

IZBIRA TEHNOLOGIJE STROJNE SEČNJE IN SPRAVILA LESA NA STRMIH TERENIH

SELECTION OF FULLY MECHANIZED HARVESTING TECHNOLOGY ON STEEP TERRAIN

Luka PAJEK^{1*}, Janez KRČ²

(1) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, luka.pajek@bf.uni-lj.si*

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, janez.krc@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

Zaradi potrebe po vse večji humanizaciji dela in vsesplošnem pomanjkanju delavcev, se povečuje delež strojne sečnje in spravila lesa tudi na strmih terenih. Analizirali smo možnost uporabe različnih tehnoloških rešitev za delo na strmih terenih. Nabor in vrednotenje tehnoloških rešitev smo povzeli po nemški raziskavi (Findeisen, 2008). Na podlagi primerjave razpoložljivih modelov tehnoloških rešitev smo v prvi fazi izmed 19 izbrali pet modelov: 1) stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar, 2) stroj za sečnjo z gosenicami in zgibni polprikoličar z vitlom za povečanje oprijema, 3) model z motorno žago, strojem za sečnjo z gosenicami in zgibni polprikoličar z vitlom za povečanje oprijema, 4) model v kombinaciji žičnice in motorne žage ter 5) sedlasti traktor s procesorsko glavo. Dodali smo še model 6) model z motorno žago, strojem za sečnjo z vitlom za povečanje oprijema in zgibni polprikoličar z vitlom za povečanje oprijema, ker je bil v preteklosti že uporabljen na izbranem delovišču. Glede na razmere na konkretnem delovišču smo izbranim modelom prve faze ocenili njihovo primernost po treh vidikih (ergonomski, okoljski in ekonomski). Za izbrane modele smo izračunali strošek dela, kjer smo upoštevali popravke cene dela, ki izhajajo iz razmer za izvedbo del na delovišču. Rezultati so pokazali, da je za analizirano delovišče najprimernejši model 6, ki omogoča sečnjo debelih dreves na velikih naklonih in izvedbo del na vsej površini delovišča. Medsebojna primerjava različnih tehnoloških rešitev in posledično izbor najbolj primerne tehnološkega modela v danih razmerah je sicer pilotna, a jo ocenjujemo kot koristno pomoč pri načrtu in uspešnem uvajanju sodobnih tehnologij v slovensko gozdarstvo.

Keywords: strojna sečnja; spravilo lesa; vitel za povečanje oprijema; strmi tereni; ergonomski vpliv; okoljski vpliv; ekonomski vpliv

ABSTRACT

Due to the increasing need to humanize work and the general shortage of labour, the share of mechanized felling and timber extraction is rising, even on steep terrain. We analysed the feasibility of various technological solutions for operations on steep slopes. The selection and evaluation of technological solutions followed the German study by Findeisen (2008). Based on a comparison of available technological models, we initially selected five models out of nineteen: (1) a harvester and an articulated forwarder, (2) a crawler harvester and a forwarder equipped with a traction winch, (3) a model combining a chainsaw, a crawler harvester, and a forwarder with a traction winch, (4) a model combining a cable yarder and a chainsaw, and (5) a specialised skidder with a processor head. A sixth model (chainsaw, harvester with traction winch, and a forwarder with traction winch) was added because it had previously been applied on the selected work site. The selected models were evaluated according to three criteria—ergonomic, environmental, and economic—based on the actual conditions of the work site. For the chosen models, we calculated labour costs, accounting for cost adjustments derived from the characteristics of the terrain. In the second phase of the study, model 6 proved to be the most suitable, as it enables the felling of large diameter trees on steep slopes and thus allows work to be carried out across the entire site. Although the comparison of technological solutions and the subsequent optimization of the model selection is preliminary, we consider it a useful tool for the planned and effective introduction of modern technologies into Slovenian forestry.

Ključne besede: mechanized harvesting; timber forwarding; traction-aid winch; steep slopes; ergonomic impact; environmental impact; economic impact

GDK 36:113(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.137.2

Prispelo / Received: 16. 06. 2025

Sprejeto / Accepted: 21. 10. 2025



1 UVOD

1 INTRODUCTION

Vse večja sta poudarek in zavedanje o potrebi krepitvi trajnih lokalnih gozdno-lesnih verig. Le te potekajo od drevesa v gozdu do končnega proizvoda s prizadevanjem za čim večjo dodano vrednost. Po drugi strani pa se na evropski in svetovni ravni spoprijemamo s

pomanjkanjem delavcev in težkimi delovnimi razmerami za tiste, ki delajo v gozdu (Šporčič in sod., 2023). Zato želimo raziskati različne pristope in načine, kako problematiko pomanjkanja gozdnih delavcev sekačev reševati tudi z uvajanjem sodobnih tehnologij.

Sečnja v državnih gozdovih se postopno širi tudi v pretežno neodprte in strme predele, kjer se delo v

gozdu do sedaj ni opravljalo, saj so bile razmere za delo z dosedanjim naborom tehnologij zaradi velikih naklonov terena in strmih pobočij prenevarne za delo gozdnih delavcev (Štunf, 2024). Če namesto klasične sečnje z motorno žago uvedemo strojno sečnjo, lahko zmanjšamo negativne vplive dela na delavce in povečamo varnost delavcev. Gozdarska podjetja se zato odločajo za nakup različnih strojev za delo v gozdu, saj so sodobni stroji bolj učinkoviti, zmogljivejši in bolj produktivni od strojev, ki se uporabljajo pri običajnih (klasičnih) tehnologijah (sečnja z motorno žago, ročno, traktorsko in žičnično spravilo lesa), predvsem pa je izvedba dela bolj varna. Dodaten dejavnik v prid uvajanja sodobnih strojev so vse bolj pogoste naravne ujme, zaradi katerih prihaja do veliko-površinskih poškodovanosti gozdov, ki jih je v večini primerov treba čim hitreje sanirati. Hitro in varno sanacijo po ujmah poškodovanih gozdov v kombinaciji z zahtevnimi terenskimi razmerami in ob upoštevanju pravilnih postopkov dela pogosto omogočajo le posebej prilagojeni stroji za sečnjo in spravilo lesa (Stoilov in sod., 2021). Zaradi relativne novosti in hitrega razvoja tehnologij za delo na strmih terenih je na voljo razmeroma malo strokovne in znanstvene literature o njihovi uporabnosti. Poseben izziv je odziv teh tehnologij na okoljske in terenske razmere, ki pa so v Sloveniji zelo raznolike in specifične v primerjavi z razmerami drugod po Evropi in svetu (Perpar in Udovč, 2012).

