnovno nosilno strukturo za pritrditev ohišja tračnega brusilnika. Ta konstrukcijski sklop omogoča stabilno pritrditev zgornjega dela naprave ter hkrati omogoča nagib celotnega tračnega brusilnika v levo (t. i. tilt položaj).
Zasnova nosilcev omogoča spremembo delovnega položaja naprave glede na potrebe obdelave, pri čemer je zagotovljena zadostna togost in varna fiksacija izbrane pozicije. Takšna rešitev povečuje funkcionalnost naprave in izboljšuje ergonomijo pri delu.

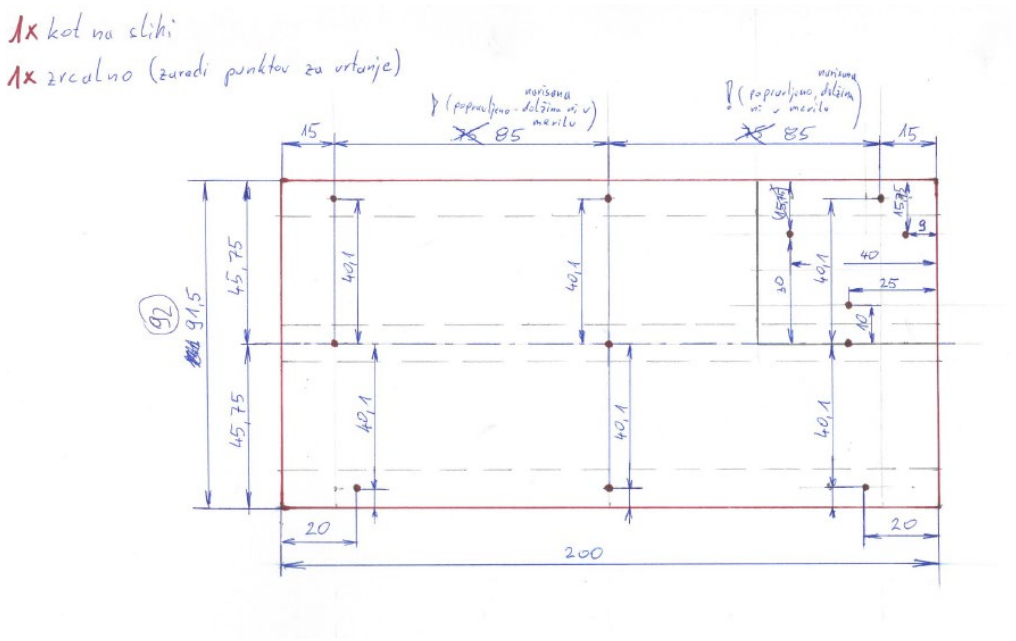


Slika B 4: *Levi in desni nosilec ohišja*
(Lastni vir)

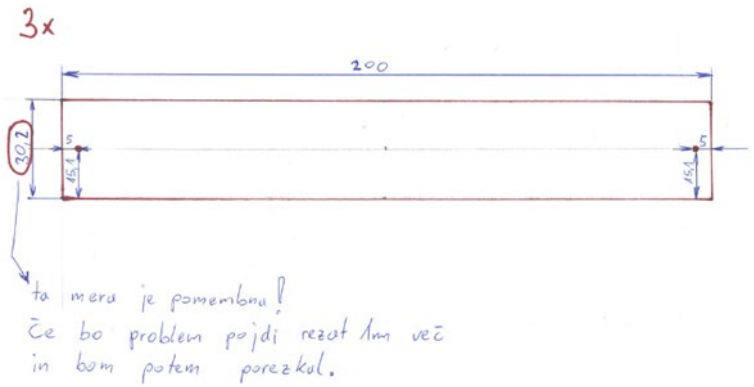
4. Ohišje tračnega brusilnika

Skica prikazuje konstrukcijsko zasnovo ohišja, ki predstavlja osrednji nosilni del tračnega brusilnika. Ohišje je sestavljeno iz dveh stranskih plošč ter treh vmesnih distančnih plošč, ki skupaj tvorijo togo in stabilno konstrukcijo.

V notranjosti ohišja sta nameščeni palici iz svetlovlečenega jekla preseka 30 × 30 mm. Prva palica služi kot nosilna osnova za pritrditev nosilca valjčkov in podporne (kontaktne) plošče, druga palica pa predstavlja osnovo za pritrditev obdelovalne mize. Takšna zasnova omogoča modularno pritrditev posameznih sklopov ter enostavno prilagoditev delovnega položaja glede na način brušenja.



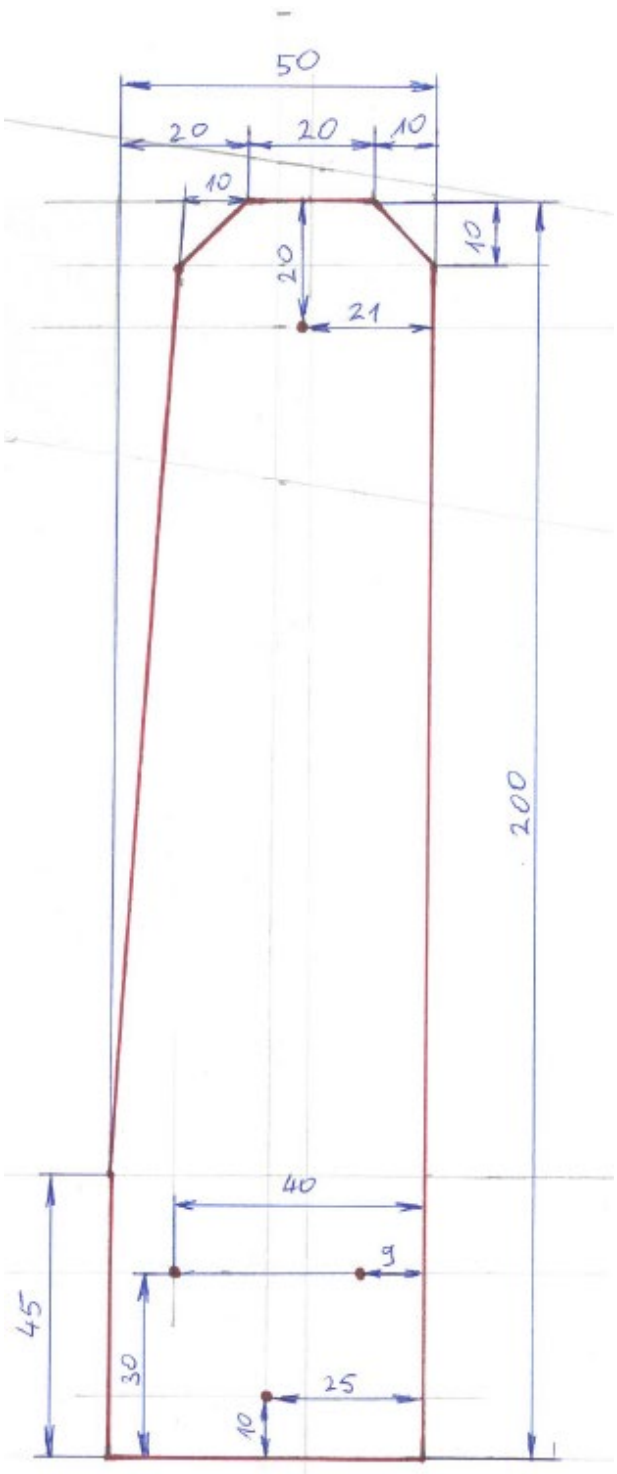
Slika B 5: *Stranske plošče ohišja*
(Lastni vir)



Slika B 6: *Sredinske distančne plošče ohišja*
(Lastni vir)

5. Nosilec napenjalne roke

Skica prikazuje nosilec napenjalne roke, ki predstavlja vmesni konstrukcijski člen med ohišjem tračnega brusilnika in napenjalno roko. Nosilec je pritrjen neposredno na ohišje in služi kot nosilna osnova za pritrditev ter vodenje napenjalne roke.



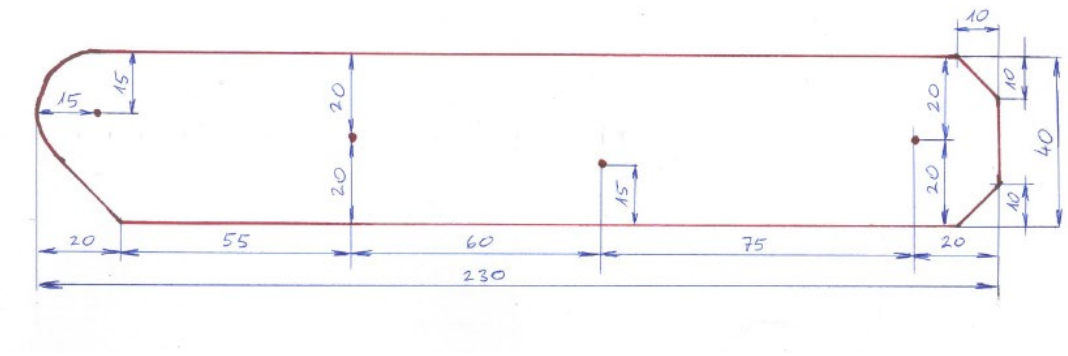
Slika B 7: *Nosilec napenjalne roke*
(Lastni vir)

6. Napenjalna roka

Skica prikazuje napenjalno roko, ki predstavlja osrednji element napenjalnega mehanizma tračnega brusilnika. Na napenjalno roko je pritrjen mehanizem za nastavitev nagiba sledilnega (tracking) kolesa, s katerim se določa položaj brusnega traku med delovanjem naprave.

Na napenjalno roko je pritrjen tudi zgornji nosilec vzmeti, v katerega je vpeta napenjalna vzmet. Sila vzmeti se preko napenjalne roke prenaša na sledilno kolo, to pa naprej na brusni trak, kar omogoča ustrezno napetost brusnega traku.

Takšna konstrukcijska rešitev omogoča hkratno zagotavljanje napetosti brusnega traku ter natančno nastavitev njegovega sledenja.

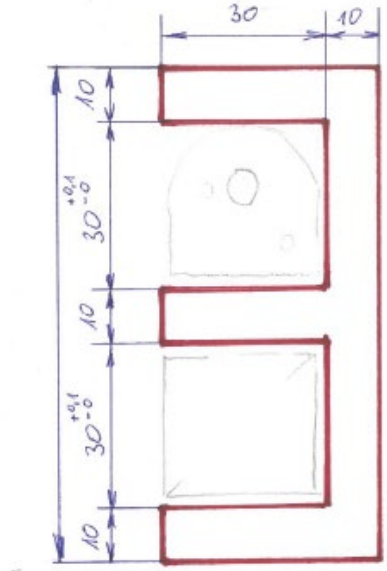


Slika B 8: *Napenjalna roka*
(Lastni vir)

7. Centrirne vilice in distančnik

V notranjosti ohišja sta nameščeni dve palici iz svetlovlečenega jekla preseka 30 × 30 mm. Na strani obdelovalne mize ter nosilca valjčkov in podporne plošče so med palici vstavljene centrirne vilice, ki zmanjšujejo njun poves in povečujejo togost celotnega sklopa.

Na zgornjo kvadratno palico je dodatno nameščen nastavljiv distančnik, ki se naslanja na ohišje tračnega brusilnika in preprečuje njen premik v notranjost ohišja zaradi sil, ki nastajajo na brusnem traku med obratovanjem naprave. Takšna rešitev prispeva k večji stabilnosti in natančnosti delovanja celotnega sistema.



Slika B 9: *Centrirne vilice*
(Vir: lasten)

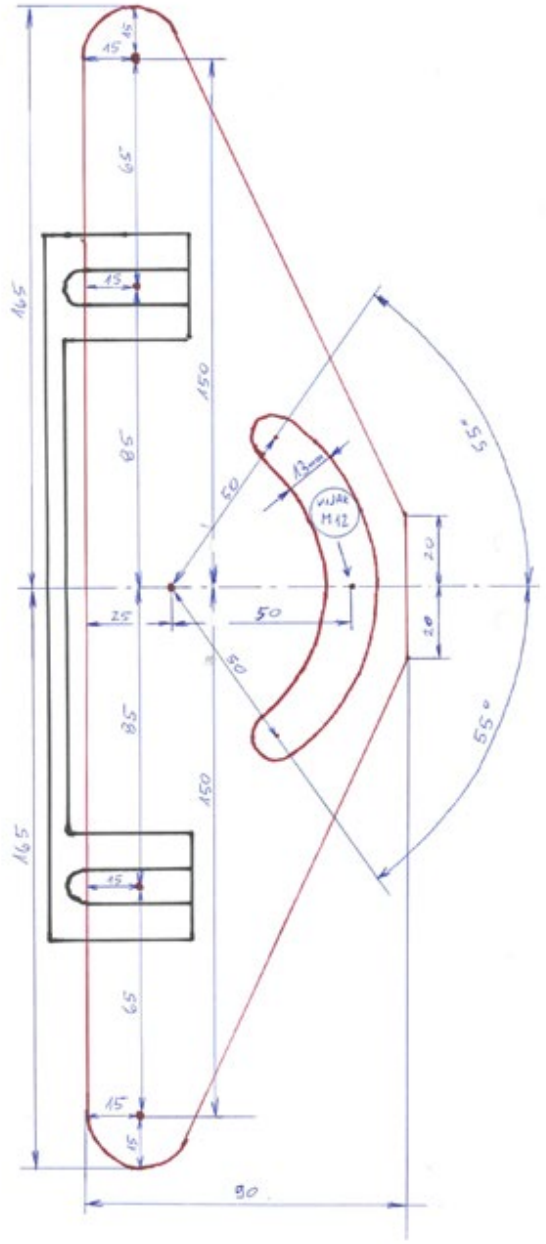


Slika B 10: *Distančnik*
(Vir: lasten)

8. Nosilec valjčkov in podporne plošče

Skica prikazuje nosilec valjčkov in podporne plošče, ki predstavlja konstrukcijski sklop za vodenje brusnega traku v območju brušenja. Na nosilec sta pritrjena zgornje in spodnje vodilno kolo (valjčka), ki zagotavljata pravilno vodenje in stabilen tek brusnega traku.

