

# RAZVOJ LESENEGA OTROŠKEGA PRIPOMOČKA ZA SPODBUJANJE GROBIH MOTORIČNIH SPRETNOSTI PO PEDAGOGIKI MONTESSORI

## DEVELOPMENT OF A WOODEN CHILDREN'S DEVICE TO PROMOTE GROSS MOTOR SKILLS ACCORDING TO MONTESSORI PEDAGOGY

Klemen KOTNIK<sup>1</sup>, Gorazd FAJDIGA<sup>2</sup>

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, klemen.kotnik@bf.uni-lj.si

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, gorazd.fajdiga@bf.uni-lj.si

### IZVLEČEK

V sodobnem izobraževalnem okolju je poudarek na celostnem razvoju otrok, kjer igra pomembno vlogo tudi ustrezno oblikovan leseni učni pripomoček. Pedagogika Montessori temelji na uporabi posebej zasnovanih orodij, ki spodbujajo samostojnost, odgovornost in razvoj motoričnih sposobnosti. Prikazan je razvoj lesenega otroškega pripomočka, ki združuje funkcionalnosti Piklerjevega trikotnika in lesenega pomagalčka ter omogoča spodbujanje grobih motoričnih spretnosti pri otrocih v prvi razvojni fazi (0–6 let). Proces razvoja je vključeval koncipiranje izdelka, 3D modeliranje, numerično analizo z metodo končnih elementov (MKE), izdelavo prototipa ter mehansko testiranje prototipa. Analiza rezultatov testiranja je pokazala dobro ujemanje med numerično simulacijo in eksperimentalnimi podatki, kar potrjuje ustreznost konstrukcijske zasnove in izbranih materialov.

**Ključne besede:** Montessori, groba motorika, leseni pripomočki, otroci, numerična analiza, prototip, preskušanje

### ABSTRACT

Modern educational approaches emphasize the holistic development of children, which can be supported through well-designed learning materials. Montessori pedagogy is based on the use of specially designed materials that encourage independence, responsibility, and the development of motor skills. This study presents the development of a wooden children's device that combines the functions of a Pikler triangle and a learning tower, promoting the development of gross motor skills in children during the first stage of development (0–6 years). The development process included conceptual design, 3D modelling, numerical analysis using the finite element method (FEM), prototype manufacturing, and mechanical testing on a universal testing machine. Analysis of test results showed good agreement between the numerical simulation and the experimental data, confirming the suitability of the structural design and selected materials.

**Keywords:** Montessori, gross motor skills, wooden learning aids, children, numerical analysis, prototype, testing

GDK 835:945.2/3(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.137.5

Prispelo / Received: 25. 08. 2025

Sprejeto / Accepted: 30. 9. 2025



## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Vzgoja otrok po načelih pedagogike Montessori že vrsto let predstavlja prepoznan in učinkovit pristop k spodbujanju otrokovega celostnega razvoja, še posebej na področju razvoja motoričnih spretnosti. Temelji na uporabi didaktičnih lesenih pripomočkov, ki s svojo zasnovo ne le spodbujajo otrokovo naravno radovednost in raziskovalni duh, temveč omogočajo tudi ciljno krepitev grobe in fine motorike (Šrajner, 2022). Osrednja značilnost tega pristopa je otrok kot aktiven udeleženec učnega procesa, pri čemer mu je dana možnost samostojnega raziskovanja, odločanja in prevzemanja odgovornosti za lastno učenje. Leseni pripomočki, zasnovani v skladu z Montessori metodologijo, tako niso zgolj igrače, marveč orodja, ki pomembno prispevajo k razvoju funkcionalnih in motoričnih sposobnosti v zgodnjem otroštvu (Kordeš Demšar, 2009). V raziskavi je bil osrednji cilj razvoj večnamenskega lesenega

pripomočka, ki združuje značilnosti dveh najpogostejše uporabljenih Montessori pripomočkov – učnega stolčka (pomagalčka) in Piklerjevega trikotnika. Pripomoček je bil zasnovan z namenom spodbujanja grobih motoričnih spretnosti otrok prve razvojne faze (0–6 let) (Božičnik, 2017). Sam razvoj izdelka je sledil sistematičnemu procesu, ki se je pričel z analizo trga, identifikacijo uporabniških potreb ter določitvijo funkcionalnih in konstrukcijskih zahtev. Temeljni koraki so vključevali zbiranje idej, koncipiranje funkcionalnosti, 3D modeliranje v programu SolidWorks. Sodoben razvojni proces izdelka vključuje tudi numerične simulacije in analize, ki omogočajo optimizacijo izdelka pred izdelavo in testiranjem prototipa in tako pospešijo razvoj izdelka. Tudi v pohištveni industriji se pri razvoju izdelka te metode uporabljajo čedalje pogostejše (Gaff in sod., 2015). Z metodo končnih elementov (MKE) je izvedena numerična analiza izbranega dela izdelka. V sklopu te analize so bili določeni robni pogoji, izvedena

je bila statična linearno - elastična analiza, na podlagi katere so bila identificirana mesta z največjimi napetostmi in deformacijami. Zaključni fazi razvoja sta zajemali izdelavo prototipa s pomočjo CNC-tehnologije in mehansko testiranje na trgalnem stroju Zwick Roell 100, kjer so bile izmerjene deformacije konstrukcijskih elementov pri različnih obremenitvah. Rezultati eksperimentalnega testiranja so bili primerjani s podatki iz numeričnih simulacij, kar je omogočilo dodatno validacijo in potrditev ustreznosti konstrukcijske zasnove. Pripomoček se je izkazal kot mehansko stabilen, funkcionalen in ergonomičen.

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2 MATERIALS AND METHODS

Pri razvoju lesenega otroškega pripomočka je bila izbira materiala ključnega pomena z vidika varnosti, obdelovalnosti in trajnosti. Izbran je bil masiven bukov les, ki velja za enega najprimernejših materialov za notranje pohištvo in izdelke, ki prihajajo v stik z otroki (Humar in sod., 2015; Krajnc, 2012). Bukovina je raztreseno porozna, kar zmanjšuje tveganje za nastanek trsk, ki pa pri otroških pripomočkih nikakor niso dopustne. Poleg tega bukovina odlikuje dober naravni videz ter ugodne mehanske in fizikalne lastnosti, zaradi česar je široko uveljavljena v lesarski industriji (Dremelj, 2015). Za izdelavo pripomočka je bila uporabljena bukovina prvega kakovostnega razreda (preglednica 1), ki je namenjena za notranjo uporabo (Čufar in sod., 2017). Izbrani les je bil ustrezno tehnično posušen in brez znakov biotskih ali abiotskih poškodb, kar je ključno za zagotavljanje optimalnih mehanskih lastnosti (Kropivšek in Šernek, 2010).