Prilagajanje strojne sečnje za delo na strmih terenih je pomembno predvsem za večje lastnike gozdov, ki so ključni za zagotavljanje zadostne količine lesa za lesno predelovalno industrijo. Nekatere raziskave v začetku uvajanja strojne sečnje v Sloveniji so pokazale, da je tehnologija strojne sečnje primerna za 8 % gozdov v zasebni in 9 % gozdov v državni lasti (Krč in Košir, 2003). S spremembami klimatskih razmer se bo v prihodnosti spreminjala struktura drevesnih vrst v lesni zalogi (predvsem v prid listavcev), posledično pa tudi primernost uporabe sodobnih tehnologij sečnje in spravila lesa. Hkrati bodo potrebne tudi spremembe pri razvoju lesno-predelovalne industrije, saj sedanja struktura zmogljivosti primarne predelave lesa ne bo konkurenčna in primerna za predelavo hlodovine listavcev (Arnič, 2023).

V bolj zahtevnih terenskih razmerah in predvsem tam, kjer so veliki nakloni terena, je običajen način dela s stroji za sečnjo in zgibnimi polprikolničarji zelo otežen ali pa celo ni mogoč. Zahtevne terenske razmere lahko presegajo omejitve, ki jih določajo tehnične zmogljivosti strojev. Prav tako pa je oteženo doseganje zahtevanih mej vplivov tudi na druge vidike izvedbe del, kot sta vidik gospodarnosti in okoljski vidik. Možna rešitev

za delo na zahtevnih terenih je uporaba strojne sečnje v kombinaciji s pomožnimi vitli, verigami ali gosenicami za boljši oprijem s podlago in za zmanjševanje poškodb na gozdnih tleh (Stoilov in sod., 2021). Tako prilagojena tehnologija se že uporablja v Avstriji, Nemčiji, Kanadi in na Novi Zelandiji. Prav tako nam ni poznano področje zakonodaje, ki bi obravnavalo izvedbo del in omejitve za sistem dela strojne sečnje s pomožnim vitlom na strmih terenih (Stampfer, 2016). FISC (Forest Industry Safety Council, 2022) je izdal vrsto dokumentov z opisi in predlogi dobrih praks za delo z gozdarskimi stroji na strmih terenih. Določili in dokumentirali so različne načine izvedbe del, kot tudi postopke izbire primernih delovišč s smernicami za delo strojnika pri delu na strmini.

Sečnja in spravilo lesa z dodatno pomočjo vitla za povečanje oprijema, na katero se med drugimi osredotočamo v tej raziskavi, imata vrsto pozitivnih lastnosti. Mednje štejemo zmanjšano možnost nastanka poškodb delavca pri delu v primerjavi z delom z motorno žago, visoko delovno produktivnost, manjše poškodbe na gozdnih tleh in nižje stroške kot pri spravilu lesa z žičnico (Visser in Spinelli, 2023). Poleg pozitivnih lastnosti pa so bile pri uporabi strojne sečnje in spravila ugotovljene tudi negativne lastnosti, ki bi se potencialno lahko pokazale tudi pri strojni sečnji z uporabo vitlov za povečanje oprijema. Mednje prištevamo povečane psihofizične obremenitve (Szewczyk in sod., 2020), med drugim tudi zaradi velikega števila delovnih operacij, ki jih mora strojnik opraviti v delovnem času (Paini in sod., 2019). Povečane poškodbe tal se kažejo z zbitostjo in premeščanjem tal ter globino kolesnic (Bratun in Kobal, 2018; Poje in sod., 2021). Med negativne lastnosti štejemo tudi večji delež poškodovanih dreves (Mihelič, 2014) v primerjavi s sečnjo z motorno žago in traktorskim spravilom lesa (Karszewski in sod., 2013).

Tako Visser in Stampfer (2015) ugotavljata, da so le posebni, namenski stroji primerni za delo na strmih terenih, saj so za varno delo potrebne nekatere prilagoditve stroja. Podjetje Komatsu je za uporabo njihovih strojev predvidelo terene z največjim naklonom 55 %, na katerih se delo z vitli še lahko varno opravlja. Med drugim sta Visser in Spinelli (2023) ugotovila, da je pri spravilu lesa z zgibnikom v kombinaciji s pomožnim vitlom delež poškodovanih tal za 25 % manjši kot v primeru brez uporabe vitla in da je hitrost premikanja strojev za spravilo lesa statistično značilno odvisna od naklona terena in uporabe vitla.

V praksi je rezultat postopka izbire tehnologij pridobivanja lesa najbolj pogosto kombinacija razpoložljivosti tehnologije in njene primernosti za uporabo

na konkretnem delovišču. Namen raziskave je tako (1) predstaviti nabor tehnoloških modelov mehanizirane sečnje in spravila lesa za delo na strmih terenih, (2) narediti ožji izbor realno razpoložljivih tehnoloških modelov za delo na srednje velikih in velikih naklonih terena v Sloveniji, (3) predstaviti postopek določanja primernosti razpoložljivih modelov na konkretnem primeru delovišča ter (4) na osnovi ocene primernosti na konkretnem delovišču izbrati tehnološki model, ocenjen kot potencialno razpoložljiv in najbolj primeren za izvedbo del na primeru konkretnega delovišča.

Cilja raziskave sta naslednja:

- Na podlagi kriterijev (Findeisen, 2008) izbrati razpoložljive tehnološke modele, oceniti njihovo primernost z ergonomskega, okoljskega in ekonomskega vidika.
- Oceniti primernost in uporabnost izbranega tehnološkega modela sečnje in spravila lesa za konkretno delovišče.

2 METODE

2 METHODS

2.1 Opis delovišča

2.1 Work area

Delovišče leži v gozdnogospodarskem območju Maribor, gozdnogospodarski enoti Lešje, krajevni enoti Haloze in revirju Žetale, v odseku 60A (46°16'15.2« N; 15°51'09.3« E) (slika 1). Površina odseka meri 15,6 ha, lastnik gozda je Republika Slovenija (Pregledovalnik..., b. l.). Drevesna sestava je mešana, prevladujejo listavci (56,4 %) z bukvi (*Fagus sylvatica* L.), sledijo ji hrast graden (*Quercus petraea* M.), beli gaber (*Carpinus be-*