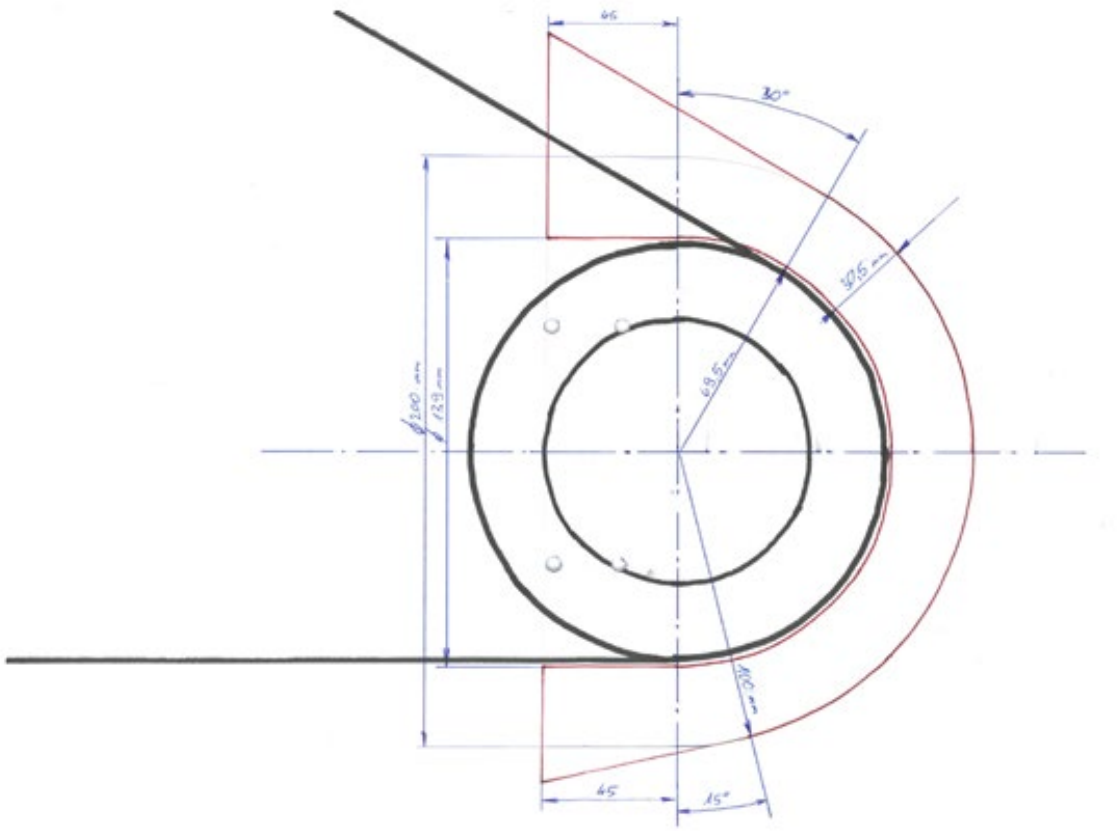
Na nosilec je pritrjena tudi podporna plošča, po kateri teče brusni trak in ki omogoča stabilno oporo obdelovancu med brušenjem. Konstrukcija nosilca omogoča nastavitev naklona celotnega sklopa v območju približno ±55°, kar omogoča prilagoditev delovnega položaja glede na vrsto in smer obdelave.



Slika B 11: *Nosilec valjev in podporne plošče*
(Lastni vir)

9. Zaščita pogonske jermenice

Skica prikazuje zaščito pogonske jermenice, ki pokriva pogonsko kolo tračnega brusilnika. Ohišje je namenjeno zaščiti pogonskega sklopa ter preprečevanju vdora brusnega prahu in opilkov do tesnila na osi elektromotorja.
Hkrati zaščita deluje tudi kot lovilec isker in delcev materiala, ki nastajajo med brušenjem, s čimer se izboljša varnost pri delu ter zmanjša razprševanje isker in prahu v okolico naprave.

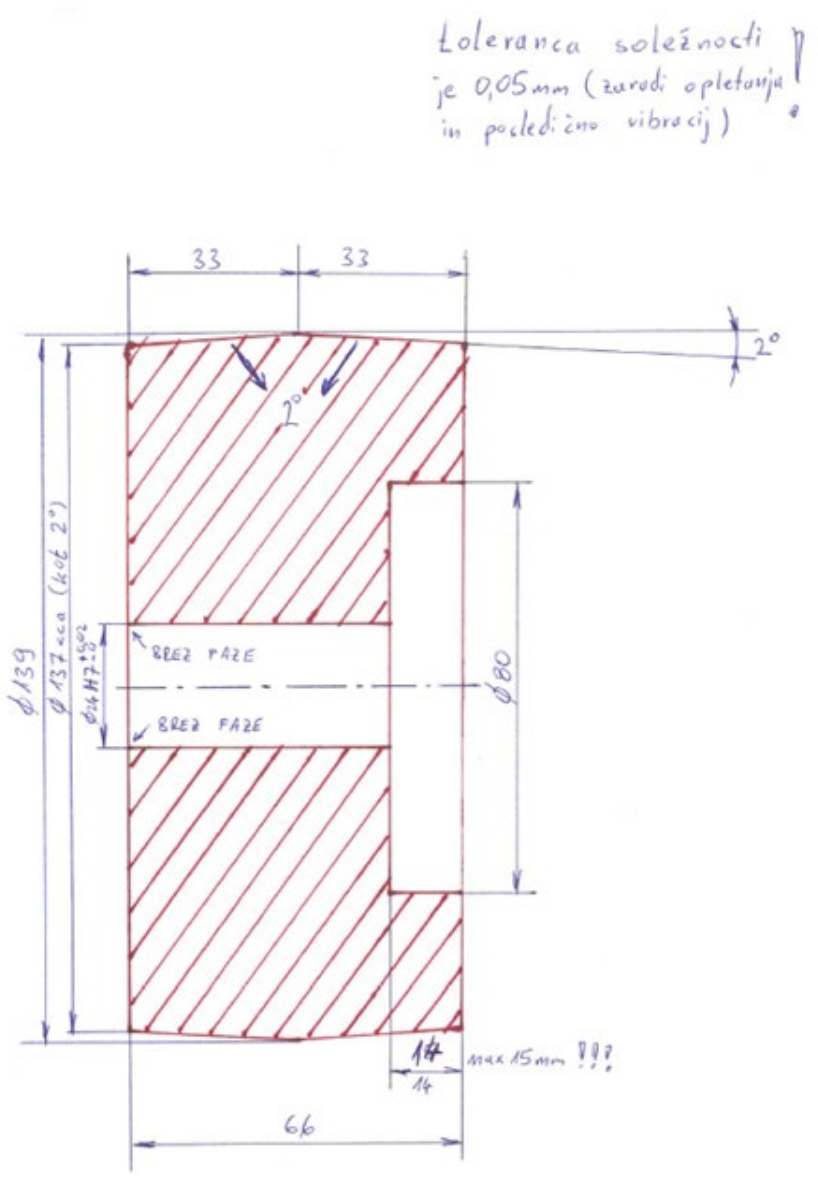


Slika B 12: *Zaščita pogonske jermenice*
(Lastni vir)

10. Pogonsko kolo

Skica prikazuje konstrukcijsko zasnovo pogonskega kolesa tračnega brusilnika. V prvotni izvedbi je bil obod pogonskega kolesa oblikovan s konusnim nagibom približno 2° od sredine proti robovoma, kar je omogočalo pasivno samocentriranje brusnega traku med obratovanjem.

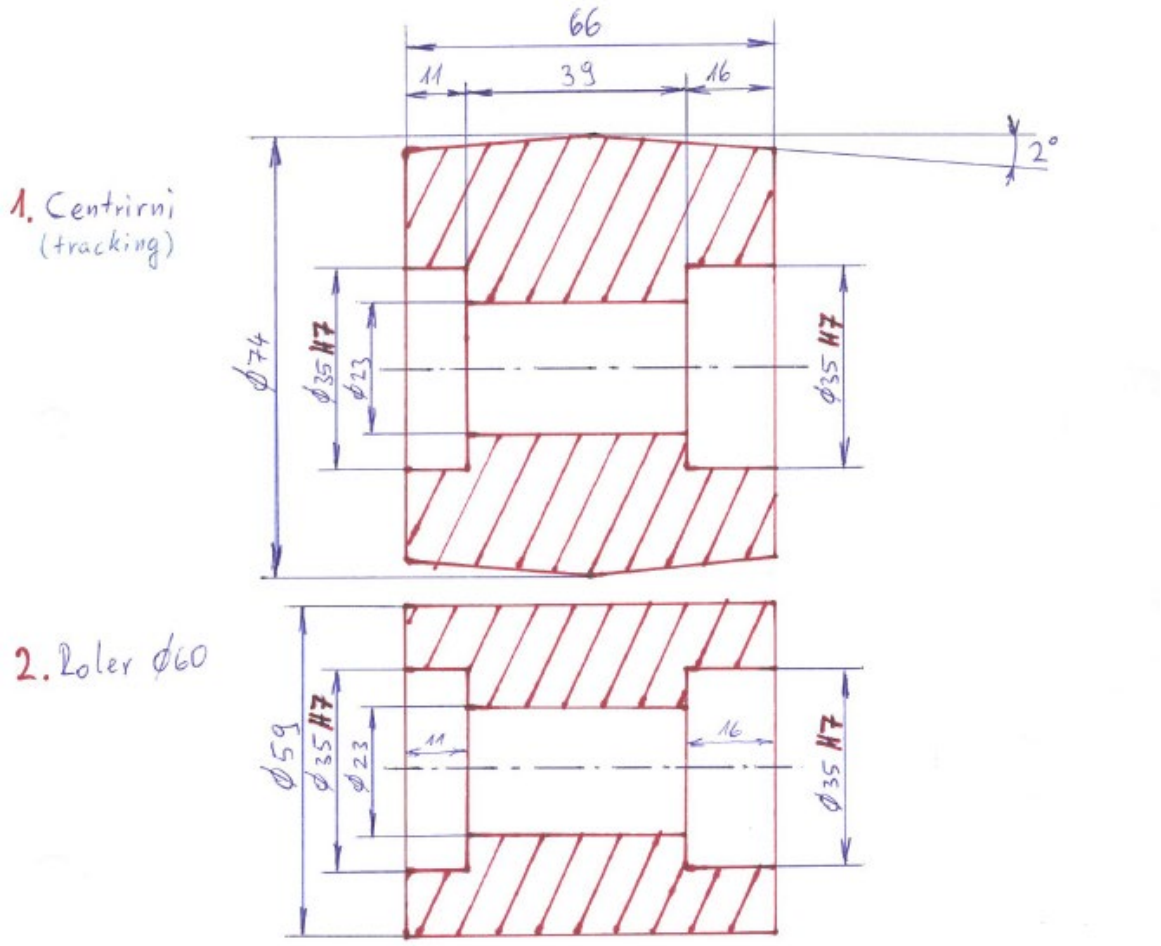
V nadaljevanju razvoja je bila preizkušena tudi izvedba z radialno oblikovanim obodom, vendar se je ta rešitev izkazala kot manj ustrezna z vidika stabilnosti in centriranja brusnega traku.