Vlažnost lesa ima namreč pomemben vpliv na njegovo obdelovanje in mehanske karakteristike (Ozyhar in osd., 2012). Drevesa, iz katerih je bil pridobljen les, so bila posekana na območju Idrije. To območje je znano po kakovostni bukovini, ki je namenjena za nadaljnjo predelavo v masivne lesene izdelke (Marenče in sod., 2016). Pri poseku so bila uporabljena samo drevesa brez znakov okužb gliv, kar dodatno prispeva k ohranjanju mehanskih lastnosti (Krajnc in Humar,

2015). Po vseh opravljenih procesih mehanskih obdelav je bil les površinsko zaščiten z naravnim lanenim oljem, namenjenim za notranje pohištvo. Izbrano olje temelji na modificiranih rastlinskih oljih z dodatki voskov in je primerno za uporabo pri otroškem pohištvi, saj ne vsebuje škodljivih snovi in je certificirano v skladu s standardom SIST EN 71-3. Takšni premazi so brezbarvni, sčasoma lahko rahlo porumenijo zaradi izpostavljenosti ultravijolični (UV) svetlobi, vendar tvorijo tanek, vodoodbojen in hitro sušec zaščitni film, ki ponuja prijeten otip in estetski videz površine. Bukovino je mogoče dobro površinsko obdelati, kar prispeva h kasnejši obrabi in vizualni dovršenosti lesenega otroškega pripomočka (Kropivšek in Čufar, 2015).

## 3 RAZVOJ PRIPOMOČKA

### 3 DEVELOPMENT OF THE LEARNING AID

Pri razvoju lesenega pripomočka za spodbujanje grobe motorike otrok prve razvojne stopnje (0–6 let) je bilo treba upoštevati številne funkcionalne, tehnične in varnostne zahteve. Temeljni kriteriji so vključevali: ustrezno dimenzioniranje glede na antropometrične podatke otrok in tipične dimenzije notranjih prostorov (npr. višine kuhinjskih pultov), trdnost konstrukcije, varnostne standarde, omejitve uporabljenih strojev za izdelavo prototipa, enostavnost montaže ter uporaba naravnih in otrokom prijaznih materialov. Ključno vlogo pri optimizaciji nosilnih delov konstrukcije je imelo numerično modeliranje s pomočjo metode končnih elementov (MKE). Zasnova pripomočka je temeljila na združitvi dveh že znanih Montessori pripomočkov: Picklerjevega trikotnika in lesenega pomagalčka (slika 1).

Osnovni princip je bil razvoj multifunkcionalnega pripomočka, ki omogoča transformacijo med dvema sestavoma. Pri tem je bilo izhodišče oblikovano na podlagi lastnih izkušenj iz prakse, številnih povratnih informacij uporabnikov o funkcionalnosti in estetiki tovrstnih izdelkov in pregledu obstoječih rešitev pri podobnih problemih (Busy Wood, b. l.). Zasnova je bila prvotno predstavljena v obliki skic (slika 2), pri čemer so bile opredeljene vse ključne funkcije in vizualna zasnova konstrukcije.

**Preglednica 1:** Mehanske lastnosti bukovega lesa (Čufar in sod., 2017)

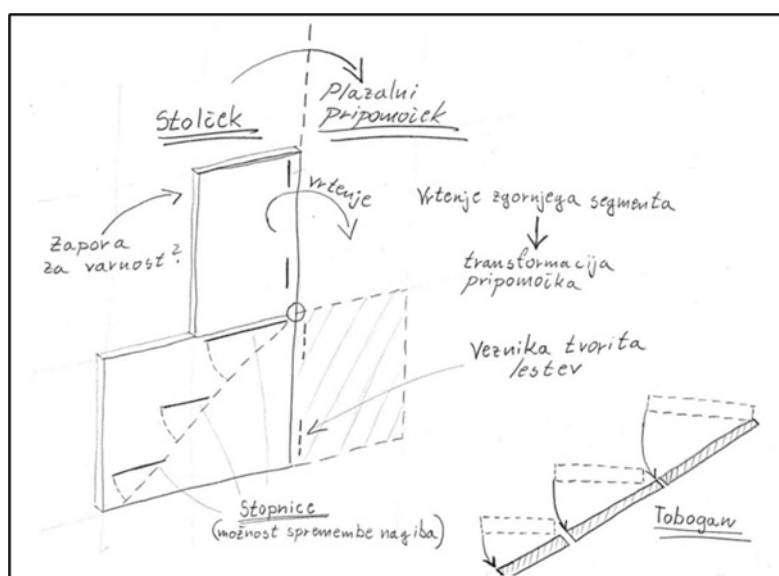
| Lesna vrsta | Gostota  |                | Krčenje   |           |           | E-modul elastičnosti |   |             |     |     |     | Tlačna trdnost | Upogibna trdnost | Odpornost |
|-------------|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|----------------------|---|-------------|-----|-----|-----|----------------|------------------|-----------|
|             | $\rho_0$ | $\rho_{12-13}$ | $\beta_R$ | $\beta_T$ | $\beta_V$ | $E_{\parallel}$      |   | $E_{\perp}$ |     |     |     | $\sigma_c$     | $\sigma_t$       |           |
|             | kg/m³    | kg/m³          | %         | %         | %         | GPa                  |   |             |     |     |     | N/mm²          | N/mm²            |           |
| bukev       | 680      | 710            | 5,8       | 11,8      | 17,9      | L                    | R | T           | L   | R   | T   | 62             | 123              | 5         |
|             |          |                |           |           |           | 16                   | 2 | 1           | 0,5 | 0,9 | 1,3 |                |                  |           |

**Table 1:** Mechanical properties of beech wood (Čufar et al., 2017)



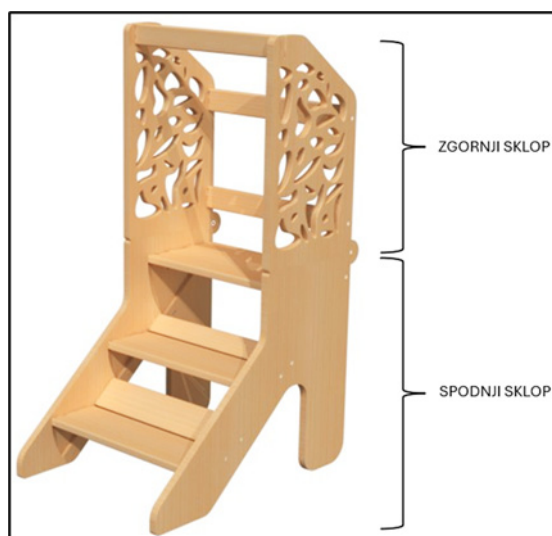
**Slika 1:** Idejni izdelki: leseni pomagalec, Piklerjev trikot (SolidWorks)