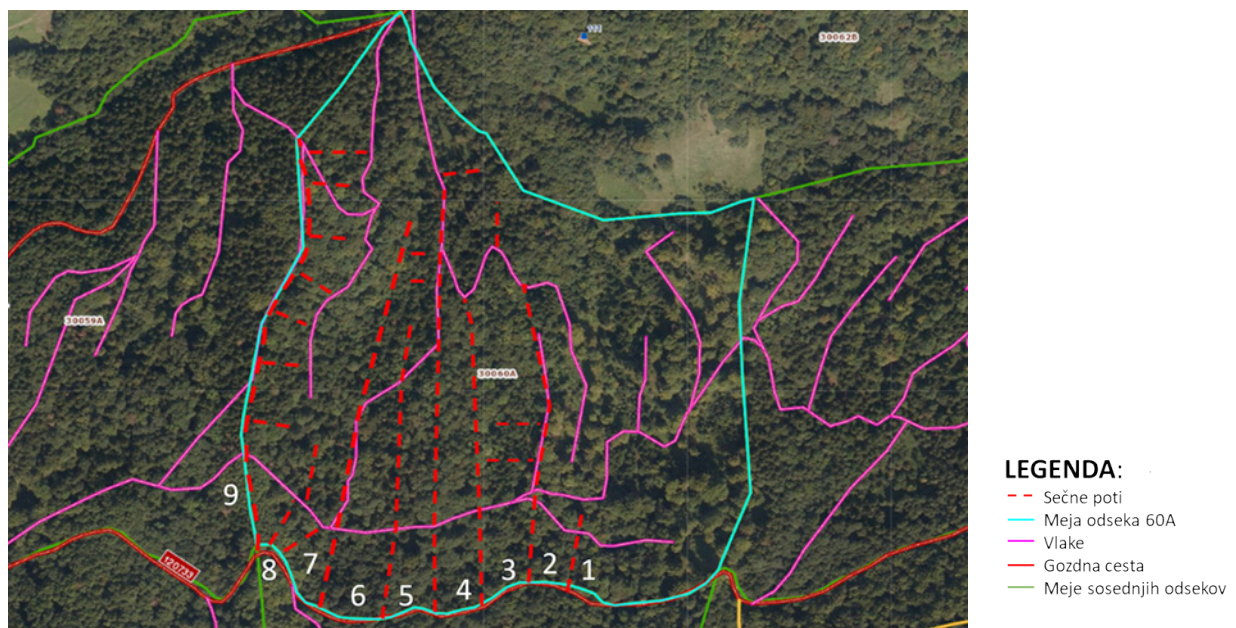
tulus L.) in pravi kostanj (*Castanea sativa* M.). Nekaj je tudi plemenitih listavcev, smreke (*Picea abies* L.), jelke (*Abies alba* M.) in rdečega bora (*Pinus sylvestris* L.). Relief je gričevnat, z apnenčasto podlago. Le 13 % površin ima naklone pod 30 %, 67 % površin ima naklone 30–50 % in 20 % naklone nad 60 % (Gozdnogospodarski ..., 2015).

Na 10,7 ha velikem delovišču je bilo pripravljenih 9 sečnih poti (slika 1), na katerih je bilo odkazanih skupno 1103 m³ lesa, od tega 55 % iglavcev in 45 % listavcev. Povprečno drevo je imelo 0,96 m³ pri povprečnem prsnem premeru 31 cm. Izmed vseh odkazanih dreves je bilo 79 dreves debelejših od 49 cm. Velik del listavcev je bil slabše kvalitete, kar se je pokazalo v krivosti debel, veliko listavcev pa je imelo v krošnjah veje debelejšje od 10 cm. V povprečju je razdalja med sečnimi potmi znašala 20 m, kar je bilo zagotovljeno z odkazilom dreves na sečnih poteh. Nakloni sečnih poti so bili izmerjeni s padomerom Suunto na vsakih 20 m in so znašali od 25 do 80 %, v povprečju pa 42 % (preglednica 1). Največji nakloni so vedno na kratkih razdaljah pri prehodu iz sečne poti na gozdno cesto (nasipna brežina). Smer spravila na vseh sečnih poteh je potekala navzgor, nobena pravilna razdalja pa ni bila daljša od 400 m.

2.2 Metode dela

2.2 Work methods

Prof. Erik Findeisen je skupaj s sodelavci napravil raziskavo o razvoju spravila lesa na strmih terenih "Development of an innovative timber skidding method for moderately sloped terrain". Rezultati raziskave so



Slika 1: Položaj načrtovanih sečnih poti v odseku 60A

Fig. 1: Location of planned harvesting trails in compartment 60A

Preglednica 1: Nakloni sečnih poti

Št. sečne poti	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Maksimalni naklon (%)	55	40	50	40	40	45	45	80	80
Povprečni naklon (%)	50	40	45	35	35	40	30	70	35

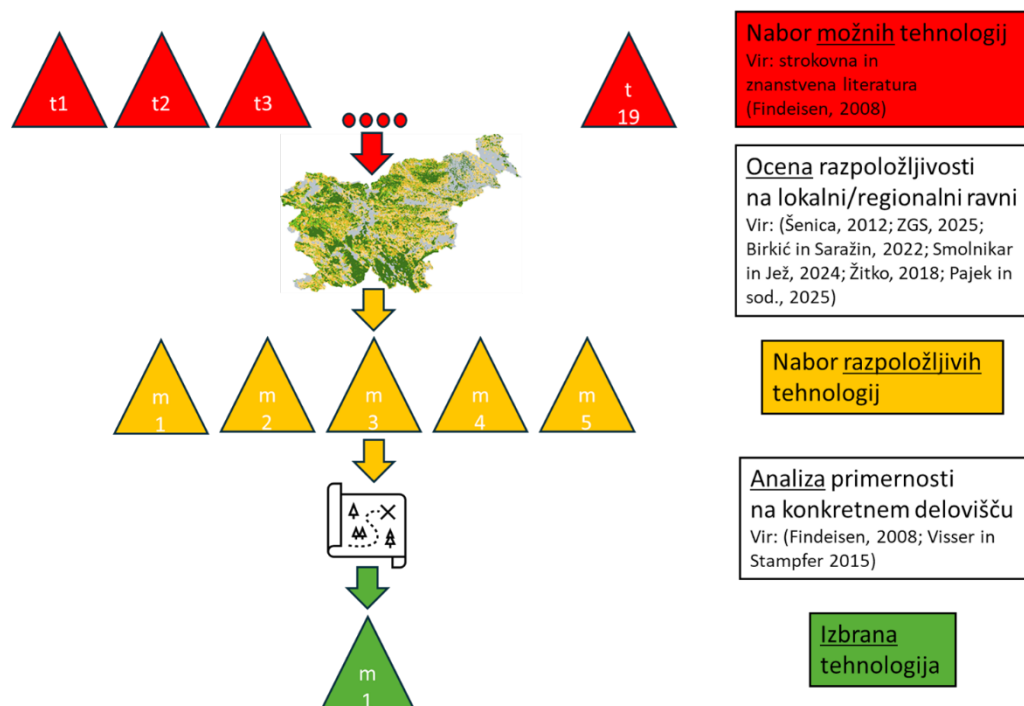
Table 1: Gradients of harvesting trails

namenjeni predvsem gozdarski operativi za odločanje o primernosti rabe tehnologij sečnje in spravila lesa v konkretnih delovnih razmerah, kakor tudi gozdarskim pedagoškim institucijam in v raziskovalne namene. V sklopu raziskave je bil izdan DVD »*Timber harvesting methods in steep and moderately sloped terrain- documentation of engineering and technologies*« (Findeisen, 2008), kjer je predstavljenih 19 različnih modelov tehnologij sečnje in spravila lesa, ki so primerne za delovišča s srednje velikimi 0 - 25, velikimi 25 - 50 in zelo velikimi > 50-odstotnimi nakloni terena. Tehnološki modeli so predstavljeni z opisi strojev, ki sestavljajo model, dejavniki omejitve, načini dela in delovnimi postopki. Opremljene so zahteve za uporabo modela ter postopki priprave in organizacija dela. Izbira tehnoloških modelov temelji na različnih vhodnih parametrih (drevesna vrsta, povprečni prsni premer, naklon terena, razdalja med vlakami ali sečnimi potmi, dolžina sečnih poti, relief, vlažnost tal in talne razmere).