Slika B 13: *Pogonsko kolo*
(Lastni vir)

11. Sledilno kolo (tracking wheel) in vodilno kolo (roller)

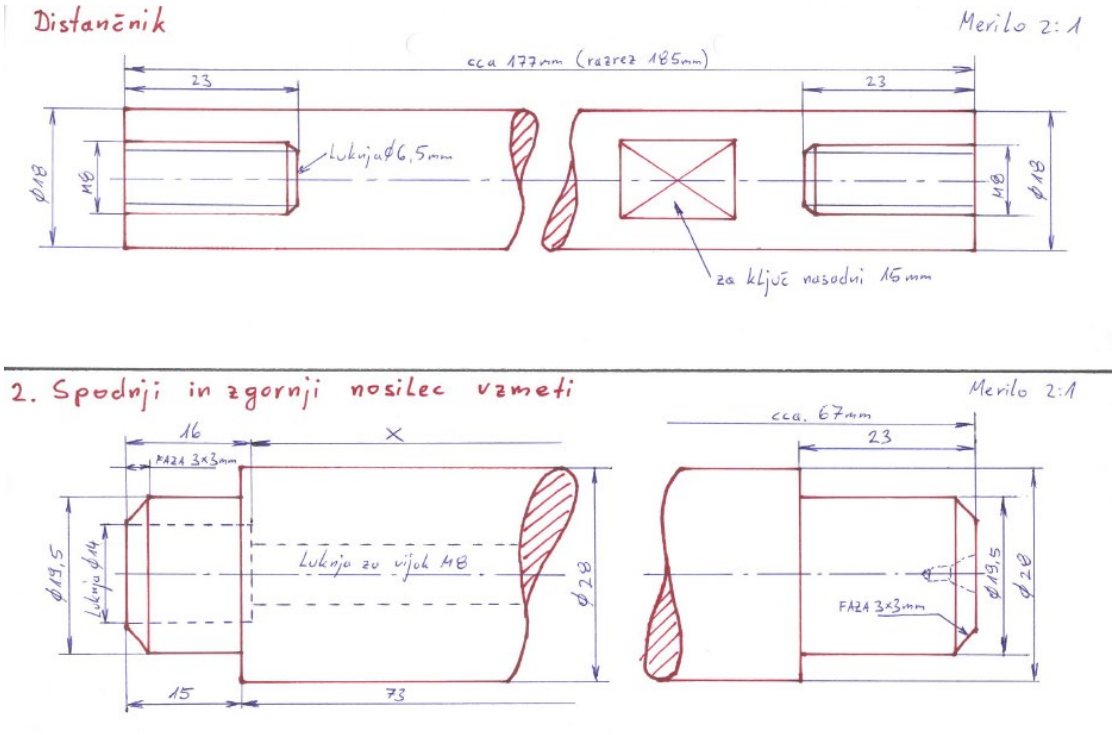
Skica prikazuje začetni konstrukcijski koncept sledilnega (tracking) kolesa, pri katerem je bil obod oblikovan s konusnim nagibom približno 2° od sredine proti robovoma. Takšna izvedba je bila uporabljena v začetni fazi razvoja prototipa.
V nadaljevanju razvoja je bila ta rešitev nadomeščena z radialno oblikovanim obodom z radijem R = 350 mm, ki se je v praktičnih preizkusih izkazal kot ustreznejša z vidika odzivnosti sledilnega kolesa pri nastavitvi sledenja brusnega traku. Radialna oblika omogoča bolj natančno in predvidljivo nastavitev položaja brusnega traku ter prispeva k stabilnejšemu teku sistema.
Na skici je hkrati prikazano tudi vodilno kolo (roller), ki je del sklopa za vodenje brusnega traku in zagotavlja njegovo pravilno usmerjanje na območju brušenja ter stabilen prehod traku med posameznimi funkcionalnimi sklopi.



Slika B 14: *Sledilno in vodilno kolo*
(Lastni vir)

12. Distančnik in nosilec vzmeti

Skica prikazuje distančnik ter zgornji in spodnji nosilec vzmeti kot del napenjalnega mehanizma tračnega brusilnika. Distančnik predstavlja povezavo med levim in desnim stranskim delom podnožja nosilca ter prispeva k povečanju togosti in stabilnosti spodnjega konstrukcijskega sklopa.
Zgornji nosilec vzmeti je pritrjen na napenjalno roko, spodnji nosilec vzmeti pa je pritrjen na zgornji del ohišja tračnega brusilnika. Med oba nosilca je vpeta napenjalna vzmet, ki zagotavlja potrebno silo za napenjanje brusnega traku.



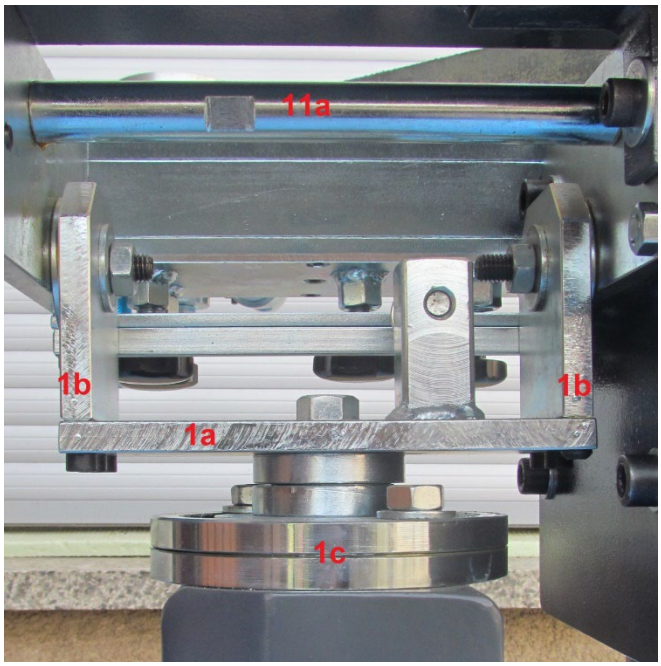
Slika B 15: *Distančnik in nosilec vzmeti*
(Lastni vir)

13. Vizualni prikaz posameznih konstrukcijskih sklopov iz tabele 3

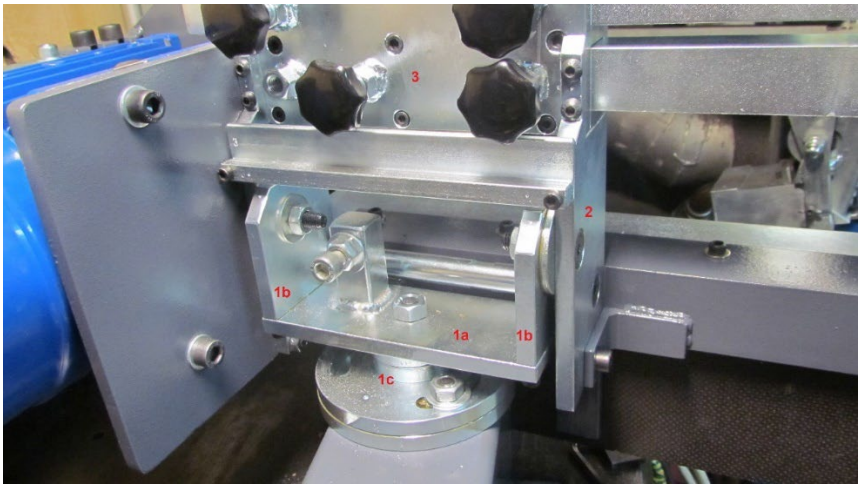
Vizualni prikaz posameznih konstrukcijskih sklopov iz tabele 3 dopolnjuje opis tehničnih rešitev, predstavljenih v glavnem delu diplomskega dela. Prikazane slike omogočajo pregled prostorske razporeditve in medsebojne povezave posameznih sklopov tračnega brusilnika ter prispevajo k boljšemu razumevanju celotne zasnove naprave.
Vizualni prikazi služijo kot dopolnilo tabelaričnemu pregledu sklopov in omogočajo lažjo orientacijo med posameznimi konstrukcijskimi elementi naprave.
Zaradi lažje orientacije pri slikovnem gradivu je v prilogi ponovno podana tabela 3 s pregledom posameznih konstrukcijskih sklopov.

POZICIJA DELA NA SLIKI	IME SKLOPA
1	Podnožje nosilca (Osnovna plošča 1 a, Levi in desni stranski del pri podnožju nosilca 1 b, Vrtljiva baza 1 c)
2	Levi in desni nosilec ohišja
3	Ohišje tračnega brusilnika
4	Nosilec napenjalne roke
5	Napenjalna roka
6	Centrirne vilice 6 a in distančnik 6 b
7	Nosilec valjčkov in podporne plošče
8	Zaščita pogonske jermenice
9	Pogonsko kolo
10	Sledilno kolo 10 a (tracking wheel) in vodilno kolo 10 b (roller)
11	Distančnik 11 a in nosilec vzmeti 11 b

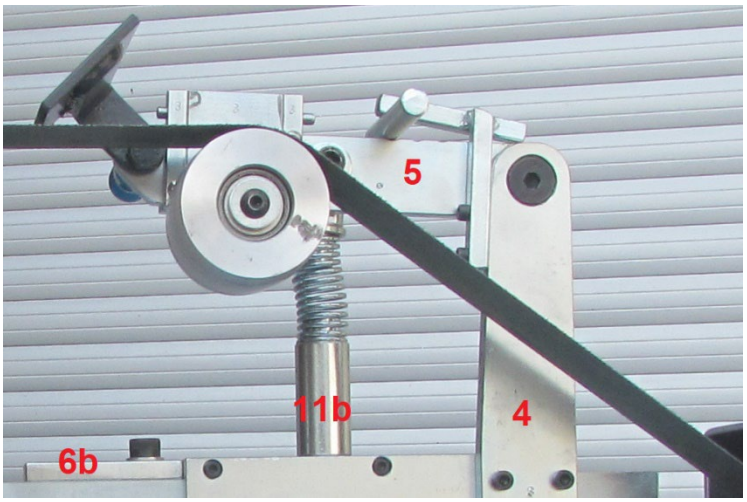
Tabela 3: *Tabela sklopov predstavljenih v diplomi v Poglavju 6*
(Lastni vir)



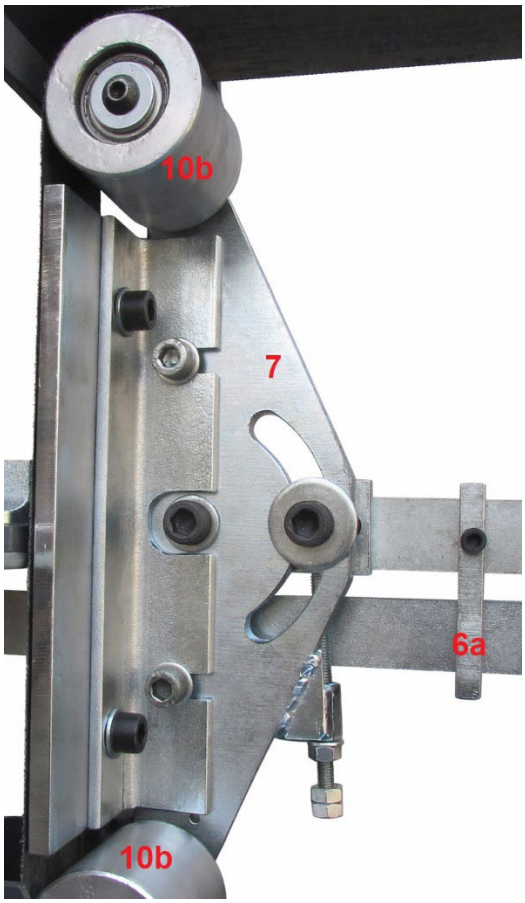
Slika B 16: *Prikaz sklopov iz tabele 3*
(Lastni vir)



Slika B 17: *Prikaz sklopov iz tabele 3*
(Lastni vir)



Slika B 18: *Prikaz sklopov iz tabele 3*
(Lastni vir)



Slika B 19: *Prikaz sklopov iz tabele 3*
(Lastni vir)

B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

PRILOGA 3

Navodila za uporabo

KAZALO VSEBINE:

1. Namen priloge **..... 1**

2. Električni priklop **..... 1**

3. Možnost uporabe frekvenčnega regulatorja **..... 2**

4. Varnost pri uporabi **..... 2**

5. Splošne varnostne smernice **..... 3**

6. Osna poravnava pogonskega kolesa, sledilnega kolesa in vodilnih koles **..... 4**

6.1. Namestitev kovinskega kotnika na pogonsko kolo 4

6.2. Preverjanje pritrdilnih vijakov ohišja 5

6.3. Nastavitev vzporednosti pogonskega kolesa glede na ohišje 5

6.4. Preverjanje in nastavitev vzporednosti vseh koles 7

6.5. Nastavitev sledilnega kolesa (tracking wheel) 7

6.6. Preverjanje poravnave z nameščenim brusnim trakom 8

6.7. Fina nastavitev ohišja sledilnega kolesa (tracking wheel) **..... 8**

6.8. Preverjanje delovanja in fina nastavitev sledenja brusnega traku 10

7. Menjava brusnega traku **.....12**

8. Razbremenitev brusnega traku med daljšim mirovanjem stroja **.....13**

9. Zaključek **.....14**

10. Viri **.....15**

KAZALO SLIK:

Slika C 1: *Kovinski kotnik na pogonskem kolesu* 4
Slika C 2: *Prikaz pritrdilnih vijakov* 5
Slika C 3: *Merilne točke, kjer merimo razdaljo med ohišjem in kotnikom*..... 6
Slika C 4: *Prikaz možnih nastavitev na strani elektromotorja in pogonskega kolesa* 6
Slika C 5: *Prikaz merilnih točk, ki nam služijo za nastavitev vzporednosti vseh koles* 7
Slika C 6: *Prikaz merilnih točk na sledilnem kolesu* 8
Slika C 7: *Prikaz možnih odstopanj v sledenju brusnega traku* 9
Slika C 8: *Prikaz principa nastavitve sledilnega mehanizma*.....10
Slika C 9: *Prikaz podlaganja podložk na poziciji 1* 10
Slika C 10: *Prikaz mehanizma in vijaka za fino nastavitev*.....11
Slika C 11: *Realen prikaz vijaka za fino nastavitev* 11
Slika C 12: *Prikaz komponent pomembnih pri menjavi brusnega traku*.....12
Slika C 13: *Prikaz podloge za razbremenitev brusnega traku* 13
Slika C 14: *Prikaz smeri vrtenja brusnega traku*.....14
Slika C 15: *Prva skrajna pozicija nosilca valjev in podporne plošče*.....15
Slika C 16: *Druga skrajna pozicija nosilca valjev in podporne plošče*.....15

1. Namen priloge

Namen te priloge je podati osnovna navodila za varno priključitev, uporabo in obratovanje tračnega brusilnika. Priloga dopolnjuje opis konstrukcije in izdelave naprave ter služi kot praktični priročnik za uporabnika. Navodila vključujejo zahteve glede električnega priklopa, možnosti uporabe frekvenčnega regulatorja, varnostne zahteve ter osnovne smernice za varno in učinkovito uporabo naprave.
Tračni brusilnik je prototipna naprava, zato je njegova uporaba predvidena v delavniškem okolju, ob upoštevanju splošnih načel varne uporabe strojev in ustrezne osebne varovalne opreme.