**Fig. 1:** Conceptual designs: learning tower and Pikler triangle (SolidWorks)



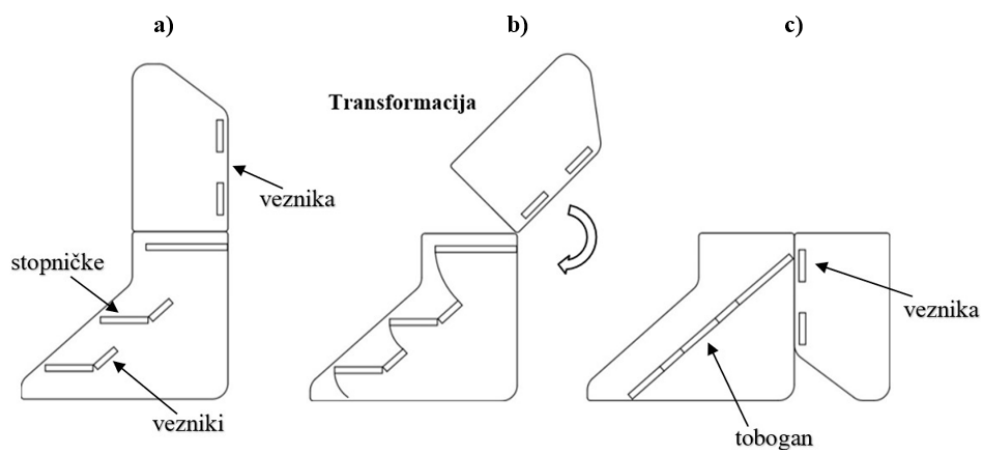
**Slika 2:** Skica razvoja lesenega pripomočka

**Fig. 2:** Sketch illustrating the development of the wooden learning aid



**Slika 3:** Razdelitev izdelka po sklopih

**Fig. 3:** Division of the product into assemblies



**Slika 4:** Prikaz transformacije lesenega pripomočka

Konstrukcija je sestavljena iz dveh osnovnih delov: spodnjega in zgornjega sklopa (slika 3). Spodnji sklop vsebuje tri stopničke, dve zrcalno postavljeni stranski opori in več veznikov. Inovativna funkcionalnost spodnjega sklopa je v tem, da se lahko naklon stopničk prilagaja, kar omogoča njihovo preoblikovanje v tobogan (slika 2). Zgornji sklop sestavljata dve stranici, dva veznika in varnostne zapore.

Ključni element konstrukcije je povezava med spodnjim in zgornjim sklopom, ki omogoča preklap zgornjega dela, s čimer se celoten pripomoček transformira iz funkcionalnega pomagala v igralo s plezalnimi elementi in toboganom (slika 4). V nadaljevanju razvoja so bile preučene idejne različice izdelka (slika 4), ki so služile kot osnovni gradniki za oblikovanje večnamenskosti razvitega izdelka.

Prva različica pripomočka (slika 4, a) omogoča varno sodelovanje otrok pri kuhinjskih opravilih. Transformacija kuhinjskega pripomočka v tobogan poteka s preklpom zgornjega sklopa (slika 4, b), kar omogoča spremembo funkcije in vizualne podobe pripomočka.

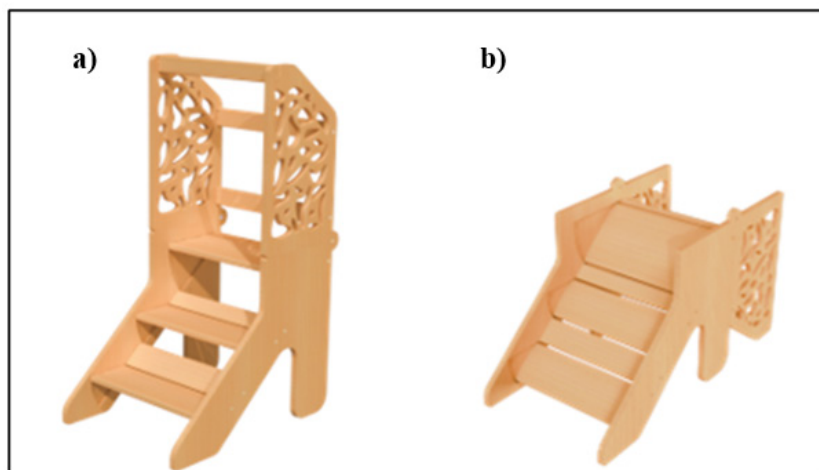
**Fig. 4:** Illustration of the transformation of the wooden learning aid

Novi položaj konstrukcije se lahko uporablja kot klopa, mizica ali plezalni trikotnik (slika 5, c), odvisno od nastavitve naklona stopničk in orientacije posameznih elementov. Cilj zasnove je bil razviti modularen in enostavno zložljiv pripomoček, ki omogoča širok spekter uporabe od učenja in sodelovanja v kuhinji do igre in razvoja gibalnih spretnosti (slika 5). Odprtine na stranicah (slika 5) v tej fazi razvoja niso bile preverjene glede varnosti pri uporabi pripomočka. Narejene so bile z namenom estetske dodane vrednosti izdelka in zmanjšanja teže stranic.

#### 4 NUMERIČNI MODEL

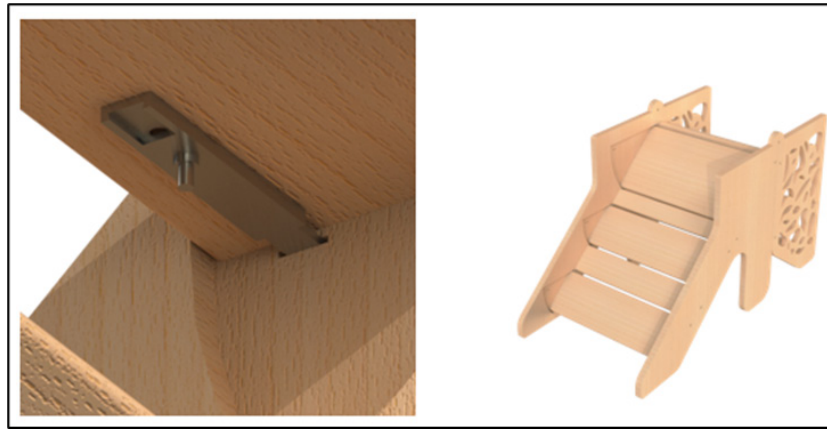
#### 4 NUMERICAL MODEL

Z izdelavo numeričnih modelov in z analizami v lesni industriji lahko minimaliziramo konstrukcijske in detajlne napake (Ren, 2018). Na podlagi praktičnih izkušenj z izdelavo podobnih lesenih pripomočkov je bilo identificirano kritično mesto izdelka. To je mesto med leseno stopničko in kovinskim zapahom (slika 6), ki omogoča prilagajanje naklona stopničke.



**Slika 5:** P3D model pomagala (a) in igrala s toboganom (b)

**Fig. 5:** 3D model of the learning tower (a) and the play structure with slide (b)



**Slika 6:** Prikaz kovinskega zapaha in možnosti nagiba stopnice

**Fig. 6:** Illustration of the metal latch and the adjustable stair angle

Kovinski zapah prevzema velik del zunanjih obremenitev, saj služi kot nosilni člen v sistemu spreminjanja naklona in je zato izpostavljen možnim poškodbam pri vsakodnevni uporabi, zlasti ob nepredvidenih večjih obremenitvah. Cilj simulacije je bil ovrednotiti porazdelitev napetosti in deformacij v območju zapaha in stopničke ter s tem preveriti mehansko ustreznost zasnove pripomočka pri različnih robnih pogojih, ki se pojavijo med uporabo pripomočka.