Nadalje so tehnološki modeli ovrednoteni iz ekonomskega (težavnost dela, tveganje za poškodbe),

okoljskega (poškodbe tal in sestoja) ter ekonomskega vidika (strošek dela). Vrednotenje vidikov je narejeno za povprečne razmere v gozdovih nemške zvezne dežele Turingija, kjer je povprečni prsni premer dreves enak 25 cm in za naklone terena 35 - 50 %. V raziskavi ne navajajo, za katere vremenske razmere veljajo modeli, kakor tudi ne kakšen je bil povprečen strošek dela. Strošek dela posamezne tehnologije je odvisen tudi od popravkov osnovne cene (bonifikacij), ki jih določimo glede na specifične lastnosti delovišča.

Glede na poznavanje, dosedanje rabo, razpoložljivost tehnologij v slovenskem prostoru, zbrane vire in glede na terenske in sestojne razmere (povprečne naklone sečnih poti in povprečen prsni premer odkazanih dreves) smo v prvi fazi od vseh 19 modelov za izvedbo del v izbranem delovišču v Žetalah, v odseku 60A izbrali 5 modelov sečnje in spravila lesa (Šenica, 2012; Nove tehnologije, b. l.; Birkić in Saražin, 2022; Smolnikar in Jež, 2024; Žitko, 2018; Pajek in sod., 2025). Vseh pet izbranih modelov izvedbe dela za strme terene smo predstavili in vrednotili njihovo

**Slika 2:** Prikaz postopka izbire tehnološkega modela**Fig. 2:** Procedure of the process of selecting technological model

primernost iz ergonomskega, okoljskega in ekonomskega vidika (Findeisen, 2008). Za izbrane modele smo izračunali še stroške dela, kjer smo glede na specifične razmere na delovišču (preglednica 3) upoštevali tudi možne popravke za izračun stroškov. Pri izračunu smo sledili postopku, kot ga predvideva omenjena raziskava (Findeisen, 2008).

Po prvem izboru je sledil izbor modelov, ki so upoštevali še maksimalne naklone terena in maksimalne premere odkazanih dreves. Postopek izbora se je zaključil z izborom najbolj primerne tehnološkega modela glede na vse tri vidike ocenjevanja (slika 2).

Za izračun deleža površine delovišča, na katerem je možno uporabiti razpoložljive tehnološke modele, smo analizirali podatke o naklonu terena, izmerjene na sečnih poteh na razdalji vsakih 20 m. Vsoto dolžin 20-metrskih razdalj na posamezni sečni poti, katerih nakloni terena ne presegajo omejitve glede naklona terena posameznega tehnološkega modela, smo delili s skupno dolžino vseh sečnih poti. Kvociient ponazarja deleže površin, primernih posameznim tehnološkim modelom.

Pri izračunih stroškov dela smo pri vsakem izmed tehnoloških modelov upoštevali nekatere popravke (bonifikacije), ki jih predvideva Findeisnova metoda (2008). Pri modelih, kjer se uporablja stroj za sečnjo, smo pri izračunu stroškov upoštevali popravek za sečnjo listavcev. Sečne glave so namreč večinoma prilagojene za obdelavo ravnih, polnolesnih dreves iglavcev in ne za kleščenje krivih debel, kar močno otežuje ali celo onemogoča prehod sortimenta skozi sečno glavo (Mederski in sod., 2022). Pri oceni stroška dela zgibnega polprikoličarja smo upoštevali popravek osnovne cene za manipulacijo krivih sortimentov listavcev in popravek za dolžino pravilnih razdalj do 400 m, kolikor so dolge najdaljše poti na analiziranem delovišču, saj se z večanjem razdalje spravila produktivnost dela zmanjšuje (Holzfeind in sod., 2018). Pri tehnološkem modelu, kjer se poleg kompleta strojne sečnje ali žičnice uporablja tudi motorna žaga, metoda predvideva znižanje stroška motorne žage za 40% zaradi usmerjenega podiranja v doseg dvigala ali žičnice ter tudi zato, ker postopek kleščenja prevzame stroj za sečnjo. Pri pravilu lesa z žičnico je predvidena možnost povečati ceno dela s popravkom za zbiranje lesa na razdalji do 15 m v stran iz linije nosilne vrvi, saj se z oddaljenostjo privezovanja sortimentov od linije zmanjšuje produktivnost dela (Schweier in sod., 2024).

Na objektu raziskave v Žetalah sta se v preteklosti dejansko opravljala strojna sečnja in spravilo lesa z vitlom za povečanje oprijema. Uporabljena je bila kombinacija stroja za sečnjo in spravilo lesa znamke Ponsse, model Scorpion king (stroj za sečnjo) in Elk (zgibni

polprikoličar), opremljena sta bila z dvema vitloma za povečanje oprijema model T-winch 10.3, proizvajalca Ecoforst. Take kombinacije oz. modela nemška raziskava (Findeisen, 2008) ne obravnava. Podoben tehnološki model (model 3) pa je bil v ožjem izboru petih, to je dejansko razpoložljivih tehnoloških modelov v Sloveniji. Zato smo upoštevajoč značilnosti tehnološkega modela 3 (Visser in Stampfer, 2015) s kombinacijo motorne žage, stroja za sečnjo in zgibnega polprikoličarja z vitlom za povečanje oprijema (model 3, preglednica 2) dopolnili z dodatnim vitlom za povečanje oprijema in ga dodali kot model 6 (preglednica 2). Za ta model smo obračunali še dodaten strošek vitla in ga vrednotili po metodi kot druge modele (poglavje 2.1). Značilnosti in omejitve modela 6 smo povzeli po pregledu literature (Smolnikar in Jež, 2024; WCM, 2025; Visser in Stampfer, 2015; Pajek in sod., 2025).

2.3 Postopek vrednotenja primernosti posameznih modelov

2.3 Evaluation procedure for the suitability of individual models

Postopek vrednotenja tehnoloških modelov na delovišču zajema okoljski, ergonomski in ekonomski vidik. Vsak vidik je ocenjen na podlagi 5 parametrov, kjer je vsak parameter vrednoten z 1 točko (1T), razen pri ergonomskem vidiku, kjer se tveganje za nezgodo vrednoti s štirimi parametri, pri čemer se ročno-strojno podiranje in izdelava dreves na strmini vrednoti z dvema točkama. Pri ergonomskem in okoljskem vidiku so parametri razdeljeni v dva sklopa (preglednica 2). Vrednotenje temelji na pet-stopenjski barvni lestvici, kjer barve od rdeče (najmanj primerno) do temno zelene (najbolj primerno) odražajo skupno vsoto točk posameznih parametrov. Rdeča barva označuje delovišče, ki izpolnjuje vseh 5 parametrov (vsota točk 5, ocenjeno kot najmanj primerno), temno zelena pa delovišče z enim parametrom (vsota točk 1, ocenjeno kot najbolj primerno) za posamezen vidik (Findeisen, 2008; preglednica 2).