2. Električni priklop

Tračni brusilnik je opremljen z asinhronskim elektromotorjem nazivne moči 2,2 kW. Naprava je dobavljena brez vgrajenega električnega stikala, zaščitnih elementov in priključnega kabla. **Nepravilno izveden električni priklop lahko povzroči poškodbe opreme ali nevarnost za uporabnika, zato mora električni priklop izvesti usposobljen električar.**

Električni priklop mora biti izveden v skladu z veljavnimi elektrotehničnimi standardi ter mora vključevati:

- glavno stikalo za vklop in izklop naprave
- gumb za hitri izklop (t. i. »emergency stop«), ki mora biti nameščen na lahko dostopnem mestu za uporabnika
- ustrezno zaščito pred preobremenitvijo in kratkim stikom

Konfiguracija električnega priklopa je lahko prilagojena glede na potrebe uporabnika in delovno okolje, vendar mora vedno zagotavljati varno in zanesljivo obratovanje naprave.

Možna je tudi uporaba nožnega stikala, ki omogoča vklop naprave samo v času pritiska na stikalo. Takšna rešitev izboljša ergonomijo in varnost pri delu, saj omogoča takojšnjo zaustavitev naprave brez uporabe rok.

3. Možnost uporabe frekvenčnega regulatorja

Tračni brusilnik omogoča tudi priklop preko frekvenčnega regulatorja (VFD), ki omogoča nastavitev hitrosti elektromotorja in s tem linearne hitrosti brusnega traku.

Pri izbiri frekvenčnega regulatorja je treba upoštevati naslednje zahteve:

- regulator mora biti dimenzioniran za motor nazivne moči najmanj 2,2 kW
- omogočati mora nastavitev dopustne preobremenitve (overload capacity)
- omogočati mora nastavitev dopustnega časa trajanja preobremenitve

Med praktičnim testiranjem je bilo ugotovljeno, da elektromotor pri večjih obremenitvah, na primer pri večjem pritisku obdelovanca na brusni trak, kratkotrajno preseže nazivni tok. To je normalen pojav, ki je posledica povečane mehanske obremenitve.

Frekvenčni regulator, ki nima ustrezno nastavljene dopustne preobremenitve, lahko v takem primeru zazna tokovno preobremenitev in iz varnostnih razlogov izklopi motor.

Zaradi omejitev razpoložljive opreme in dodatnih stroškov frekvenčni regulator ni bil vključen v končno izvedbo prototipa, vendar konstrukcija omogoča njegovo kasnejšo vgradnjo.

V osnovni konfiguraciji je zato predviden neposreden priklop preko ustreznega stikala z gumbom za hitri izklop.

4. Varnost pri uporabi

Uporaba tračnega brusilnika mora biti skladna s splošnimi načeli varne uporabe strojev, kot jih opredeljuje Direktiva o strojih 2006/42/ES (European Parliament and Council, 2006/42/EC) in standard ISO 12100, ki določata osnovna načela varne zasnove in uporabe strojev. Pri pripravi navodil so bila upoštevana splošna načela varne zasnove strojev (ISO, 2010; European Parliament and Council, 2006/42/EC).
Pri uporabi tračnega brusilnika je obvezna uporaba osebne varovalne opreme, zlasti:

- zaščitna očala ali zaščitni vizir za zaščito oči pred iskrami in delci
- zaščitne rokavice za zaščito rok pred mehanskimi poškodbami in toploto
- primerna delovna obleka brez ohlapnih delov, ki bi se lahko ujeli v gibajoče dele stroja

Uporaba zaščite sluha (ušesni čepi ali glušniki) pri normalnem obratovanju ni obvezna, saj je bila izmerjena raven hrupa pri prostem teku in zmerni obremenitvi pod 85 dB (A), kar je pod mejo, pri kateri je zaščita sluha obvezna (European Parliament and Council, 2003).
Kljub temu se uporaba zaščite sluha priporoča pri dolgotrajnem delu.

5. Splošne varnostne smernice

Pri uporabi tračnega brusilnika je treba upoštevati naslednje varnostne ukrepe:

- pred uporabo preveriti pravilno napetost in poravnavo brusnega traku
- ne uporabljati poškodovanega ali obrabljenega brusnega traku
- med obratovanjem se ne dotikati gibajočih delov stroja
- obdelovanec držati stabilno in ga ne pritiskati prekomerno
- pred kakršnimkoli posegom ali menjavo brusnega traku izklopiti napravo iz električnega omrežja
- zagotoviti čisto in urejeno delovno okolje
- preprečiti dostop nepooblaščenim osebam

Uporabnik mora pred uporabo preveriti tehnično brezhibnost naprave, da je brusni trak ustrezno napet in da so vsi vijaki zategnjeni.

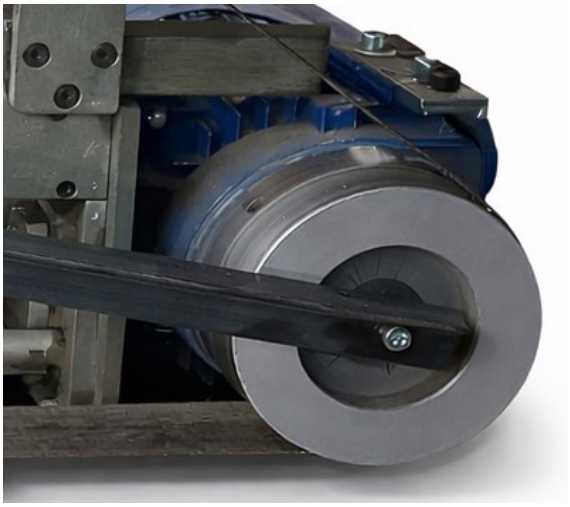
6. Osna poravnava pogonskega kolesa, sledilnega kolesa in vodilnih koles

Osna poravnava pogonskega kolesa, sledilnega kolesa in dveh vodilnih koles mora biti v isti ravnini, saj v nasprotnem primeru brusni trak ne teče stabilno in lahko pride do njegovega zdrsa ali odmika z valjev.

Postopek nastavitve je opisan v naslednjih korakih:

6.1. Namestitev kovinskega kotnika na pogonsko kolo

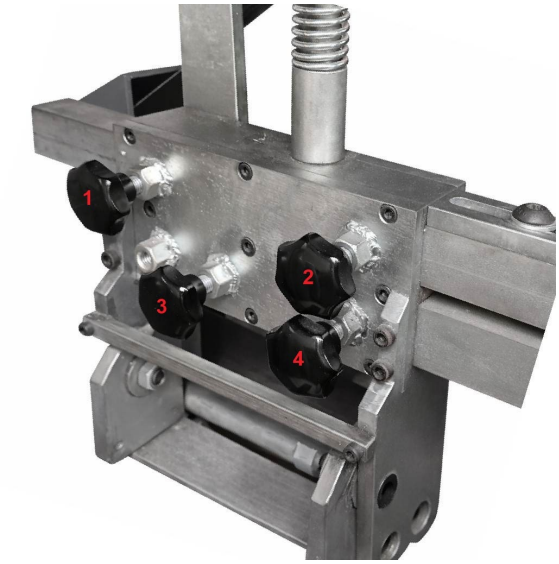
Na pogonsko kolo privijačimo kovinski kotnik dimenzij 25 × 25 mm ali 30 × 30 mm (**Slika C 1**). Vijak zategnemo zmerno – ne premočno – da ne deformiramo kotnika in ne spremenimo lege pogonskega kolesa glede na os motorja. Nastavitev izvedemo brez nameščenega brusnega traku.



Slika C 1: *Kovinski kotnik na pogonskem kolesu*
(Lastni vir)

6.2. Preverjanje pritrdilnih vijakov ohišja

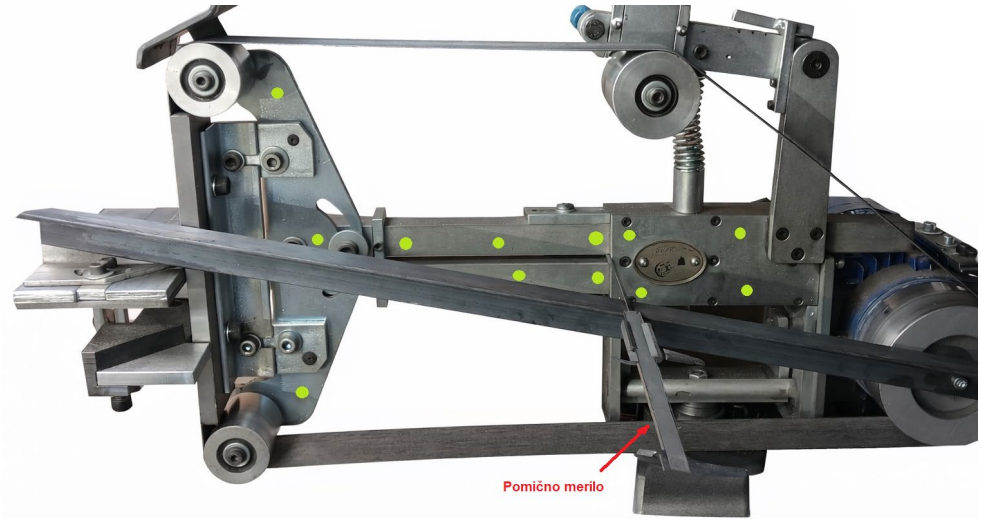
Preverimo, da so vsi pritrdilni vijaki na ohišju (**Slika C 2**) ustrezno zategnjeni, saj nezategnjeni vijaki bistveno vplivajo na točnost meritev. Pri nezategnjenih vijakih lahko odstopanje na koncu ročice znaša tudi več kot **1 mm**.



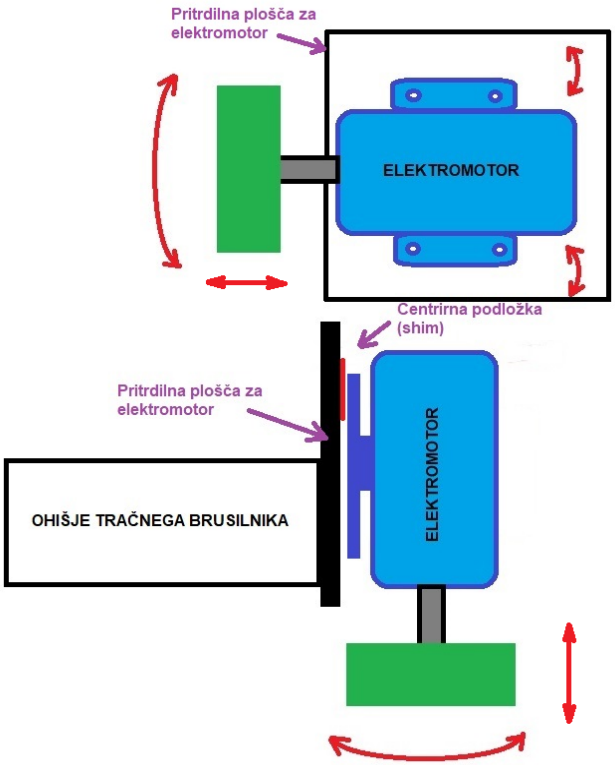
Slika C 2: *Prikaz pritrdilnih vijakov*
(Lastni vir)

6.3. Nastavitev vzporednosti pogonskega kolesa glede na ohišje

Meritve in nastavitve se izvajajo brez nameščenega brusnega traku. Izmerimo razdaljo med kotnikom in ohišjem na različnih merilnih mestih, kot prikazujejo zelene pike (**Slika C 3**), in na podlagi meritev nastavimo vzporednost pogonskega kolesa glede na ohišje. Nastavitev izvedemo z aksialnim premikom pogonskega kolesa po osovini motorja, z nagibom motorja ter s podlaganjem nastavitvenih podložk (shimov) pod nosilec motorja (**Slika C 4**). Priporočena končna vzporednost je znotraj **0,5 mm**.