#### 4.1 Mreža končnih elementov

##### 4.1 Finite element mesh

Priprava numeričnega modela se je začela z uvozom geometrije lesene stopničke in kovinskega zapaha iz programa SolidWorks v programski modul SolidWorks Simulation. Za izvedbo trdnostne analize je bilo potrebno izvesti mreženje modela s končnimi elementi, pri čemer so bili uporabljeni volumnski (3D) štiri-volziščni tetraedri. Mreženje je bilo izvedeno s samodejnim algoritmom, ki je model razdelil na skupno 36.538 končnih elementov (slika 7).

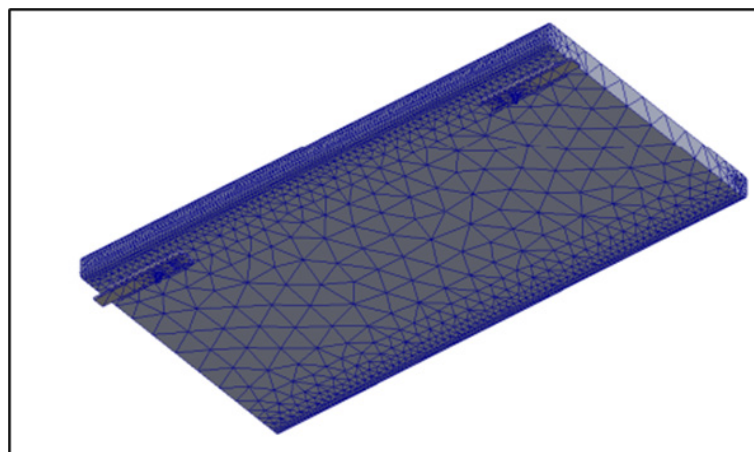
Izbira gostote mreže je bila kompromis med natančnostjo rezultatov in časovno učinkovitostjo simu-

lacije – večje število elementov bi prispevalo k boljši natančnosti rezultatov, a bi hkrati bistveno podaljšalo čas analize (Pehan, 2018). Izbrana konfiguracija je tako predstavljala optimalno razmerje med računsko zahtevnostjo in zanesljivostjo izračunov.

#### 4.2 Materialni parametri

##### 4.2 Material parameters

V nadaljevalni fazi priprave numeričnega modela so bile v simulacijsko okolje vnesene materialne lastnosti dveh uporabljenih materialov – tehnično sušenega bukovega lesa, uporabljenega za izdelavo stopničke, ter jekla AISI 1020, iz katerega je bil izdelan kovinski zapah (MatWeb). Po pregledu ponudbe kovinskih zapahov različnih proizvajalcev je bilo ugotovljeno, da je jeklo AISI 1020 najpogostejše uporabljen material za tovrstne mehanske elemente (IBFM, b. l.). Gre za konstrukcijsko jeklo, ki izkazuje dobro odpornost na ponavljajoče se obremenitve in utrujanje, kar ga naredi primernega za uporabo v dinamično obremenjenih mehanskih sklopih (Kramberger et al., 2019). Konkretno podatke o mehanskih lastnostih jekla je zagotovil italijanski proizvajalec IBFM, katerega zapah je bil uporabljen kot referenčni



**Slika 7:** Prikaz mreže končnih elementov

**Fig. 7:** Illustration of the finite element mesh of the latches

**Preglednica 2:** Mehanske lastnosti jekla (AZOM, 2012)

| Mehanske lastnosti jekla (AISI 1020) |          |                   |
|--------------------------------------|----------|-------------------|
| Lastnost                             | Vrednost | Merska enota      |
| Elastični modul                      | 186000   | N/mm <sup>2</sup> |
| Gostota                              | 7900     | kg/m <sup>3</sup> |
| Poissonov količnik                   | 0,29     | /                 |
| Stržni modul                         | 72000    | N/mm <sup>2</sup> |
| Natezna trdnost                      | 395      | N/mm <sup>2</sup> |
| Tlačna trdnost                       | 450      | N/mm <sup>2</sup> |
| Meja plastičnosti                    | 330      | N/mm <sup>2</sup> |

primer v simulaciji. Mehanske karakteristike obeh materialov – jekla in bukovega lesa – so bile, poleg pravilno predpisanih robnih pogojev, ključnega pomena za numerično analizo, ki bi čim bolj popisala realno stanje izdelka med uporabo. Podatki o lastnostih jekla AISI 1020 so predstavljeni v preglednici 2, medtem ko so značilnosti bukovine, uporabljene za konstrukcijo lesene stopničke, prikazane v preglednici 3.

#### 4.3 Robni pogoji

##### 4.3 Boundary conditions

Da bodo rezultati numerične simulacije čim bolj popisali dejanske obratovalne razmere med uporabo izdelka, je ključnega pomena, da so robni pogoji ustrezno predpisani (Fajdiga in sod., 2015). Lesena stopnička je bila vpeta med stranska nosilca. V numeričnem modelu so na eni strani predpisani robni pogoji za členkasto podporo (M6 vijak, ki omogoča zasuk stopničke pri transformaciji v tobogan) in na drugi strani predpisani robni pogoji za drsno podporo (kovinski zapah, ki omogoča omejen pomik znotraj rezkanega utora) (slike 8, 9, 10 in 11).

Naležna površina zapaha na izrezkan utor je znašala

**Preglednica 3:** Mehanske lastnosti bukovine (Čufar in sod., 2017)

| Mehanske lastnosti bukovine ( <i>Fagus Sylvatica</i> ) |                 |   |          |                   |
|--------------------------------------------------------|-----------------|---|----------|-------------------|
| Lastnost                                               |                 |   | Vrednost | Merska enota      |
| Elastični modul                                        | E <sub>  </sub> | L | 16000    | N/mm <sup>2</sup> |
|                                                        |                 | R | 2        |                   |
|                                                        |                 | T | 1        |                   |
|                                                        | E <sub>⊥</sub>  | L | 0,5      |                   |
|                                                        |                 | R | 0,9      |                   |
|                                                        |                 | T | 1,3      |                   |
| Gostota [12-15%]                                       |                 |   | 720      | kg/m <sup>3</sup> |
| Natezna trdnost                                        | na vlakna       |   | 123      | N/mm <sup>2</sup> |
|                                                        | ⊥ na vlakna     |   | 6        |                   |
| Tlačna trdnost                                         | na vlakna       |   | 62       | N/mm <sup>2</sup> |
|                                                        | ⊥ na vlakna     |   | 16       |                   |
| Meja plastičnosti                                      |                 |   | 110      | N/mm <sup>2</sup> |

**Table 2:** Mechanical properties of steel (AZOM, 2012)

10 mm. Zapah mora biti vstavljen do konca rezkanega utora, kar se je tudi upoštevalo pri numeričnih analizah.