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Izbor modelov glede na povprečen naklon in premer dreves

3.1 Selection of models based on average slope and tree diameter

Izmed nabora devetnajstih tehnoloških modelov za strme terene (Findeisen, 2008) smo kot razpoložljive za delovišče glede na povprečne vrednosti naklonov sečnih poti in povprečni prsni premer v Žetalah izbrali pet modelov (slika 2), ki so opisani v nadaljevanju. Za izbrane modele smo se odločili glede na njihove karak-

teristike, način dela in možnost za delo na srednje velikih in velikih naklonih. Dodatno smo upoštevali tudi to, da so izbrani tehnološki modeli že bili uporabljeni v Sloveniji in smo za te modele imeli na voljo strokovno ali znanstveno literaturo. Za model 1 je bila narejena analiza obremenitev z ropotom (Šenica, 2012), model 2, ki je povzet po Findeisnu (2008), v enaki obliki za zdaj še ni predstavljen v slovenski literaturi, sta pa opisana način dela (Nove tehnologije, b. l.) in vrste pomožnih vitlov (Birkić in Saražin, 2022), v gospodarski družbi SiDG (Slovenski državni gozdovi) pa je bila prvič uporabljena tehnologija strojne sečnje in spravila s pomožnimi vitli. V posameznih primerih je bila opravljena tudi predsečnja, kot jo predvideva model 3 (Štunf, 2024). Spravilo z žičnim žerjavom in sečnja z motorno žago, ki ju združuje model 4, je tehnologija, ki je že vrsto let uporabljena v Sloveniji predvsem na Idrijskem in tudi v drugih hribovitih delih države (Košir, 1984). Žitko (2018) je v svoji diplomski nalogi ugotavljal težavnost dela strojnika na prilagojenem stroju za sečnjo Highlander (model 5). Zadnji model 6 je bil v slovenskem prostoru prvič uporabljen leta 2024 (Pajek in sod., 2025, Smolnikar in Jež, 2024) na treh deloviščih, katerih namen je bil preizkus tovrstne tehnologije na strmih in zahtevnih terenih (Štunf, 2024).

3.1.1 Model s kombinacijo stroja za sečnjo in zgibnega polprikoličarja

3.1.1 Model combining a harvester and a forwarder

Osnovni in najpogostejši model mehanizirane strojne sečnje (model 1), ki ga sestavljata stroja za sečnjo in izdelavo dreves ter zgibni polprikoličar za spravilo posekanega lesa. Omenjena stroja sta primerna za izdelavo okroglega lesa v gozdu, kjer so posamezna drevesa krojena na vnaprej določene dolžine hlodov, ki jih zahtevajo kupci (ang. *cut to length method*). Ta tehnologija je bila namenjena predvsem za sečnjo iglavcev in tankih listavcev, dandanes pa se uporablja tudi za debelejšje listavce (Mederski in sod., 2022). Upravljalca stroja za sečnjo drevo podre, ga oklesti in razžaga na sortimente ter nato zлага na kupe glede na kakovost lesa. Strojnik zgibnega polprikoličarja vedno uporablja iste sečne poti kot stroj za sečnjo pred njim in tako pobira pripravljene kupe ter jih iz gozda vozi na skladišče ob gozdni cesti. Tehnološki model je omejen predvsem z nakloni terena, na katerih še lahko varno deluje in pri tem ne povzroča poškodb tal. Omejitveni dejavnik so tudi premeri dreves, večji od 50 cm in debele veje pri listavcih, saj so sečne glave prilagojene za procesiranje polnolesnih dreves iglavcev, produktivnost strojev za sečnjo in spravilo pa je odvisna predvsem od njihovih morfoloških značilnosti (Mederski in sod., 2022; Ackerman in sod., 2021).

3.1.2 Model s kombinacijo stroja za sečnjo z gosenicami in zgibnega polprikoličarja s pomožnim vitlom

3.1.2 Model combining a tracked harvester and a winch-assisted forwarder

Model je zelo podoben prejšnjemu, le da ima pri tem stroj za sečnjo na kolesih nameščene gosenice za izboljšanje oprijema na strmini (model 2). Zgibni polprikoličar je na zgornji točki (ne glede na smer spravila), navadno je to na gozdni cesti, pripet na samostojni pomožni vitel (dinamičen). V primeru, da ima stroj vitel nameščen sam nase (pasiven), pa je jeklena vrv sidrana na močnejše drevo nad gozdno cesto. Vitli se ločijo tudi glede na maksimalno vlečno silo, dolžino jeklene vrvi, vrsto pogona in nabavno ceno (Smolnikar in Jež, 2024).

3.1.3 Model kombinacije dela z motorno žago, strojem za sečnjo z gosenicami in zgibnim polprikoličarjem s pomožnim vitlom

3.1.3 Model combining a chain saw, a tracked harvester and a winch-assisted forwarder

Tudi ta model (model 3) je podoben predhodnemu, le da je tu še sekač z motorno žago, ki pred prihodom stroja za sečnjo usmerjeno podre drevesa, ki so debelejša od maksimalnega razpona sečne glave, in jih podre proti sečni poti, da jih strojnik doseže s hidravlično roko, če je treba, pa zaradi večjih premerov prvih sortimentov skroji prve sortimente na drevesu. Razdalja med sečnimi potmi je lahko daljša kot pri prejšnjima dvema modeloma, saj vmesna drevesa sekač z usmerjenim podiranjem "približa" dosegu hidravlične roke, kar zmanjša površino, namenjeno sečnim potem, to pa pozitivno vpliva na dostopen rastni prostor za drevesa (Picchio in sod., 2020). Ker delo sekača uvrščamo med poklice z visokim tveganjem za pojav nezgod, je takšna oblika dela bolj tvegana od prejšnjih opisanih modelov (Poje, 2006).

3.1.4 Model kombinacije spravila lesa z žičnico in sečnje dreves z motorno žago

3.1.4 Model in a combination of a chain saw, a tracked harvester, and a winch-assisted forwarder

Žičniško spravilo se uporablja pretežno v gorskem svetu z zelo velikimi nakloni, hkrati pa tudi na drugih, lahko tudi ravnih deloviščih, kjer je nosilnost tal zelo majhna in ni mogoče spravilo s težkimi gozdarskimi stroji (Schweier in sod., 2020). Pri tem modelu (model 4) se stroji ne premikajo po gozdni cesti. Žični žerjav, ki je sestavni del tovornjaka, stoji na gozdni cesti. Glede na smer spravila lesa je žični žerjav lahko zgoraj (pri spravilu lesa navzgor), ali spodaj na pobočju (pri

spravilu lesa navzdol). Uporablja se drevesna metoda, kjer sekač drevesa podre, pripenjalec pa drevo pripne na voziček in ga po jekleni vrvi spravi do gozdne ceste oz. do kamiona s procesorjem. Na gozdni cesti strojnik drevo oklesti in razžaga s procesorsko glavo, ki je nameščena na dvigalu (hidravlični roki) tovarnjaka.