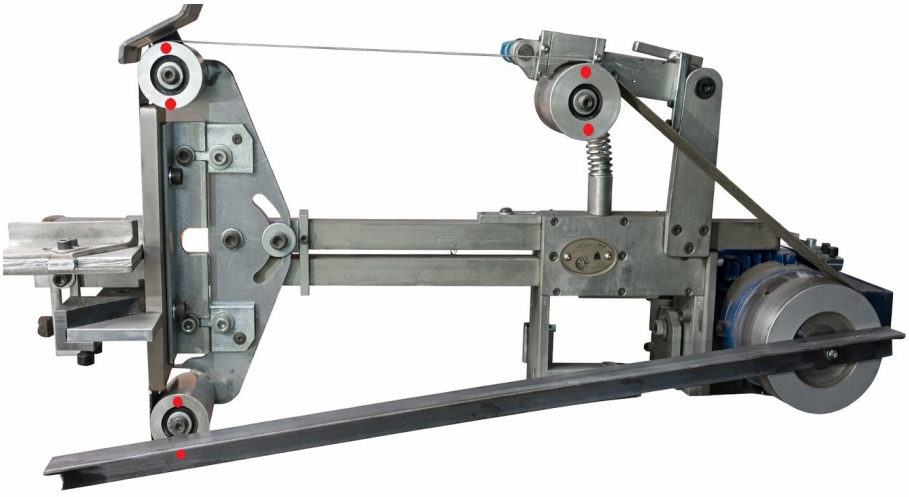
Slika C 3: *Merilne točke kjer merimo razdaljo med ohišjem in kotnikom*
(Lastni vir)



Slika C 4: *Prikaz možnih nastavitev na strani elektromotorja in pogonskega kolesa*
(Lastni vir)

6.4. Preverjanje in nastavitev vzporednosti vseh koles

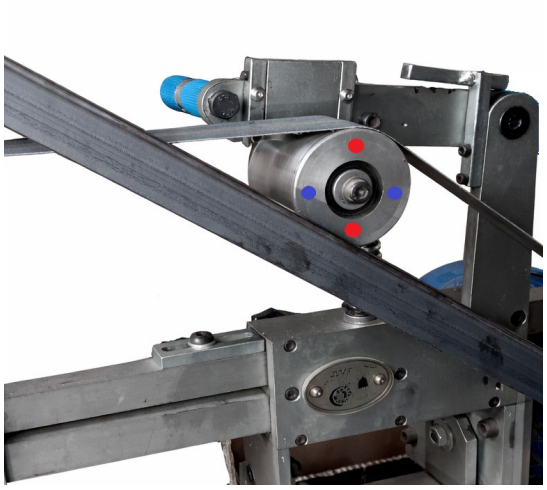
Nato preverimo vzporednost vseh koles na označenih merilnih mestih (**Slika C 5**). Nastavitev izvedemo z aksialnim premikom pogonskega kolesa po osovini motorja (**Slika C 4**). Če je pogonsko kolo pomaknjeno preveč navzven, lahko položaj delno popravimo z dodatnim grezenjem izvrtine na zadnji strani pogonskega kolesa. Če je pogonsko kolo pomaknjeno preveč navznoter proti elektromotorju, ga premaknemo navzven po osovini tako, da popustimo oziroma zategnemo pritrdilni vijak zagozde na osovini elektromotorja, po potrebi pa ga na zadnji strani podložimo z nastavitvenimi podložkami (shimi) premera **Ø 24 mm**.
Poravnavo lahko dodatno korigiramo tudi na ostalih treh kolesih z uporabo nastavitvenih podložk na osi **Ø 15 mm** ali pod nosilcem osi (**Ø 8 mm** ali **Ø 10 mm**). Pri tem so dopustna odstopanja v območju nekaj desetink milimetra.
Posebno pozornost namenimo temu, da so vsi pritrdilni vijaki, ki določajo položaj roke, med meritvami ustrezno zategnjeni, v nasprotnem primeru meritve ne bodo točne.



Slika C 5: *Prikaz merilnih točk, ki nam služijo za nastavitev vzporednosti vseh koles*
(Lastni vir)

6.5. Nastavitev sledilnega kolesa (tracking wheel)

Sledilno kolo nastavimo vzporedno z linijo pogonskega kolesa (**Slika C 6**). Da sta obe rdeči točki v liniji s pogonskim kolesom dosežemo z nastavitvijo vijaka za fino nastavitev (**Slika C 10** in **Slika C 11**). Sledilno kolo lahko pomaknemo navzven tako, da podlagamo nastavitvene podložke Ø 15 mm.
Nato preverimo še vzporednost s pogonskim kolesom na pozicijah, ki jih prikazujeta modri točki (**Slika C 6**). Odstopanja korigiramo s podlaganjem nastavitvenih podložk (shimov) debeline 0,1mm ali 0,15mm na pozicijo 1 ali na pozicijo 2, dokler ne dosežemo zahtevane vzporednosti (**Slika C 8** in **Slika C 9**). Postopek je podrobneje opisan v **poglavju 6.7.**.



Slika C 6: *Prikaz merilnih točk na sledilnem kolesu*
(Lastni vir)

6.6. Preverjanje poravnave z nameščenim brusnim trakom

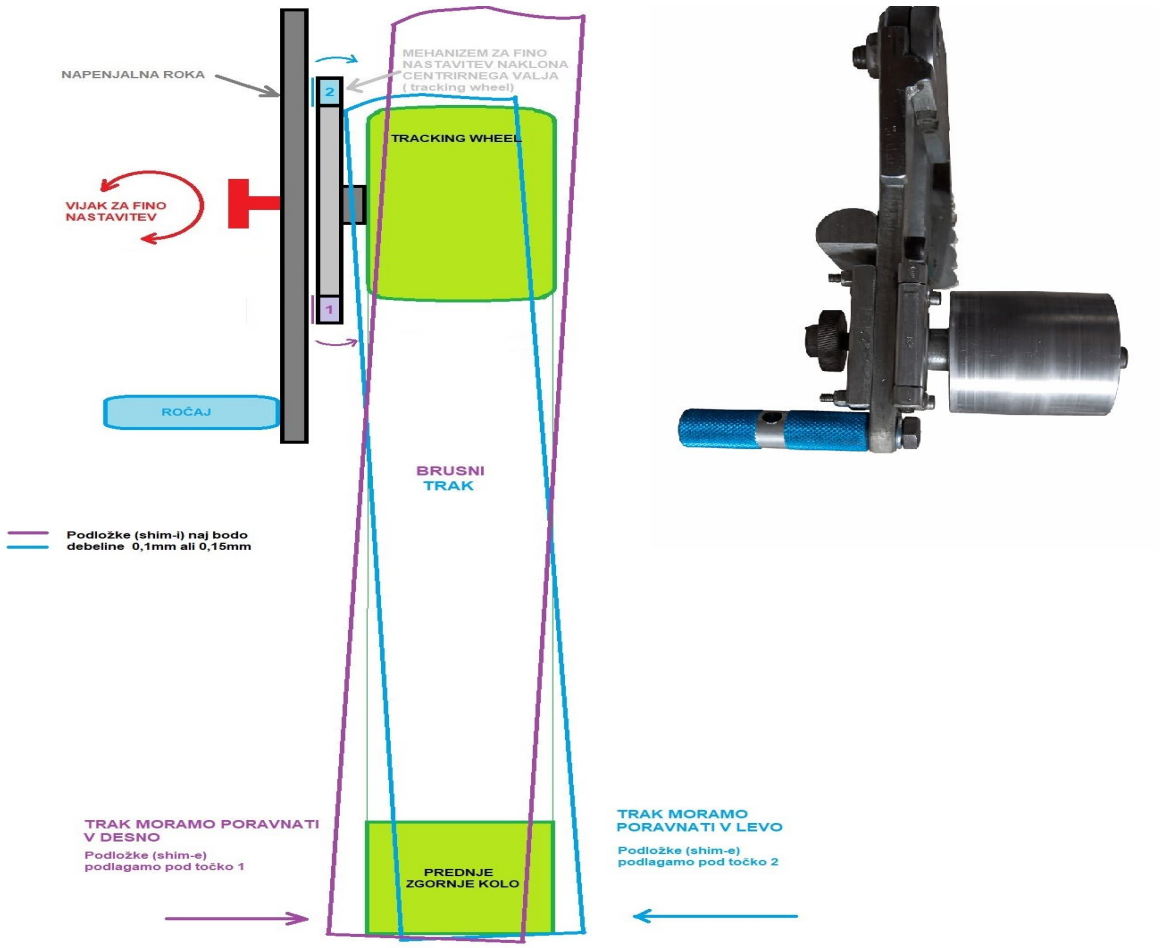
Nato namestimo brusni trak in ga ustrezno napnemo. Ob ponovnem preverjanju poravnave na vseh kolesih lahko opazimo odstopanje za nekaj desetink milimetra glede na predhodne meritve brez traku. To je normalno in je posledica omejene togosti konstrukcije, saj napet brusni trak preko vseh štirih koles ustvarja sile, ki povzročijo manjše elastične deformacije in medsebojno obremenitev koles. Takšno odstopanje ne predstavlja težave.
Ni pa sprejemljivo, če odstopanje znaša **1 mm ali več**. V tem primeru preverimo, ali so vsi pritrdilni vijaki ustrezno zategnjeni in ali so vsi elementi pravilno nameščeni.
Brusni trak nato ročno zavrtimo in opazujemo njegov tek na prednjem zgornjem in spodnjem vodilnem kolesu (**Slika C 7**). Pri tem ne opazujemo sledilnega kolesa (tracking wheel). Če trak ne teče poravnano in ga vleče proti levi ali desni strani kolesa, je treba izvesti fino nastavitev sledilnega kolesa. Nastavitev izvedemo z nastavitvijo ohišja sledilnega kolesa glede na napenjalno roko, kot je podrobneje opisano v poglavju 6.7. in prikazano na **Sliki C 8** in **Sliki C 9**. Postopek ponavljamo, dokler ne dosežemo vzporednosti z ohišjem stroja in stabilnega teka brusnega traku.

6.7. Fina nastavitev ohišja sledilnega kolesa (tracking wheel)

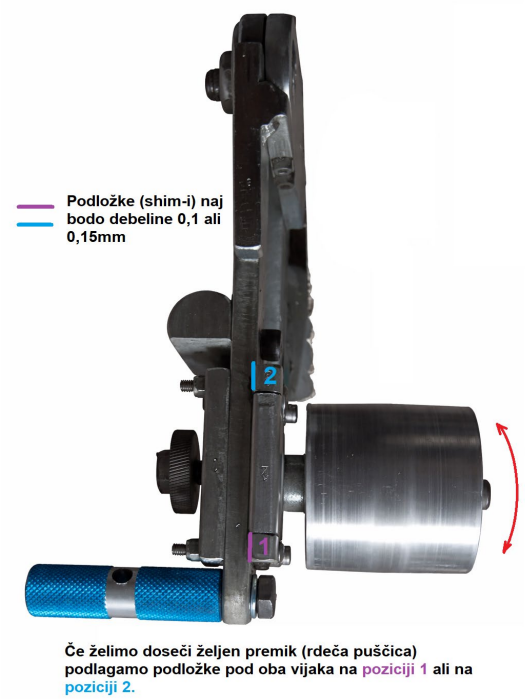
Ohišje sledilnega kolesa nastavimo tako, da je vzporedno z ohišjem stroja. Nastavitev izvedemo s podlaganjem nastavitvenih podložk (shimov) debeline **0,10 mm** ali **0,15 mm** med ohišje sledilnega kolesa in napenjalno roko, na levi ali desni strani pritrdilnih vijakov (**Slika C 8** in **Slika C 9**). Možna odstopanja v sledenju brusnega traku (tracking) ter način popravkov so prikazani na **Sliki C 7**.
Pred začetkom podlaganja je treba sledilno kolo odstraniti. Pred demontažo izmerimo referenčno razdaljo, ki jo prikazuje modra puščica na **Sliki C 9**, da lahko po nastavitvi ponovno vzpostavimo enak osnovni položaj in naklon sledilnega kolesa ter s tem dosežemo vedno isto

izhodišče. Podložka debeline **0,15 mm** povzroči premik brusnega traku na prednjem zgornjem vodilnem kolesu za približno **1 mm**, kar služi kot orientacija pri nastavitvi.

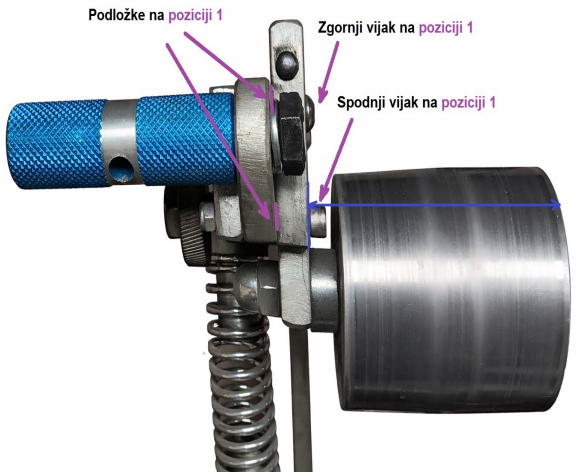
Po zaključeni nastavitvi in pred ponovnim zagonom stroja brusni trak najprej ročno zavrtimo ter preverimo, da teče stabilno in pravilno poravnano po vseh kolesih.



Slika C 7: *Prikaz možnih odstopanj v sledenju brusnega traku*
(Lastni vir)



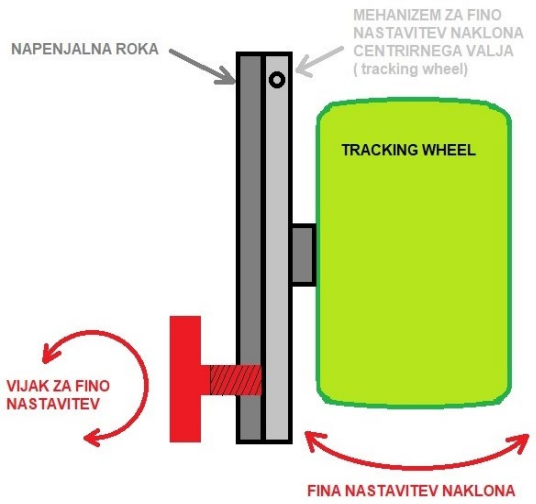
Slika C 8: *Prikaz principa nastavitve sledilnega mehanizma*
(Vir: lasten)



Slika C 9: *Prikaz podlaganja podložk na poziciji 1*
(Vir: lasten)

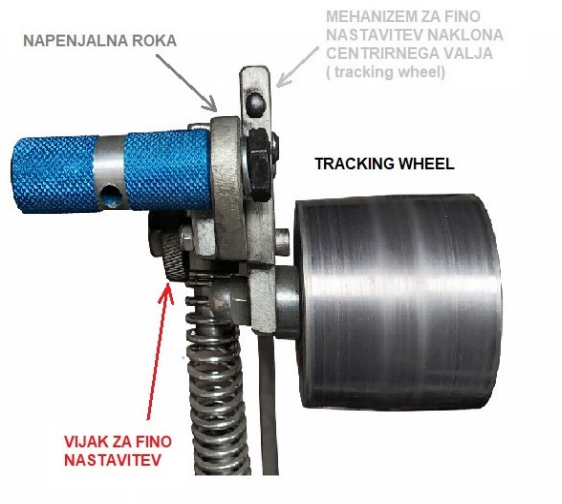
6.8. Preverjanje delovanja in fina nastavitev sledenja brusnega traku

Zaženemo stroj in preverimo tek brusnega traku. Med delovanjem nastavimo sledilno kolo tako, da brusni trak teče po sredini sledilnega kolesa (tracking wheel). Če so bile vse predhodne nastavitve pravilno izvedene, mora brusni trak hkrati teči tudi po sredini prednjih dveh vodilnih koles.
V tej fazi se sledljivost brusnega traku nastavlja izključno z gumbom za fino nastavitev naklona sledilnega kolesa, kot je prikazano na **Sliki C 9** in **Sliki C 10**. Nastavitev izvajamo postopoma, dokler brusni trak ne doseže želene pozicije. Glede na potrebe brušenja lahko trak nastavimo tako, da teče po sredini, skrajno levo ali skrajno desno na sledilnem in vodilnih kolesih. Trak mora pri tem teči stabilno, brez uhajanja ali nestabilnega gibanja.