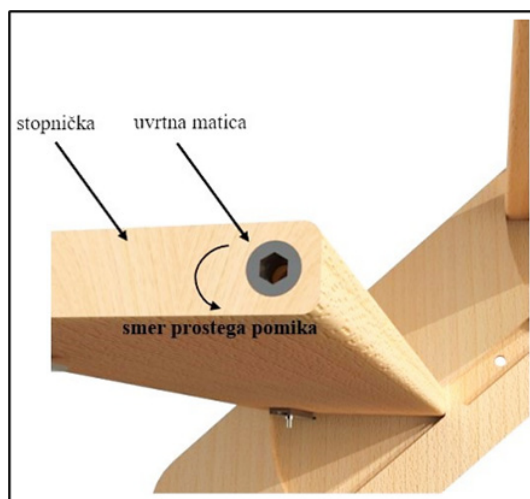
Numerična analiza je obravnavala dva nivoja obremenitve. V prvem primeru je bila simulirana obremenitev, ki ustreza povprečni teži uporabnika iz ciljne skupine – otroka, to je 400N. V drugem primeru pa je bila analizirana maksimalna predvidena obremenitev, ki bi lahko nastala, če bi na stopničko stopil težji uporabnik, na primer odrasla oseba, to je 1000N. Obremenitev je bila simulirana kot pritisna sila s kontaktno površino v obliki kroga premera 130 mm, s čimer smo poenostavili dejansko površino stopala (slika 11).

#### 4.4 Rezultati numerične analize

##### 4.4 Results of the numerical analysis

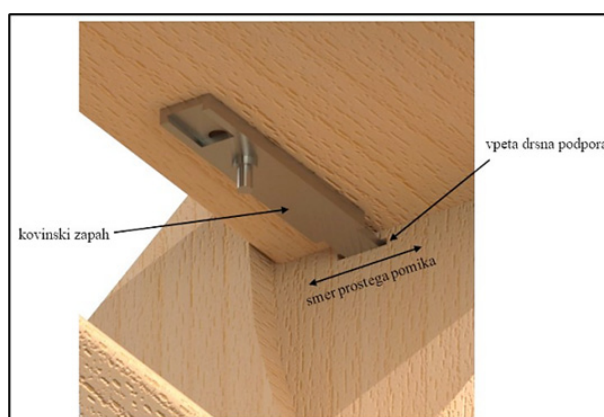
V programu SolidWorks Simulation je bila izvedena linearna trdnostna analiza identificiranega kritičnega mesta izdelka, in sicer kovinskega zapaha in lesene stopničke. Rezultati analize so prikazani kot von Misesove primerjalne napetosti, pri čemer so kritična območja jasno označena z rdečo barvo. Največje napetosti so se pojavile na stiku med koncem kovinskega zapaha in rezkanim utorom v stranski konstrukciji, kar je bilo

**Table 3:** Mechanical properties of beech wood (Čufar et al., 2017)



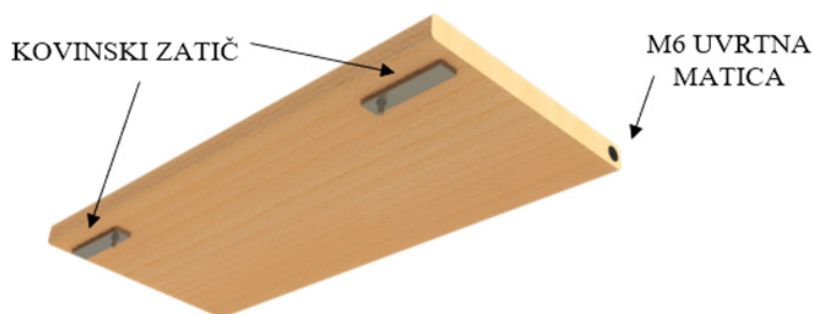
**Slika 8:** Detajl nepremične členkaste podpore pri stopnički

**Fig. 8:** Detail of the fixed hinged support at the step



**Slika 9:** Detajl kovinskega zapaha v rezkanem žepu

**Fig. 9:** Detail of the metal latch in a milled pocket



**Slika 10:** 3D model stopnice s kovinskima zapahoma

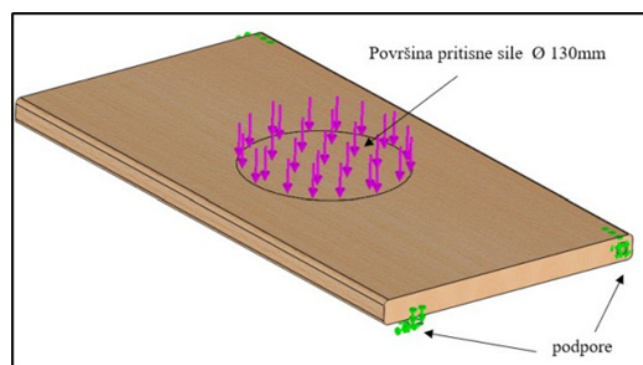
**Fig. 10:** 3D model of the step with two metal latches

glede na funkcionalno vlogo teh delov pričakovano. Pri obremenitvi 400 N, kar ustreza teži otroka iz ciljne uporabniške skupine, je znašala največja izračunana napetost  $67,7 \text{ N/mm}^2$  (slika 12).

Pri maksimalni predvideni obremenitvi 1000 N, ki simulira težo odrasle osebe, je največja napetost narasla na  $169 \text{ N/mm}^2$  (slika 13). Obe vrednosti sta bistveno nižji od meje plastičnosti uporabljenega jekla AISI 1020, ki znaša  $330 \text{ N/mm}^2$  (preglednica 2), kar potrjuje mehansko primernost zapaha tudi pri ekstremnejših pogojih uporabe. Poleg napetosti je bila analizirana tudi deformacija konstrukcijskih delov. Največje defor-

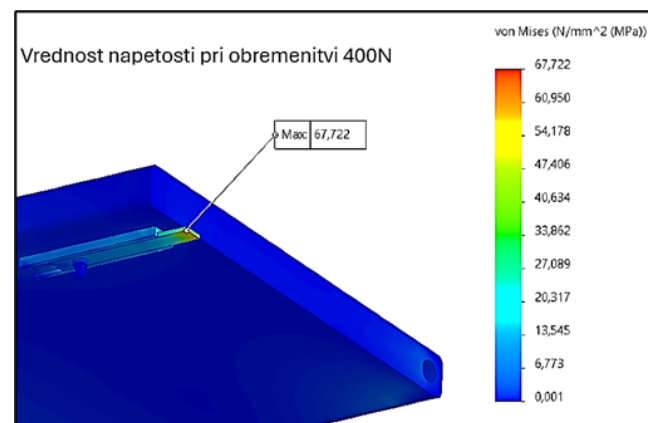
macije so bile zaznane v sredinskem delu lesene stopničke, kjer je bila največja upogibna obremenitev. Pri obremenitvi 400 N je znašala deformacija  $0,722 \text{ mm}$  (slika 15), pri 1000 N pa  $1,721 \text{ mm}$  (slika 14).