3.1.5 Model sedlastega traktorja s procesorsko glavo

3.1.5 Model of a specialised steep-slope skidder equipped with a processor head

Prilagojeni (specialni) stroj za strme naklone, ki ga imenujemo tudi sedlasti traktor s procesorsko glavo, je npr. Highlander proizvajalca Konrad (model 5). Gre za kombiniranega 6- ali 8-kolesnika z veliko medosno razdaljo, samodejno nivelirano varnostno kabino, kar mu omogoča veliko stabilnost in "boogie" sistem osi, ki se lahko zelo prilagaja terenu. Stroj je tehnološko sodoben in združuje tako stroj za sečnjo (ima procesorsko glavo) in zgibnik (sistem "clam bunk"), kar mu omogoča, da izdelane sortimente ali posekana drevesa naloži na klešče in jih spravi iz gozda do gozdne ceste. Stroj tako opravlja sečnjo in spravilo lesa do gozdne ceste. Prednost takega stroja je v tem, da imamo en sam stroj in ni v kombinaciji še z dodatnim strojem, kot je to običajno pri strojni sečnji in spravilu z zgibnim polprikoličarjem (Žitko, 2018).

3.1.6 Model s kombinacijo dela z motorno žago, stroja za sečnjo s pomožnim vitlom in zgibnega polprikoličarja s pomožnim vitlom

3.1.6 Model combining chainsaw work, a winch-assisted harvester and a winch-assisted forwarder

Model 6 se od modela 3 loči le po tem, da tudi stroj za sečnjo uporablja svoj vitel za povečanje oprijema in ne samo zgibni polprikoličar. V kombinaciji s presečnjo z motorno žago so tako razdalje med sečnimi potmi večje kot pri modelu 1, dolžina sečnih poti pa je omejena z dolžino vrvi na vitlu. Vitel znamke Ecoforst, model T-winch 10.3 ima dolžino vrvi 500, kar pa v praksi pomeni, da je sama dolžina linije nekoliko krajša, saj mora vedno nekaj ovojev vrvi ostati na bobnu vitla. Glede na izkušnje pri delu s tem tehnološkim modelom na podobnih deloviščih z velikimi nakloni terena lahko ob ugodnih vremenskih in talnih razmerah stroja še opravljata delo na naklonih terena do 80 % (Pajek in sod., 2025). Glede na ugotovitve drugih avtorjev pa lahko sklepamo, da na delo celo pri večjih naklonih od 80 % vplivajo poleg talnih razmer (Holzfeind in sod., 2020) tudi izkušnje, znanje in psihofizične sposobnosti delavca (Szewczyk in sod., 2020).

V naboru 19 tehnoloških modelov (Findeisen, 2008) nismo obravnavali naslednjih modelov: (1) motorna žaga in spravilo z zgibnim polprikoličarjem z vitlom za povečanje oprijema, (2) prilagojen stroj za sečnjo za velike naklone (sedlasti traktor), motorna žaga in samostojni gosenični vitel za privlačenje dreves, (3) motorna žaga, zgibnik z vitlom za privlačenje in zgibni polprikoličar, (4) motorna žaga in zgibnik z vitlom za privlačenje in dvigalom, (5) motorna žaga, žičniško spravilo s prilagojenim bagrom (Swing Boom Yarder) in sortiranje na skladišču z zgibnim polprikoličarjem, (6) motorna žaga in žičniško spravilo s prilagojenim bagrom (Swing Boom Yarder), (7) motorna žaga, manjša traktorska žičnica, stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar, (8) motorna žaga, veliki žični žerjav na tovarnjaku, stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar, (9) motorna žaga, veliki žični žerjav na tovarnjaku in zgibnik z vitlom ter dvigalom, (10) motorna žaga, mobilni žični žerjav na bagru, zgibnik z vitlom in dvigalom ter zgibni polprikoličar, (11) motorna žaga, mobilni žični žerjav na bagru in zgibnik z vitlom ter dvigalom, (12) motorna žaga, klasični žični žerjav, zgibnik s procesorjem in zgibni polprikoličar, (13) motorna žaga, klasični žični žerjav in zgibni polprikoličar, (14) motorna žaga, stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar ki opravlja spravilo samo navzdol.

Poleg predstavljenega opisa posameznih modelov in načina dela so v preglednici 2 prikazane omejitve za uporabo tehnologij glede na naklon terena, dolžino sečne poti, smer spravila lesa, razdalje med sečnimi potmi in dimenzije prsnih premerov dreves. Največje naklone terena obvladuje model 4, najmanjše pa model 1. Najdaljše sečne poti teoretično lahko uporabljata modela 1 in 5, saj nimata omejitev. Sečne linije, dolge do 1000 m, se lahko izvajajo z modelom 4, modeli 2, 3 in 6 pa lahko delajo na sečnih poteh, dolgih do 500 m oz. odvisno od dolžine vrvi na pomožnem vitlu. Zaradi usmerjenega podiranja z motorno žago so lahko pri modelu 4 razdalje med linijami 30 m, modelu 6 pa 40 m. Pri vseh drugih modelih pa so razdalje med linijami le do 20 m oz. kolikor dovoljuje doseg hidravličnega dvigala z obeh sosednjih linij. Modeli 1, 2 in 5 so primerni za drevesa do 50 cm prsnega premera, modeli 3, 4 in 6 pa tudi za drevesa, debelejša od 50 cm (preglednica 2).

Za vse izbrane modele smo opravili vrednotenje na podlagi nabora parametrov, ki jih določa uporabljena metoda. Parametri po ergonomskem, okoljskem in ekonomskem vidiku so predstavljeni v preglednici 3, kjer so prikazane tudi pripadajoče točke, dosežene pri posameznem modelu. Izbor parametrov po modelih je temeljil na podlagi razmer na izbranem delovišču v

Preglednica 2: Prikaz omejitev in značilnosti izbranih modelov strojne sečnje in spravila lesa

Št. modela	Model sečnje in spravila lesa ¹	Priporočen naklon (%)	Maksimalen naklon (%)	Dolžina sečne poti (m)	Smer spravila	Razdalja med sečnimi potmi (m)	DBH (cm)
1	SS in ZP	0-35	> 50	/	↓↑	20	<20-50
2	SSG in ZPTV	35-50	> 70	500	↓↑	20	<20-50
3	MŽ, SSG in ZPTV	35-50	> 70	500	↓↑	40	<20 >50
4	ŽS in MŽ	50-70	100	150-1000	↓↑	30	<20 >50
5	STP	35-50	> 70	/	↓↑	20	<20-50
6	MŽ, SSGTV in ZGTV	35-50	> 80	500	↓↑	40	<20 >50

¹SS in ZP- Stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar, SSG in ZPTV - Stroj za sečnjo z gosenicami in zgibni polprikoličar z vitlom za povečanje oprijema, MŽ, SSG in ZPTV- Motorna žaga, stroj za sečnjo z gosenicami in zgibni polprikoličar z vitlom za povečanje oprijema, ŽS in MŽ- Žičniško spravilo in sečnja z motorno žago, STP- Sedlasti traktor s procesorsko glavo, MŽ, SSGTV in ZPTV- Motorna žaga, stroj za sečnjo z vitlom za povečanje oprijema in zgibni polprikoličar z vitlom za povečanje oprijema.