Slika C 10: *Prikaz mehanizma in vijaka za fino nastavitev*

(Vir: lasten)

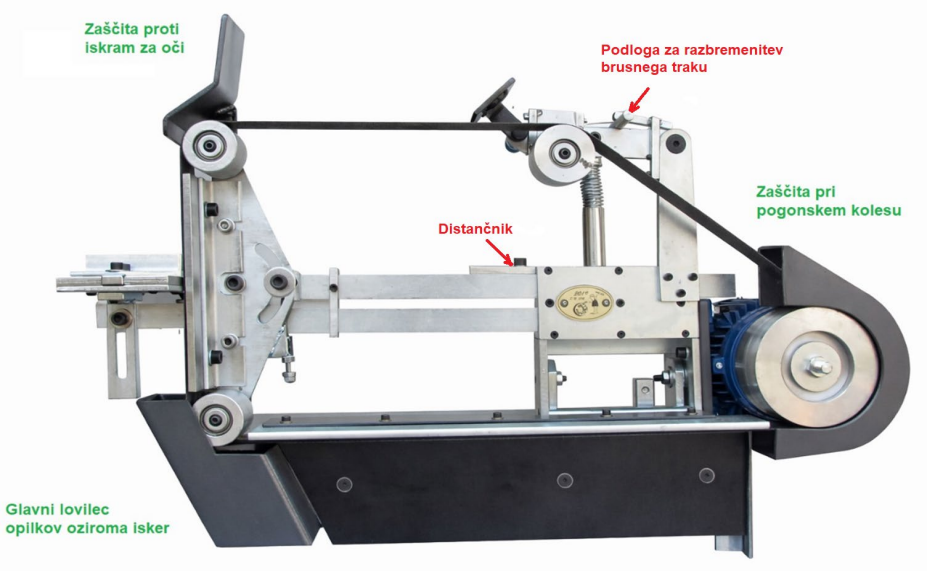


Slika C 11: *Realen prikaz vijaka za fino nastavitev*

(Vir: lasten)

7. Menjava brusnega traku

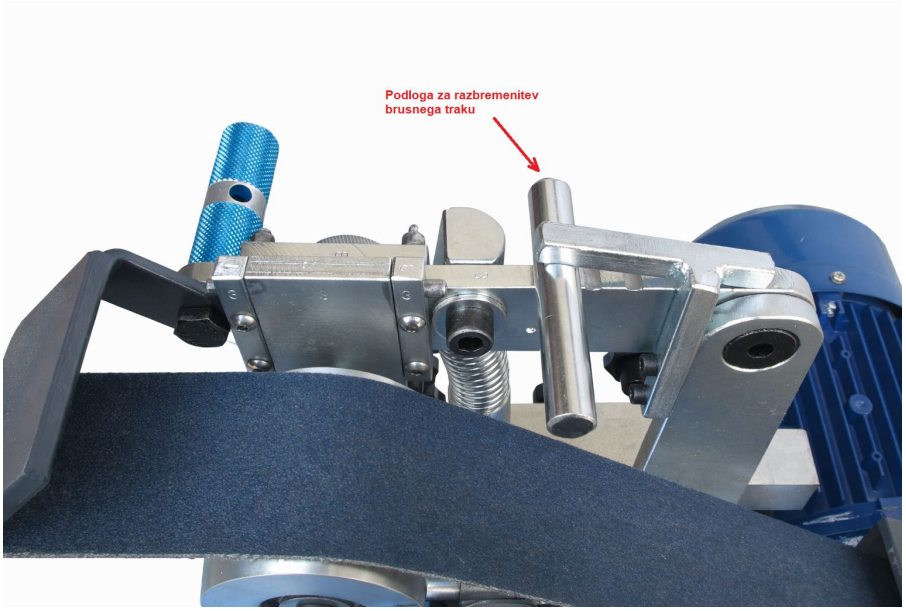
Če to še ni bilo izvedeno, najprej vstavimo podlogo za razbremenitev brusnega traku na napenjalno roko (**Slika C 13**) in sprostimo distančnik (**Slika C 12**). Nato odstranimo zaščito pogonske jermenice ter glavni lovilec opilkov oziroma isker (**Slika C 12**), da omogočimo dostop do brusnega traku in pripadajočih komponent.
Po vsaki menjavi brusnega traku trak najprej ročno zavrtimo in preverimo njegov tek. Po potrebi izvedemo fino nastavitev sledenja, kot je opisano v točki 6.8. (**Slika C 10**), dokler brusni trak ne teče stabilno in v želeni poziciji.



Slika C 12: *Prikaz komponent pomembnih pri menjavi brusnega traku*
(Lastni vir)

8. Razbremenitev brusnega traku med daljšim mirovanjem stroja

Kadar stroja dalj časa ne uporabljamo, je priporočljivo vstaviti podlogo na napenjalno roko (**Slika C 13**), s čimer sprostimo napetost brusnega traku. Tako preprečimo nastanek trajnih mikrodeformacij traku, ki lahko nastanejo zaradi dolgotrajne statične obremenitve. Takšne deformacije lahko ob ponovni uporabi povzročijo nestabilen tek traku, opletanje ter povečane vibracije. Razbremenitev napetosti podaljša življenjsko dobo brusnega traku in zagotavlja bolj stabilno delovanje stroja ob ponovnem zagonu.



Slika C 13: *Prikaz podloge za razbremenitev brusnega traku*
(Lastni vir)

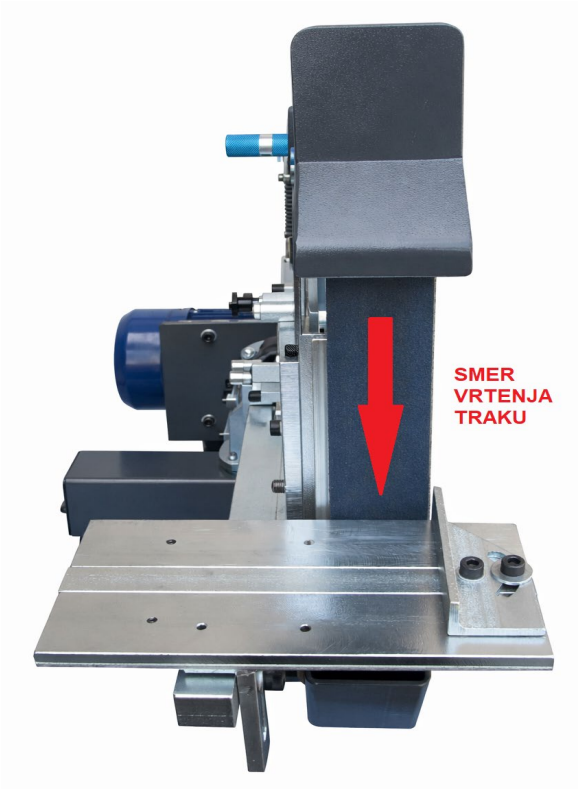
8. Zaključek

Če je stroj pravilno nastavljen, mora brusni trak teči po sredini vseh koles v obeh skrajnih položajih, kot je prikazano na **Sliki C 15** in **Sliki C 16**, ter v obeh smereh vrtenja. Dovoljeno odstopanje znaša približno **±1 mm**. V normalnem delovanju se uporablja samo smer vrtenja navzdol, kot je prikazano na **Sliki C 14**.

Prepovedana je vgradnja stikala, ki omogoča spreminjanje smeri vrtenja elektromotorja (levo–desno), saj napenjalni mehanizem deluje pravilno samo v predvideni smeri vrtenja. Obratovanje v nasprotni smeri lahko povzroči nepravilno delovanje napenjalnega sistema, kar lahko vodi do poškodb brusnega traku, stroja ali nevarnosti za uporabnika.

Ročno obračanje brusnega traku v nasprotni smeri vrtenja je dovoljeno in se uporablja za preverjanje poravnave, sledenja (trackinga) in pravilnosti nastavitev, saj pri tem ne prihaja do obremenitev, ki bi vplivale na delovanje napenjalnega mehanizma.

Če je brusni trak kakovostno izdelan in pravilno skladiščen, teče stabilno brez opletanja in vibracij. Opletanje brusnega traku je posledica deformacij ali neenakomernosti samega brusnega traku, ki lahko nastanejo zaradi proizvodnih toleranc, dolgotrajne napetosti ali nepravilnega skladiščenja. To je bilo večkrat opaženo in potrjeno med testiranjem. Nepravilna nastavitev stroja povzroči nepravilno sledenje (tracking) brusnega traku, ne povzroča pa njegovega opletanja.



Slika C 14: *Prikaz smeri vrtenja brusnega traku*
(Lastni vir)



Slika C 15: *Prva skrajna pozicija nosilca valjev in podporne plošče*
(Vir: lasten)



Slika C 16: *Druga skrajna pozicija nosilca valjev in podporne plošče*
(Vir: lasten)

10. Viri

European Parliament and Council. (2003). *Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise).* Official Journal of the European Union, L42, 38–44.
Pridobljeno 1.9.2026 z strani https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/10/oj

European Parliament and Council. (2006). *Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC (recast).* Official Journal of the European Union, L157, 24–86.
Pridobljeno 1.9.2026 z strani https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/42/oj

International Organization for Standardization. (2010). *ISO 12100:2010 – Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.*
Pridobljeno 1.9.2026 z strani https://www.iso.org/standard/51528.html

International Electrotechnical Commission. (2016). *IEC 60204-1:2016 – Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements.*
Pridobljeno 1.9.2026 z strani https://webstore.iec.ch/en/publication/26037

B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

PRILOGA 4

Hennlich vzmeti

INDUSTRIJSKA TEHNIKA

HENNLICH

HENNLICH d.o.o. • Podnart 33, 4244 Podnart • tel.: 04/532 06 25 • faks: 04/532 06 20 • spring-tech@hennlich.si • www.hennlich.si



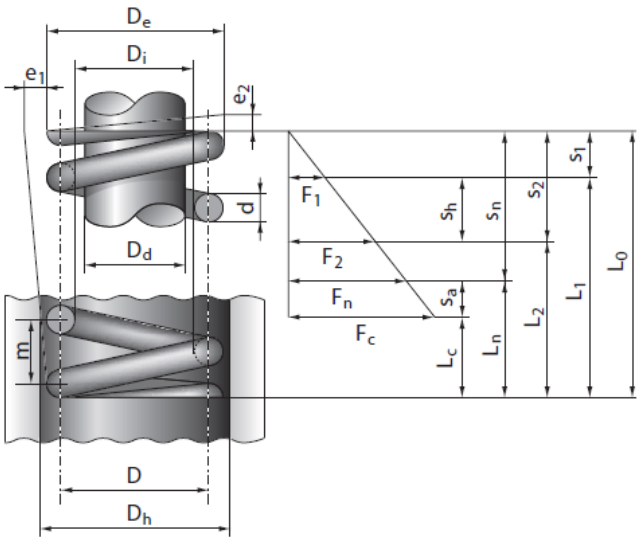
VZMETI

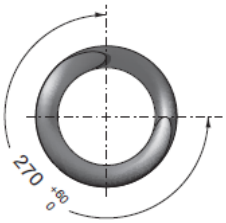
Prioritetni tipi iz vzmetne žice 1.1200

- TLAČNE
- TLAČNE METRSKE
- NATEZNE
- NATEZNE METRSKE
- KOMPLETI VZMETI
- TIPI NA ZALOGI

TLAČNE VZMETI

HENNLICH d.o.o. • Podnart 33, 4244 Podnart • tel.: 04/532 06 25 • faks: 04/532 06 20 • spring-tech@hennlich.si • www.hennlich.si





Tlačne vzmeti iz tega kataloga so izdelane kot cilindrične vijačne vzmeti iz patentirane vzmetne žice okroglega preseka s konstantnim premerom. Navite so po desni vijačnici. Korak oziroma strmina med ovoji vzdolž vzmetne osi je nespremenljiva, prvi in zadnji ovoj se prilegata. Karakteristika vzmeti je linearna. Vzmetna sila deluje v osi vzmeti.

Vse vzmeti so toplotno obdelane. S tem se vzmetem poveča trdota in izboljša trajna nihajna trdnost.