Te vrednosti bodo uporabljene kot referenčne vrednosti pri primerjavi z rezultati eksperimentalnega mehanskega testiranja prototipa. Na podlagi rezultatov numerične simulacije lahko zaključimo, da izbrana kombinacija materialov (bukovina in jeklo AISI 1020) ter dimenzijska zasnova ključnih delov konstrukcije zadošča za pričakovane obremenitve v realnih pogojih uporabe lesenega otroškega pripomočka.



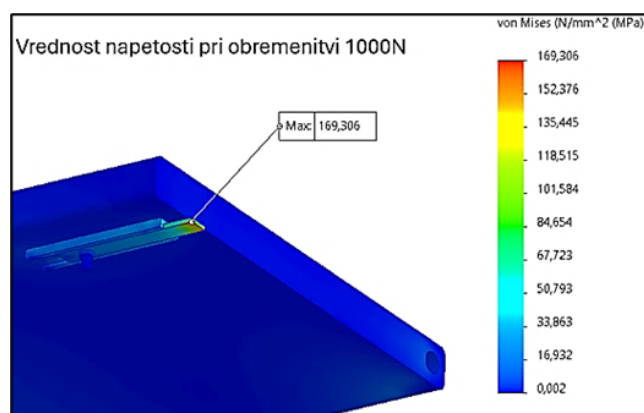
**Slika 11:** Prikaz 3D modela – robni pogoji

**Fig. 11:** 3D model showing boundary conditions



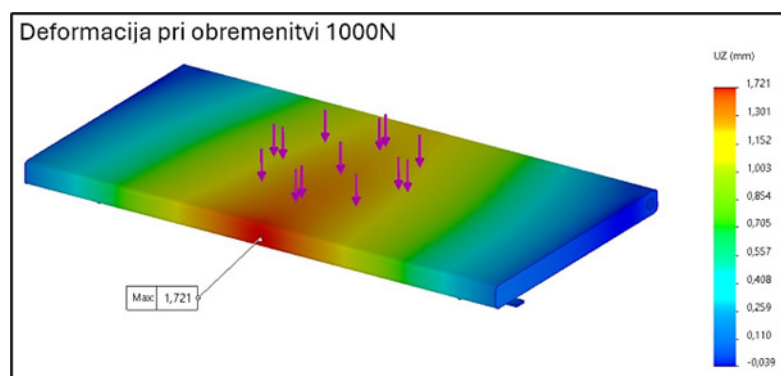
**Slika 12:** Mesto največje napetosti pri obremenitvi 400 N

**Fig. 12:** Location of maximum stress under a load of 400 N



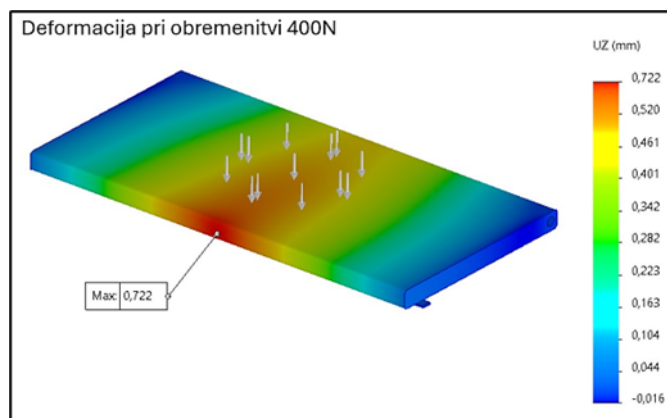
**Slika 13:** Mesto največje napetosti pri obremenitvi 1000 N

**Fig. 13:** Location of maximum stress under a load of 1000 N



**Slika 14:** Prikaz deformacije stopničke pri obremenitvi 1000 N

**Fig. 14:** Deformation of the step under a load of 1000 N



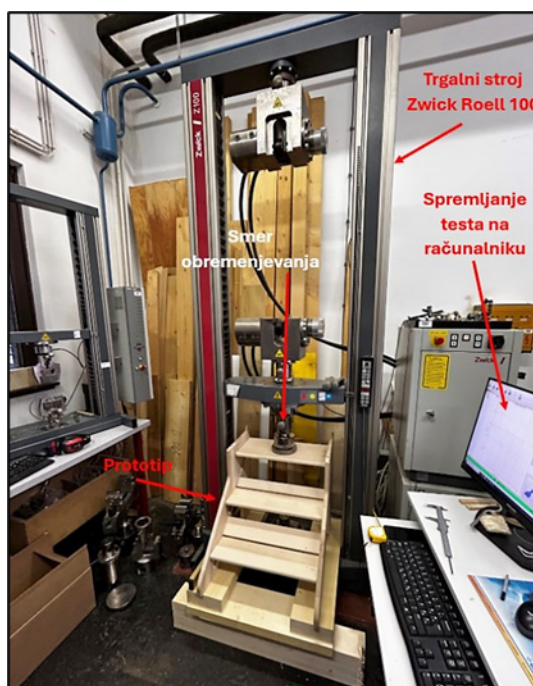
**Slika 15:** Prikaz deformacije stopničke pri obremenitvi 400 N

**Fig. 15:** Deformation of the step under a load of 400 N



**Slika 16:** Dva različna sestava prototipa (foto: K. Kotnik)

**Fig. 16:** Two different prototype assemblies (photo: K. Kotnik)



**Slika 17:** Prikaz postavitve prototipa med testiranjem (foto: K. Kotnik)

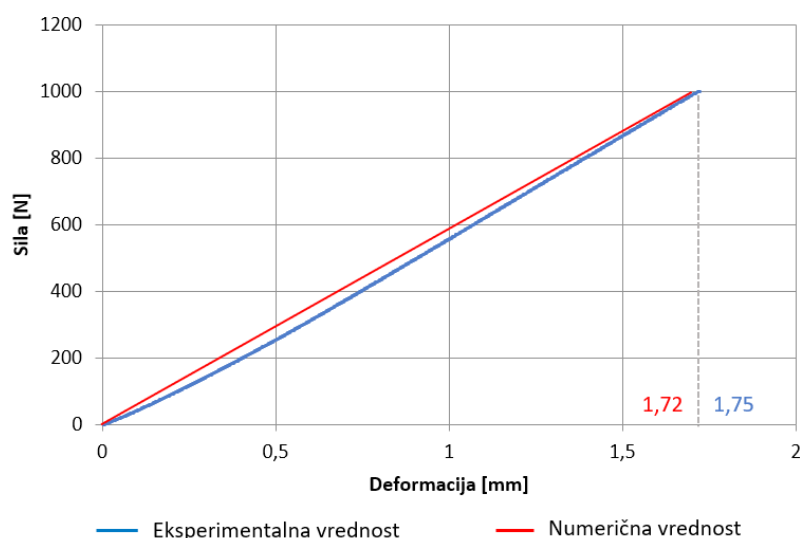
**Fig. 17:** Setup of the prototype during testing (photo: K. Kotnik)