Žetalah, glede na način dela in lastnosti posameznega modela. Uvrstitev modelov v cenovni razrede je narejena na podlagi preglednice 4.

Rezultati ocene primernosti z upoštevanjem popravkov pri stroških dela (preglednica 3) kažejo, da so z ergonomskega vidika zelo primerni modeli 1, 2 in 5 z vidika varnosti in nizkih obremenitev dela (vsota točk 2), ki so posledica popolne mehaniziranosti in varne kabine, kar zagotavlja ugodne razmere za delavca. Sledita jim modela 3 in 6 z vsoto 4 in model 4 z vsoto točk 7, ki ima največjo skupno vsoto točk predvsem zaradi izvedbe del z motorno žago in sečnje na strmini. Z okoljskega vidika se kot najbolj primerni kažejo tehnološki modeli 2, 3 in 6 z vsoto točk 4, drugi pa imajo skupno vsoto točk 5. Glavni razlog je majhna medsebojna oddaljenost sečnih poti, kar posledično pomeni potrebo po večji gostoti prometnic na enoto površine delovišča, spravilo dolgih sortimentov (drevesna metoda) pa povzroča večje poškodbe sestoja. Poleg tega veliki nakloni terena prispevajo k znatno višjemu tveganju za poškodbe tal, kar se kaže v večjem številu točk v tej kategoriji. Pri modelu 4 je problem tudi podiranje dreves z motorno žago in pripenjanje bremen na strmini ter spravilo lesa s pomočjo jeklene vrvi, kar poleg težavnosti dela povzroča večje mehanske poškodbe na preostalem drevju v sestoji (Picchio in sod., 2019).

Glede na skupne ocene ergonomskih in okoljskih vplivov iz preglednice 2 bi bil najprimernejši model 2, ki dosega vsoto točk 6 (preglednica 3). Model 1 ima kljub dobri ergonomski oceni najslabšo oceno z vidika poškodb tal, ker ni prilagojen za večje naklone, obenem pa ne omogoča sečnje debelih dreves listavcev, kar je tudi omejitveni dejavnik za večino modelov, razen za model 3, 4 in 6, ki vključujejo tudi delo z motorno žago. Skupna vsota točk vseh treh vidikov po posa-

Table 2: Overview of the limitations and characteristics of selected mechanized harvesting and extraction models

meznih modelih kaže, da sta najprimernejša modela 1 in 2 (stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar ter kombinacija stroja za sečnjo z gosenicami in z gibnega polprikoličarja z vitlom za povečanje oprijema). Oba modela sta dosegla najnižjo skupno vsoto točk 8, največjo pa je dosegel model 4 (kombinacija sečnje z motorno žago in žičnim žerjavom), in sicer 15, kar je predvsem posledica velikega tveganja za pojav nezgod in velike fizične obremenitve delavca sekača, visokih stroškov dela in poškodb sestoja (preglednica 3).

V preglednici 4 so podani tudi pripadajoči stroški dela z upoštevanimi popravki za specifične razmere v izbranem delovišču. Popravke lahko dodelimo glede na prsni premer dreves, krivost sortimentov (2,5 %), drevesno vrsto (10 %), podiranje v smer sečne poti (-40 %), pravilno razdaljo, smer spravila (10 %) in privlačenje iz smeri (5 %) (preglednica 4). Vsi popravki vplivajo na učinkovitost izvedbe dela posameznih tehnoloških modelov.

Pri vrednotenju stroškov dela je model 1 zbral 1 točko, model 2 po 2 točki, drugi modeli pa 3 točke, saj jih glede na stroške dela uvrščamo v tretji razred. Najcenejši izmed vseh je model 1, najdražji pa model 6, ki je za 8,4 eur/m³ dražji od najcenejšega modela z upoštevanimi popravki stroškov dela. Findeisnova metoda predvideva pri izračunu stroškov dela za stroj za sečnjo dodatek 25 % osnovnega stroška, če se pri delu uporablja vitel za povečanje oprijema. Z izračunom smo ugotovili, da se tako strošek dela z vsemi upoštevanimi popravki in dodatkom zaradi vitla poveča za 2,35 eur/m³. Končni strošek dela dodelanega modela 3 (model 6) bi v tem primeru znašal 27,1 eur/m³. Kljub najvišjemu strošku dela pa izbrani model dosega enak cenovni razred pri ekonomskem vidiku (3T) kot modela 3 in 4.

3.2 Izbor modelov glede na največji naklon terena in premer dreves

3.2 Selection of models based on maximum terrain slope and tree diameter

Primerjava izmerjenih maksimalnih naklonov terena na posameznih sečnih poteh (preglednica 1) z maksimalnimi nakloni, pri katerih so izbrani tehnološki

modeli v prvi fazi še primerni za uporabo po kriterijih nemške raziskave (preglednica 3), je omogočila dodatno analizo ustreznosti uporabe posameznega modela na različnih sečnih poteh. Po Findeisovi metodi (2008) bi bil prvi tehnološki model uporabljen na linijah 2 -7, drugi, tretji in peti model na linijah 1 -7, medtem ko bi bila tehnološka modela 4 in 6 primerna za uporabo

Preglednica 3: Izbor parametrov vrednotenja po posameznih vidikih in tehnoloških modelih