VZMETI PO NAROČILU

V primeru, ko iščete nestandardno vzmet - to je vzmet, ki ni vključena v ta katalog prioritetnih tipov, niti se ne nahaja v kompletnem katalogu vzmeti, kjer je predstavljenih več tisoč različnih tipov - nam posredujte vrednosti za podatke, ki so v desni legendi odebeljene oz. nam pošljite skico vzmeti ali vzorec.

Lahko tudi izpolnite vprašalnik, ki se nahaja na strani 19.

OSNOVNI PODATKI

Legenda

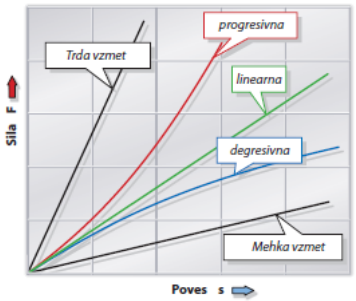
d . . . . . mm . . . . .premer žice
D . . . . . mm . . . . .srednji premer vzmeti
D_d . . . . . mm . . . . .premer vodilnega trna
D_e . . . . . mm . . . . .zunanji premer vzmeti
D_h . . . . . mm . . . . .premer vodilnega ohišja
D_i . . . . . mm . . . . .notranji premer vzmeti
e_1 . . . . . mm . . . . .odstopanje paralelnosti glede na os
e_2 . . . . . mm . . . . .odstopanje paralelnosti naležnih površin
F . . . . . N . . . . . sila/obremenitev vzmeti
F_1 . . . . . N . . . . . preostala sila po razbremenitvi
F_2 . . . . . N . . . . . sila pri obremenitvi
F_c . . . . . N . . . . . teoretična sila vzmeti
F_n . . . . . N . . . . . največja dovoljena sila vzmeti
L . . . . . mm . . . . .dolžina proizvedene vzmeti
L_c . . . . . mm . . . . .dolžina »na blok« (popolnoma) stisnjene vzmeti
L_0 . . . . . mm . . . . .dolžina neobremenjene vzmeti
L_1 . . . . . mm . . . . .dolžina razbremenjene vzmeti
L_2 . . . . . mm . . . . .dolžina obremenjene vzmeti
L_n . . . . . mm . . . . .najmanjša dovoljena dolžina vzmeti
m . . . . . mm . . . . .razmak med ovoji, korak
M . . . . . g . . . . . masa vzmeti
n . . . . . .število delovnih ovojev
n_t . . . . . število vseh ovojev
R . . . . . N/mm. . . karakteristika vzmeti
s . . . . . mm . . . . .poves vzmeti
s_a . . . . . mm . . . . .vsota minimalnih zračnosti med delujočimi ovoji
s_c . . . . . mm . . . . .teoretični poves, vzmet stisnjena »na blok«
s_h . . . . . mm . . . . .uporabljen poves vzmeti
s_n . . . . . mm . . . . .največji dovoljen poves vzmeti
v . . . . . .količnik vpetja vzmeti, ki vpliva na njen uklon

TLAČNE VZMETI

HENNLICH d.o.o.

Karakteristika vzmeti

Karakteristika (lastnost) vzmeti je podana s krivuljo v diagramu, ki prikazuje odvisnost sile (F) od povesa (s). Od nje je odvisno tudi delo, ki ga vzmet opravi. Pri cilindrični tlačni vijačni vzmeti konstantnega premera žice je karakteristika vzmeti izrazito linearna.



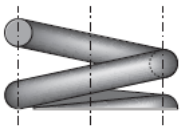
Splošno velja, da večji, ko je:

d	> trdnejša je vzmet
D	> mehkejša je vzmet
n	> mehkejša je vzmet

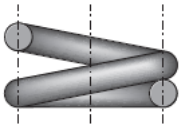
Izdelava tlačnih vzmeti

Glede načina izdelave ter toleranc so naše vzmeti izdelane skladno s kakovostnimi predpisi DIN 2095 – kvalitetni razred 1 (precizno) za hladno oblikovane tlačne vzmeti. Glede oblike in dimenzij se ravnamo po DIN 2098 za vzmeti okroglega preseka, s tem da smo naš izbor dopolnili s široko paleto vmesnih dimenzij, ki jih obravnavamo kot standardne in bodo vedno dobavljive.

Da dosežemo obremenitev vzmeti v njeni osi in s tem preprečimo uklon, sta prvi in zadnji ovoj prilegajoča oz. poravnana (navita brez koraka) in brušena (pri d ≥ 0,5mm).



Prilegajoč in obrušen (oblika 1)



Prilegajoč (oblika 2)

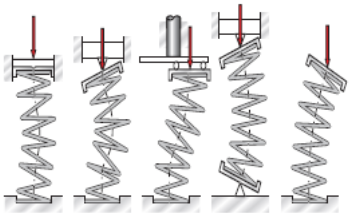
Za izdelavo vzmeti uporabljamo okroglo patentirano vzmetno žico iz materiala številka 1.1200 (po EN 10270-1) katere mere, teža in tolerance so skladne z DIN 2067-C. Vzmeti so temno-sivo do črno bondenizirane. Izvedbo zaščite pred rjavenjem je potrebno dodatno dogovoriti.

Umirjanje in relaksacija

Če vzmet povsem stisnemo (»na blok«, poves je L_c), se večina vzmeti rahlo plastično deformira – posede. To imenujemo umirjanje vzmeti. Ko nato vzmet v celoti razbremenimo, le ta ne bo več dosegla prvotne, to je proizvodne dolžine (L). S tem bo manjša tudi vzmetna sila kar imenujemo relaksacija. Posedanje vzmeti znese do 5% njene proizvodne dolžine (L). Pri tem se material utrjuje kar ugodno deluje na lastnosti vzmeti.

Proizvodna dolžina (L) naših vzmeti je za dolžino posedka daljša od v katalogu navedene dolžine (L_0). S tem je zagotovljena v katalogu navedena sila tudi v primeru, ko bi se kasneje med uporabo zgodil poves »na blok« in s tem posedek.

Na voljo so tudi vzmeti, že umirjene na dolžino L_0.



ν = 0,5 ν = 0,7 ν = 1 ν = 1 ν = 2

Uklon

Dolge tlačne vzmeti se lahko pri določeni obremenitvi uklonijo. Točno pri katerem povesu se uklonijo je možno izračunati. Pri tem je potrebno upoštevati vpliv načina vpetja vzmeti. Standard DIN 2089-T1 opredeljuje 5 vrst vpetij in za njih poda količnike, ki odražajo težnjo k uklonu.

Varnost pred uklonom, podana v tem katalogu, je določena za vpetje s količnikom ν = 0,5.

V primeru, da varnost pred uklonom ni zagotovljena, je potrebno vzmet voditi na trnu ali v ohišju. Pogosto je vzmeti namenjenega premalo prostora, zato smo v katalogu navedli tudi priporočljive premere vodilnega trna ali ohišja (D_d in D_h). Upoštevati je potrebno trenje vzmeti ob trn ali ohišje ali zagotoviti mazanje.

Simboli v tabeli pod Ozn.

▼▼▼ označuje zaključek vzmeti in sicer:

»o1« predstavlja obliko 1 – obdelan konec vzmeti (poravnan in brušen)
»o2« predstavlja obliko 2 – neobdelan konec vzmeti (samo poravnan)

▶|◀ označuje varnost pred uklonom:

»ν« pomeni, da je vzmet pri načinu vpetja s količnikom ν = 0,5 varna pred uklonom in da vodenje ni potrebno.

»u!« pomeni, da vzmet pri načinu vpetja s količnikom ν = 0,5 ni varna pred uklonom in da je vodenje vzmeti potrebno.

Primer za naročanje

8 kos tlačna vzmet
5,00 x 63,0 x 120,0
št.artikla 80/5/1

VZMETI

industrijska tehnika • Podnart 33, 4244 Podnart • tel.: 04/532 06 25 • faks: 04/532 06 20 • spring-tech@hennlich.si • www.hennlich.si

VZMETNO JEKLO 1.1200 PO DIN 2076

Mere									Poves in sila					Naročanje	Ozn.	
Na zalogi	d mm	D_e mm	D mm	D_i mm	L_0 mm	n -	D_d mm	D_h mm	R N/mm	s_n mm	L_n mm	F_n mm	M mm	Artikel št.	▼▼▼	▶|
	2,80	30,80	28,00	25,20	43,4	3,3	24,6	31,8	8,65	27,1	16,3	234,6	22,68	65/4/1	o1	✓
					65,7	5,2			5,49	43,6	22,1	239,3	30,83	65/4/2	o1	✓
					98,2	8,0			3,57	67,5	30,7	240,8	42,83	65/4/3	o1	✓
					138,0	11,8			2,42	95,6	42,4	231,3	59,10	65/4/4	o1	✓
					203,0	17,5			1,63	143,1	59,9	233,5	83,54	65/4/5	o1	u!
	2,80	37,80	35,00	32,20	59,3	3,3	31,5	39,2	4,43	43,0	16,3	190,6	28,38	65/5/1	o1	✓
					89,6	5,2			2,81	67,5	22,1	189,7	38,59	65/5/2	o1	✓
					136,0	8,0			1,83	105,3	30,7	192,4	53,64	65/5/3	o1	✓
					195,0	11,8			1,24	152,6	42,4	189,1	74,03	65/5/4	o1	u!
					283,0	17,5			0,84	223,1	59,9	186,4	104,62	65/5/5	o1	u!
	3,00	19,40	16,40	13,40	27,0	3,3	13,0	20,0	56,76	9,6	17,4	542,3	15,26	65/27/1	o1	✓
					34,0	4,3			43,56	13,3	20,7	577,7	18,14	65/27/2	o1	✓
					42,0	5,5			34,06	17,3	24,7	589,6	21,60	65/27/3	o1	✓
					52,0	7,0			26,76	22,1	29,9	591,2	25,92	65/27/4	o1	✓
					64,0	9,0			20,81	27,8	36,2	578,4	31,68	65/27/5	o1	✓
					80,0	11,5			16,29	35,6	44,4	579,2	38,88	65/27/6	o1	✓
					103,0	15,0			12,49	47,0	56,0	587,4	48,97	65/27/7	o1	u!
	3,00	26,50	23,50	20,50	37,0	3,3	20,0	27,3	19,29	19,6	17,4	377,2	21,85	65/47/1	o1	✓
					48,0	4,3			14,81	27,3	20,7	403,6	25,99	65/47/2	o1	✓
					60,0	5,5			11,57	35,3	24,7	408,7	30,95	65/47/3	o1	✓
					74,0	7,0			9,09	44,4	29,6	403,6	37,15	65/47/4	o1	✓
					91,0	9,0			7,07	54,8	36,2	387,6	45,39	65/47/5	o1	✓
					115,0	11,5			5,54	70,6	44,4	390,6	55,72	65/47/6	o1	✓
					147,0	15,0			4,24	91,0	56,0	386,4	70,17	65/47/7	o1	u!
	3,00	31,70	28,70	25,70	52,0	3,5	25,1	32,8	9,99	33,8	18,2	337,8	27,73	65/57/1	o1	✓
					65,0	4,5			7,77	43,5	21,5	337,8	32,79	65/57/2	o1	✓
					80,0	5,7			6,13	54,7	25,3	335,1	38,85	65/57/3	o1	✓
					103,0	7,5			4,66	71,7	31,3	334,2	47,94	65/57/4	o1	✓
					131,0	9,7			3,60	92,5	38,5	333,2	59,06	65/57/5	o1	✓
					145,0	12,7			2,75	96,6	48,4	265,9	74,04	65/57/6	o1	✓
					190,0	15,7			2,23	131,7	58,3	293,3	89,24	65/57/7	o1	u!
✓	3,20	19,20	16,00	12,80	27,5	3,5	12,4	19,8	74,61	8,2	19,3	611,5	17,57	66/1/1	o1	✓
✓					40,0	5,5			47,48	13,7	26,3	649,3	23,97	66/1/2	o1	✓
✓					59,0	8,5			30,72	22,1	36,9	680,4	33,56	66/1/3	o1	✓
✓					83,5	12,5			20,89	32,6	50,9	681,2	46,35	66/1/4	o1	u!
✓					120,0	18,5			14,11	48,0	72,0	678,2	65,53	66/1/5	o1	u!
✓	3,20	23,20	20,00	16,80	33,5	3,5	16,4	23,9	38,20	14,2	19,3	542,3	21,96	66/2/1	o1	✓
✓					49,5	5,5			24,31	23,2	26,3	563,4	29,96	66/2/2	o1	✓
✓					74,0	8,5			15,73	36,9	37,1	580,9	41,96	66/2/3	o1	✓
✓					105,0	12,5			10,70	54,1	50,9	578,7	57,94	66/2/4	o1	u!
✓					155,0	18,5			7,23	80,4	74,6	580,9	81,95	66/2/5	o1	u!
	3,20	28,20	25,00	21,80	42,5	3,5	21,3	29,1	19,56	23,2	19,3	453,7	27,46	66/3/1	o1	✓
					63,5	5,5			12,45	37,2	26,3	462,7	37,46	66/3/2	o1	✓
					94,5	8,5			8,05	57,6	36,9	464,2	52,46	66/3/3	o1	✓
					135,0	12,5			5,48	84,1	50,9	460,6	72,46	66/3/4	o1	u!
					200,0	18,5			3,70	125,6	74,4	464,7	102,49	66/3/5	o1	u!
✓	3,20	35,20	32,00	28,80	58,5	3,5	28,1	36,5	9,33	38,9	19,6	363,1	35,19	66/4/1	o1	✓
✓					88,5	5,5			5,93	61,2	27,3	363,1	48,02	66/4/2	o1	✓
✓					135,0	8,5			3,84	94,6	40,4	363,1	67,29	66/4/3	o1	✓
✓					190,0	12,5			2,61	139,0	51,0	363,1	92,91	66/4/4	o1	u!
✓					280,0	18,5			1,76	205,8	74,2	363,1	131,41	66/4/5	o1	u!
	3,20	43,20	40,00	36,80	82,0	3,5	36,0	45,1	4,77	60,8	21,2	290,5	44,08	66/5/1	o1	✓
					125,0	5,5			3,04	95,6	29,4	290,5	60,18	66/5/2	o1	✓
					190,0	8,5			1,97	147,7	42,3	290,5	84,33	66/5/3	o1	✓
					275,0	12,5			1,34	217,3	57,7	290,5	116,52	66/5/4	o1	u!
					405,0	18,5			0,90	321,5	83,5	290,5	164,82	66/5/5	o1	u!