**Slika 18:** Pozicija pritisnega bata na prototipu (foto: K. Kotnik)

**Fig. 18:** Position of the loading piston on the prototype (photo: K. Kotnik)

### Statični test na Zwick Roell 100



**Slika 19:** Izmerjene deformacije lesene stopnice

**Fig. 19:** Measured deformations of the wooden step

## 5 IZDELAVA PROTOTIPA

### 5 PROTOTYPE DEVELOPMENT

Prototip lesenega otroškega pripomočka je bil izdelan v domači mizarški delavnici iz masivne, tehnično sušene bukovine prvega kakovostnega razreda. Pri izdelavi je bila uporabljena kombinacija klasičnih mizarških postopkov in sodobnih CNC-tehnologij. Osnovne elemente konstrukcije smo pripravili z uporabo debelinsko skobeljnega stroja in formatne krožne žage, sledila je obdelava ključnih detajlov s 3-osnim CNC-strojem, ki je omogočila natančno oblikovanje utorov, izvrtin in detajlov spojev. Stranice in stopnice so bile izdelane iz širinsko lepljenih bukovih plošč. Dodatna mehanska dodelava, kot so zaokrožitve robov in končna obdelava površin, je bila opravljena z robno brusilko, ročnim rezkalnikom ter ročnim orodjem, kot so dleta, brusni papir in baterijska vrtalka. Po zaključku

obdelave so bili vsi leseni deli površinsko zaščiteni z lanenim oljem za notranje pohištvo, ki temelji na rastlinskih oljih z dodatkom voskov ter je certificirano v skladu s standardom SIST EN 71-3, kar zagotavlja varno uporabo pri otrocih. Tako izdelani prototip je bil pripravljen za nadaljnje mehansko testiranje in validacijo konstrukcijske zasnove (slika 16).

#### 5.1 Testiranje prototipa

##### 5.1 Prototype testing

Eksperimentalno preverjanje mehanskih lastnosti lesenega otroškega pripomočka je bilo opravljeno na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, z uporabo trgalnega stroja Zwick Roell 100 (slika 17).

Parametri testiranja so bili usklajeni s tistimi, uporabljenimi v numerični simulaciji v okolju SolidWorks

Simulation, kar je omogočilo neposredno primerjavo rezultatov. Za simulacijo pritiska stopala uporabnika je bil uporabljen pritisni bat s premerom 130 mm, ki je deloval na sredino zgornje stopničke (sliki 11 in 18). Prototip je bil obremenjen do maksimalne sile 1000 N, kar ustreza predvideni največji uporabniški obremenitvi. Testiranje je bilo opravljeno trikrat pri različnih hitrostih (2,3 mm/min, 1,1 mm/min in 0,6 mm/min), pri čemer je bil cilj preveriti konstrukcijsko trdnost pri različnih režimih obremenjevanja. Meritve so pokazale, da hitrost obremenjevanja ne vpliva na rezultate. Pripomoček zanesljivo prenese pritisk 1000 N brez znakov poškodb ali porušitve (slika 19). Pri tej obremenitvi se je lesena stopnička povesila za 1,75 mm, kar je skladno z deformacijo, izračunano v numerični analizi (1,72 mm, glej sliko 14).

## 6 ZAKLJUČKI

### 6 CONCLUSIONS

Raziskava je predstavila razvoj lesenega otroškega pripomočka za spodbujanje grobe motorike, zasnovanega iz bukovega lesa in zaščenega z naravnim premazom. Konstrukcija, ki omogoča transformacijo med različnimi funkcijami, je bila najprej oblikovana in analizirana v programu SolidWorks, kjer je bila izvedena napetostno - deformacijska analiza kritičnih mest. Rezultati numerične simulacije so pokazali, da so napetosti ostale znotraj dovoljenih vrednosti za izbrane materiale. Na podlagi konstrukcijskega modela je bil izdelan prototip, ki je bil preizkušen na trgalnem stroju Zwick Roell 100. Preizkus je potrdil zanesljivost zasnove, saj je prototip prenesel tudi mejne obremenitve brez vidnih poškodb, deformacije pa so bile skladne z rezultati numeričnih preračunov. Raziskava potrjuje, da kombinacija sodobnih računalniško podprtih metod načrtovanja in eksperimentalnega testiranja omogoča učinkovito in varno zasnovo otroških didaktičnih pripomočkov. Tak pristop prispeva k večji zanesljivosti izdelkov, hkrati pa skrajšuje razvojni proces, saj zmanjšuje potrebo po večkratni izdelavi prototipov. Rezultati kažejo, da ima razviti pripomoček potencial za nadaljnjo optimizacijo in uporabo v pedagoškem okolju, kjer lahko otrokom zagotovi kakovostno podporo pri razvoju grobe motorike.

## 7 POVZETEK

### 7 SUMMARY

The focus of this study was the development of a wooden device designed to promote the development of children's gross motor skills according to the principles of Montessori pedagogy. The research was based on the premise that modern technical approaches, in combina-

tion with the use of wood as a natural material, can contribute significantly to the creation of high-quality and safe products that promote the holistic development of children. During development, educational, ergonomic, and safety requirements, as well as market factors, had to be taken into account, as the market for such products is already well-developed and highly competitive. The development process began with the conceptual design and continued through to the creation of a prototype. Initial sketches defined the main functions that would enable a wide range of motor activities for children. SolidWorks software was used to create a 3D model of the device, which then served as the basis for further numerical analyses. Using the Simulation module, a stress-strain analysis was performed to evaluate the mechanical behaviour of the design under different loading conditions. The results showed that the highest stresses occurred at the joint between the metal latch and the milled pocket on the underside, but the values remained below the permissible limits for the selected material. Based on the 3D model, a prototype was produced in a home workshop and later tested at the Department of Wood Science of the Biotechnical Faculty in Ljubljana. The static load test confirmed the results of the numerical analysis, as the maximum measured deformation (1.75 mm) closely matched the simulated value (1.72 mm). After unloading, the step returned to its original shape, confirming the adequacy and safety of the structural design. The results of this investigation demonstrate that the use of numerical simulations and computer-aided design methods significantly enhances the reliability and efficiency of the development process. These methods reduce the need for multiple physical prototypes, optimize the design prior to production, and enable a faster transition from conceptual design to a functional product. This represents an important contribution not only to the development of such devices but also to the wood industry as a whole, which is increasingly seeking innovative solutions to support educational institutions. By integrating educational Montessori principles with modern technical methods, it is possible to develop a high-quality, safe, and functional product that supports children's gross motor development. Despite the positive results, further research is required, particularly in the areas of certification, long-term durability, and possibilities for design optimization. Additional testing in accredited laboratories and compliance with the relevant standards will be essential before commercialization. Nevertheless, the developed prototype demonstrates strong potential for market introduction and for contributing to educational practice and the development of didactic tools for children.

## ZAHVALA

## ACKNOWLEDGEMENTS

Avtorja se zahvaljujeta finančni podpori Javne agencije za raziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru raziskovalnega programa P2-0182 (Razvojna vrednotenja).