TLAČNE VZMETI

HENNLICH d.o.o.

VZMETNO JEKLO 1.1200 PO DIN 2076

Mere									Poves in sila					Naročanje	Ozn.	
Na zalogi	d mm	D_e mm	D mm	D_i mm	L_0 mm	n -	D_d mm	D_h mm	R N/mm	s_n mm	L_n mm	F_n mm	M mm	Artikel št.	▼▼▼	▶◀
	3,20	51,20	48,00	44,80	87,0	3,5	43,8	53,1	2,76	67,7	19,3	187,1	52,78	66/6/1	o1	✓
					135,0	5,5			1,76	108,7	26,3	191,1	72,06	66/6/2	o1	✓
					203,0	8,5			1,14	166,1	36,9	189,0	100,94	66/6/3	o1	✓
					282,0	12,5			0,77	231,1	50,9	178,8	139,34	66/6/4	o1	u!
					430,0	18,5			0,52	358,0	72,0	187,2	197,22	66/6/5	o1	u!
	3,60	25,60	22,00	18,40	32,0	3,3	17,9	26,3	48,76	11,1	20,9	539,2	29,43	67/2/1	o1	✓
					46,0	5,2			30,94	17,6	28,4	543,1	39,98	67/2/2	o1	✓
					70,0	8,0			20,11	30,5	39,5	613,2	55,56	67/2/3	o1	✓
					98,6	11,8			13,64	44,1	54,5	600,9	76,67	67/2/4	o1	✓
					143,0	17,5			9,19	66,0	77,0	606,3	108,34	67/2/5	o1	u!
	3,60	32,60	29,00	25,40	42,4	3,3	24,8	33,5	21,29	21,5	20,9	456,8	38,79	67/3/1	o1	✓
					62,9	5,2			13,51	34,5	28,4	465,4	52,72	67/3/2	o1	✓
					93,6	8,0			8,78	54,1	39,5	474,9	73,25	67/3/3	o1	✓
					131,0	11,8			5,95	76,5	54,5	455,2	101,07	67/3/4	o1	✓
					192,0	17,5			4,01	115,0	77,0	461,4	142,85	67/3/5	o1	u!
	3,60	39,60	36,00	32,40	54,4	3,3	31,7	40,8	11,13	33,5	20,9	372,3	48,18	67/4/1	o1	✓
					81,3	5,2			7,06	52,9	28,4	373,2	65,48	67/4/2	o1	✓
					122,0	8,0			4,59	82,5	39,5	378,6	90,99	67/4/3	o1	✓
					175,0	11,8			3,11	120,5	54,5	374,9	125,59	67/4/4	o1	✓
					253,0	17,5			2,10	176,0	77,0	369,2	177,48	67/4/5	o1	u!
	3,60	48,60	45,00	41,40	75,4	3,3	40,5	50,3	5,70	54,5	20,9	310,3	60,32	67/5/1	o1	✓
					114,0	5,2			3,62	85,6	28,4	309,3	82,00	67/5/2	o1	✓
					173,0	8,0			2,35	133,5	39,5	313,7	113,98	67/5/3	o1	✓
					243,0	11,8			1,59	188,5	54,5	300,3	157,26	67/5/4	o1	u!
					362,0	17,5			1,07	285,0	77,0	306,1	222,34	67/5/5	o1	u!
	4,00	24,00	20,00	16,00	33,5	3,5	15,6	24,7	93,26	9,4	24,1	873,8	34,31	68/1/1	o1	✓
					49,0	5,5			59,35	16,1	32,9	955,2	46,80	68/1/2	o1	✓
					72,0	8,5			38,40	25,9	46,1	995,9	65,53	68/1/3	o1	✓
					105,0	12,5			26,11	41,4	63,6	1080,6	90,54	68/1/4	o1	u!
					150,0	18,5			17,64	60,1	89,9	1059,7	127,99	68/1/5	o1	u!
✓	4,00	29,00	25,00	21,00	41,0	3,5	20,5	29,8	47,75	16,9	24,1	805,5	42,88	68/2/1	o1	✓
✓					60,5	5,5			30,38	27,6	32,9	838,5	58,49	68/2/2	o1	✓
✓					89,5	8,5			19,66	43,4	46,1	853,9	81,91	68/2/3	o1	✓
✓					130,0	12,5			13,37	64,9	65,1	867,7	113,16	68/2/4	o1	✓
✓					185,0	18,5			9,03	95,1	89,9	858,7	159,95	68/2/5	o1	u!
✓	4,00	36,00	32,00	28,00	53,5	3,5	27,3	37,1	22,77	29,4	24,1	668,7	54,90	68/3/1	o1	✓
✓					79,5	5,5			14,49	46,6	32,9	675,1	74,90	68/3/2	o1	✓
✓					120,0	8,5			9,38	72,3	47,7	677,9	104,92	68/3/3	o1	✓
✓					170,0	12,5			6,38	106,3	63,7	677,9	144,89	68/3/4	o1	u!
✓					250,0	18,5			4,31	157,4	92,6	677,9	204,91	68/3/5	o1	u!
✓	4,00	44,00	40,00	36,00	71,0	3,5	35,2	45,5	11,66	46,5	24,5	542,3	68,69	68/4/1	o1	✓
✓					105,0	5,5			7,42	72,1	32,9	534,8	93,71	68/4/2	o1	✓
✓					160,0	8,5			4,80	113,0	47,0	542,3	131,29	68/4/3	o1	✓
✓					235,0	12,5			3,26	166,2	68,8	542,3	181,42	68/4/4	o1	u!
✓					340,0	18,5			2,21	245,9	94,1	542,3	256,52	68/4/5	o1	u!
✓	4,00	54,00	50,00	46,00	99,0	3,5	45,0	56,2	5,97	72,7	26,3	433,9	86,04	68/5/1	o1	✓
✓					150,0	5,5			3,80	114,2	35,8	433,9	117,43	68/5/2	o1	✓
✓					230,0	8,5			2,46	176,5	53,5	433,9	164,58	68/5/3	o1	✓
✓					335,0	12,5			1,67	259,6	75,4	433,9	227,42	68/5/4	o1	u!
✓					490,0	18,5			1,13	384,2	105,8	433,9	321,64	68/5/5	o1	u!
	4,00	64,00	60,00	56,00	112,0	3,5	54,8	66,5	3,45	87,9	24,1	303,5	103,14	68/6/1	o1	✓
					169,0	5,5			2,20	136,1	32,9	299,1	140,75	68/6/2	o1	✓
					257,0	8,5			1,42	210,9	46,1	300,0	197,21	68/6/3	o1	✓
					367,0	12,5			0,97	303,4	63,6	293,4	272,37	68/6/4	o1	u!
					550,0	18,5			0,65	460,1	89,9	300,6	385,38	68/6/5	o1	u!

Ne najdete želene vzmeti? Preverite na www.hennlich.si ali pokličite! Naš izbor vzmeti je mnogo večji od izbora v tem katalogu. Poleg tega izdelamo vzmeti tudi po vzorcu.

B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

PRILOGA 5

SKF - Deep groove ball bearings



Image may differ from product. See technical specification for details.

6202

Deep groove ball bearing

Single row deep groove ball bearings are particularly versatile, have low friction and are optimized for low noise and low vibration, which enables high rotational speeds. They accommodate radial and axial loads in both directions, are easy to mount, and require less maintenance than many other bearing types.

- Simple, versatile and robust design
- Low friction
- High-speed capability
- Accommodate radial and axial loads in both directions
- Require little maintenance

https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6202?utm_source=chatgpt.com

Overview

Dimensions

Bore diameter	15 mm
Outside diameter	35 mm
Width	11 mm

Performance

Basic dynamic load rating	8.06 kN
Basic static load rating	3.75 kN
Reference speed	43 000 r/min
Limiting speed	28 000 r/min
SKF performance class	SKF Explorer

Properties

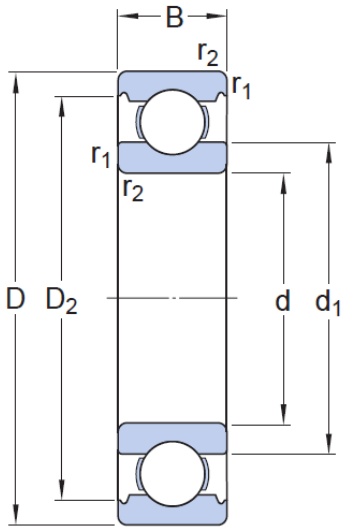
Filling slots	Without
Number of rows	1
Locating feature, bearing outer ring	Without
Bore type	Cylindrical
Cage	Sheet metal
Matched arrangement	No
Radial internal clearance	CN
Material, bearing	Bearing steel
Coating	Without
Sealing	Without
Lubricant	None
Relubrication feature	Without
Indicative carbon footprint for new product	0.16 kg CO_2e

Logistics

Product net weight	0.0436 kg
eClass code	23-05-08-01
UNSPSC code	31171504

https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6202?utm_source=chatgpt.com

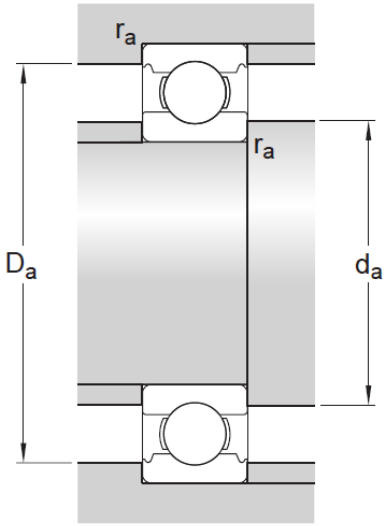
Technical specification



Dimensions

d	15 mm	Bore diameter
$t_{\Delta dmp}$	-0.007 – 0 mm	Deviation limits of mid-range bore diameter
D	35 mm	Outside diameter
$t_{\Delta Dmp}$	-0.009 – 0 mm	Deviation limits of mid-range outside diameter
B	11 mm	Width
$t_{\Delta Bs}$	-0.06 – 0 mm	Deviation limits of ring width
d_1	≈ 21.7 mm	Shoulder diameter
D_2	≈ 30.5 mm	Recess diameter
$r_{1,2}$	min. 0.6 mm	Chamfer dimension
	P6 and tighter width tolerance	ISO tolerance class for dimensions

https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6202?utm_source=chatgpt.com



Abutment dimensions

d_a	min. 19.2 mm	Diameter of shaft abutment
D_a	max. 30.8 mm	Diameter of housing abutment
r_a	max. 0.6 mm	Radius of shaft or housing fillet

Calculation data

SKF performance class		SKF Explorer
Basic dynamic load rating	C	8.06 kN
Basic static load rating	C_0	3.75 kN
Fatigue load limit	P_u	0.16 kN
Reference speed		43 000 r/min
Limiting speed		28 000 r/min
Minimum load factor	k_r	0.03
Calculation factor	f_0	13

Tolerances of run-out

Range of section height at inner ring of assembled bearing	t_{Kia}	4 µm
Maximum run-out of inner ring side face to the bore	t_{Sd}	7 µm

https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6202?utm_source=chatgpt.com

Maximum axial run-out of inner ring of assembled bearing	t_{Sia}	7 µm
Range of section height at outer ring of assembled bearing	t_{Kea}	7 µm
Perpendicularity of outer ring outside surface	t_{SD}	4 µm
Maximum axial run-out of outer ring of assembled bearing	t_{Sea}	8 µm
ISO tolerance class for geometrical tolerances		P5

Tolerances and clearances

GENERAL BEARING SPECIFICATIONS

- Tolerances: Normal (metric), P6, P5, Normal (inch)
- Radial internal clearance: Classes C2 to C5

B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

PRILOGA 6

Prikaz tračnega brusilnika in test s kovancem

Klikni na povezavo za ogled videoposnetka (CTRL+klik).

https://youtu.be/1j5we1pQM3M

B&B IZOBRAŽEVANJE

IZJAVA
o lektoriranju diplomske naloge

NINA KOROŠEC, prof. slovenščine

ime in priimek lektorja/lektorice, znanstveni/strokovni naziv

izjavljam,

da sem lektoriral/a diplomsko nalogo z naslovom:

Načrtovanje in izdelava tračnega brusilnika

ki jo je napisal/a diplomant/ka:

BOŠTJAN BENEDIČIČ

Ljubljana, 16. 3. 2026

(kraj in datum podpisa)

Nina Korošec

(podpis lektorja/lektorice)

IZJAVA

Študent Boštjan Benedičič izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Lidije Rihar.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole in v institucionalnem oz. nacionalnem repozitoriju (COBISS).

Dne: 29. 9. 2026

Podpis: Boštjan Benedičič