## VIRI

## REFERENCES

- AISI 1020 low carbon/low tensile steel. 2012. AZoM.com, Jul 5 2012. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6114> (10. okt. 2024).
- Busy wood. b. l. <https://busywood.com/> (4. avg. 2024).
- Chang K.-H. 2015. Design theory and methods using CAD/CAE. V: Solidworks simulation. (The computer aided engineering design series). Elsevier: 407–447 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398512-5.00006-2>
- Dremelj M. 2015. Pregled rabe bukovine in analiza dodane vrednosti v izbranih izdelkih: diplomski projekt. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
- Čerček T. 2024. Ergonomija in estetika oblikovanja pohištva: diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru. <https://revis.openscience.si/IzpisGradiva.php?id=14522> (19. nov. 2025).
- Čufar K., Gorišek Ž., Merela M., Kropivšek J., Gornik Bučar D., Straže A. 2017. Lastnosti bukovine in njena raba. Les / Wood, 66, 1: 27–39
- Fajdiga G., Zafošnik B., Gospodarič B., Straže A. 2015. Compression test of thermally-treated beech wood: experimental and numerical analysis. Bioresources, 11, 1: 223–234.
- Fajdiga G., Rajh, D., Nečemer, B., Glodež, S., Šraml, M. 2019. Experimental and numerical determination of the mechanical properties of spruce wood. Forests, 10, 1140. <https://doi.org/10.3390/f10121140>
- Gaff M., Gašparik M., Borůvka V., Babiak M. 2015. Simulating stresses associated with the bending of wood using a finite element method. BioResources, 10, 2: 2009–2019.
- Grošelj J. 2024. Uvod v numerične metode: zbirka nalog. Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani. [https://users.fm.f.uni-lj.si/groselj/gradiva/unm\\_zbirka\\_nalog.pdf](https://users.fm.f.uni-lj.si/groselj/gradiva/unm_zbirka_nalog.pdf) nov. 2025)
- Humar H., Kržišnik D., Lesar B., Thaler N., Žlahtič M. 2015. Življenjska doba bukovine na prostem. Gozdarski vestnik, 73, 10: 461–469. <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-RJ2AJ7F9> (19. nov. 2025).
- IBFM. b. l. <https://www.ibfm.it/en/> (Datum dostopa 22. 9. 2024).
- Kramberger J., Nečemer B., Glodež S. 2019. Assessing the cracking behavior of auxetic cellular structures by using both a numerical and an experimental approach. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 101, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2019.02.008>
- Semprimožnik A., 2011. Razvoj superabrazivnega brusnega orodja v hibridni vezi. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani. <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=22447&lang=eng> (18.11. 2025)
- Kordeš Demšar M. 2007. Pedagogika Montessori. Sodobna pedagogika, 4: 80–91, <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-3VIO0VPF/5d3840da-6e42-4a7b-b745-d212222bf485/PDF> (19.11. 2025).
- Krajnc M. 2012. Lastnosti in predelava bukovega lesa ter njegova raba v Sloveniji. V: M. Humar (Ur.) Les in njegove lastnosti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 123–135. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=164252&lang=slv> (19. 11. 2025).
- Krajnc M., Humar M. 2015. Izbrane lastnosti sto let stare bukovine. Les/Wood, 64, 2: 53–60. <https://core.ac.uk/download/pdf/35290079.pdf> (19. 11. 2025).
- Božičnik A. 2017. Razvoj multifunkcionalnega otroškega pohištva: magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=145225> (19. 11. 2025).
- Kropivšek J., Šernek M. 2010. Fizikalne in mehanske lastnosti pohištva svežega in osušenega lesa v bukovih deblih, izravnanih med žledolomom. Les/Wood, 59, 2: 45–52.
- Kropivšek J., Čufar K. 2015. Potencialna raba bukovine in vrednote dodane vrednosti v izdelkih iz bukovine. Gozdarski vestnik, 73, 10: 470–478.
- Marenče J., Gornik Bučar D., Šega B. 2016. Bukovina – povezave med kakovostjo dreves, hlodovine in žaganega lesa. Acta Silvae et Lignae, 111: 35–47. <http://dx.doi.org/10.20315/asetl.111.4>
- Marenče J., Šega B. 2015. Povezave med kakovostjo bukovih dreves in iz njih izdelanih sortimentov. Gozdarski vestnik, 73: 429–441. <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-5SBMFSIP> (19. nov. 2025).
- MatWeb. b. l. <http://www.matweb.com/> (15. okt. 2024).
- Ozyhar T., Hering S., Niemz P. 2012. Moisture-dependent elastic and strength anisotropy of European beech wood in tension. Journal of Materials Science, 47, 16: 6141–6150. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-012-6534-8>
- Pehan S., Glodež S. 2018. Sistemsko projektiranje in konstruiranje: univerzitetni učbenik. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo. <http://dx.doi.org/10.18690/978-961-286-139-1>
- Ren Z., Ulbin M., Vesenjaj M. 2018. Inženirske računalniške simulacije v konstrukterstvu. Maribor, Univerzitetna založba Univerze, Fakulteta za strojništvo. <http://dx.doi.org/10.18690/978-961-286-140-7>
- SIST EN 14988 :2017+A1:2020 – Otroški visoki stoli – Zahteve in preskusne metode (SIST EN 14988 :2017+A1:2020 Children's high chairs - Requirements and test methods). 2017.
- SIST EN 17191:2021 – Pohištvo za otroke – Sedežno pohištvo – Varnostne zahteve in preskusne metode (SIST EN 17191:2021 - Children's Furniture - Seating for children - Safety requirements and test methods). 2021.
- SIST EN 1729-1:2016 – Pohištvo – Stoli in mize za vzgojno-izobraževalne ustanove – 1. del: Funkcionalne mere (SIST EN 1729-1:2016 - Furniture - Chairs and tables for educational institutions - Part 1: Functional dimensions). 2016
- SIST EN 1729-2:2016 – Pohištvo – Stoli in mize za vzgojno-izobraževalne ustanove – 2. del: Varnostne zahteve in preskusne metode (vključno z dopolnilom A1) (SIST EN 1729-2:2016 - Furniture - Chairs and tables for educational institutions - Part 2: Safety requirements and test methods). 2016.
- Slavič J., 2017.. Programiranje in numerične metode v ekosistemu Pythona. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani. [https://www.fs.uni-lj.si/wp-content/uploads/2022/08/Programiranje\\_ISBN\\_978-961-6980-45-6.pdf](https://www.fs.uni-lj.si/wp-content/uploads/2022/08/Programiranje_ISBN_978-961-6980-45-6.pdf) (21.11.2025).
- Šrajner D. 2022. Vključevanje elementov pedagogike Montessori v prilagojenem programu z nižjim izobrazbenim standardom: magistrsko delo. Ljubljana, Pedagoška fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=143373&lang=slv> (19. nov. 2025).
- Trstenjak J. 2015. Konstruiranje vrtljive vpenjalne priprave za varjenje valja drobilnega stroja: diplomsko delo. Maribor, Fakulteta za strojništvo. <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=54143&lang=slv> (19. nov. 2025)