Table 3: Selection of evaluation parameters by aspect and technological model

		Parametri vrednotenja	Št. točk	Model						
				1	2	3	4	5	6	
Ergonomski vidik	Obremenitve delavca	Popolno strojno mehanizirano delo	1	x	x			x		
		Pripenjanje bremena na strmini	1				x			
		Spuščanje ali pomoč stroju z vitlom, daljšim od 20 m	1							
		Ročno-strojno podiranje na strmini ali ročna izdelava dreves na gozdni cesti	1			x	x		x	
		Ročno-strojna izdelava dreves na strmini	1			x	x		x	
		Vsota točk za obremenitve delavca		1	1	2	3	1	2	
	Tveganje za nezgode	Popolnoma strojno mehanizirano delo	1	x	x				x	
		Ročno-strojno podiranje na strmini ali ročna izdelava na gozdni cesti	1					x		
		Ročno-strojno podiranje in izdelava na strmini	2			x	x			x
		Žičniško spravilo lesa (z žičnico ali traktorskim vitlom)	1					x		
Vsota točk za tveganje za nezgode			1	1	2	4	1	2		
Okoljski vidik	Poškodbe tal	Razdalja med gozdnimi cestami >250 m	1	x	x	x	x	x	x	
		Razdalja med gozdnimi cestami <120 m	1							
		Razdalja med pravilnimi potmi >40 m pri strojih za sečnjo in žično spravilo	1							
		Razdalja med pravilnimi potmi <20 m pri strojih za sečnjo in žično spravilo	1	x	x	x	x	x	x	
		Spravilo lesa z zgibnim polprikoličarjem brez vitla za povečanje oprijema	1	x						
		Vsota točk za poškodbe tal		3	2	2	2	2	2	
	Poškodbe sestoja	Spravilo sortimentov z dvigalom stroja	1	x	x	x			x	x
		Spravilo sortimentov z žično vrvjo	1					x		
		Spravilo dolgih sortimentov z dvigalom	1					x	x	
		Spravilo dolgih sortimentov z žično vrvjo s ceste ali navzdol	1					x		
Poškodbe sestoja zaradi zdrsov stroja (poškodbe koreninskega sistema)		1	x	x	x			x	x	
Vsota točk za poškodbe sestoja			2	2	2	3	3	2		
Ekonomski vidik	17,50- 19,99 eur/m³		1	x						
	20,00- 23,49 eur/m³		2		x					
	23,50- 27,99 eur/m³		3			x	x	x	x	
	28,00- 33,49 eur/m³		4							
	33,50- 45,70 eur/m³		5							
	Vsota točk za strošek dela			1	2	3	3	3	3	
		VSOTA TOČK		8	8	11	15	10	11	

Legenda barv / Colour legend:

	Zelo primeren (1T)
	Primeren (2T)
	Srednje primeren (3T)
	Manj primeren (4T)
	Neprimeren (5T)

Preglednica 4: Izračun stroškov izvedbe dela po posameznih strojih za razmere v delovišču s popravki**Table 4:** Calculation of work execution costs by machine under site-specific conditions with adjustments

Strošek dela pri povprečnem prsnem premeru do 35 cm					
Št. modela	Stroj	Osnovna cena (eur/m ³)	Popravek	Velikost popravka (%)	Cena s popravki (eur/m ³)
1	Stroj za sečnjo	8,0	Sečnja listavcev	+10	9,0
			Krivost sortimentov (več kot 4 sortimenti)	+2,50	
	Zgibni polprikoličar	8,6	Krivost sortimentov	+2,5	9,7
			Spravilne razdalje do 400m	+10	
	SKUPAJ (eur/m³)	16,6			18,7
2	Stroj za sečnjo z gosenicami	9,4	Sečnja listavcev	+10	10,6
			Krivost sortimentov (več kot 4 sortimenti)	+2,5	
	Zgibni polprikoličar z vitlom	9,5	Krivost sortimentov	+2,5	10,7
			Spravilne razdalje do 400m	+10	
	SKUPAJ (eur/m³)	18,9			21,3
3	Motorna žaga	4,3	Podiranje dreves v doseg dvigala (doseg dvigala do 10m)	-40	2,6
	Stroj za sečnjo z gosenicami	9,4	Sečnja listavcev	+10	12,9
			Krivost sortimentov (več kot 4 sortimenti)	+2,5	10,6
	Zgibni polprikoličar z vitlom	9,5	Krivost sortimentov	+2,5	11,6
			Spravilo navzgor	+10	
			Spravilne razdalje do 400m	+10	
	SKUPAJ (eur/m³)	23,2			24,8
4	Motorna žaga	4,3	Podiranje dreves v doseg pobiralne vrvi	-40	2,6
	Žični žerjav	20,4	Privlačevanje <15m iz strani	+5	22,8
			Sečnja listavcev	+5	
	SKUPAJ (eur/m³)	24,7			25,4
5	Sedlasti traktor s procesorjem	18,0	Krivost sortimentov	+2,5	0,5
			Sečnja listavcev	+10	1,8
			Razdalja vlačjenja do 500 m	+20	3,6
	SKUPAJ (eur/m³)	18,0			23,9
6	Motorna žaga	4,3	Podiranje dreves v doseg dvigala (doseg dvigala do 10m)	-40	2,6
	Stroj za sečnjo z gosenicami	9,4	Sečnja listavcev	+10	12,9
			Strošek vitla	+25	
			Krivost sortimentov (več kot 4 sortimenti)	+2,5	
	Zgibni polprikoličar z vitlom	9,5	Krivost sortimentov	+2,5	11,6
			Spravilo navzgor	+10	
			Spravilne razdalje do 400m	+10	
	SKUPAJ (eur/m³)				27,1

na vseh linijah. Izračun deleža površine delovišča, primerne za posamezen tehnološki model, kaže, da je model 1 uporaben na 92 % površine, modeli 2, 3 in 5 na 95 %, le modela 4 in 6 pa na celotni površini delovišča (slika 3).

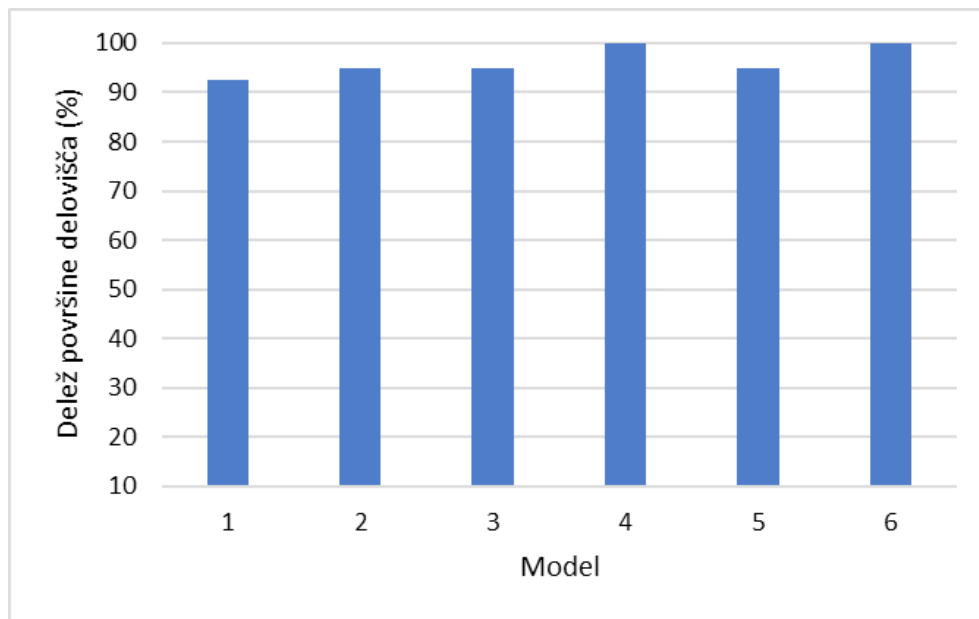
Na izbranem delovišču je bilo odkazanih 79 dreves s premeri, večjimi od 49 cm. To pomeni, da so za izbrano delovišče primerni le tehnološki modeli, ki vključujejo tudi motorno žago, saj je za izvedbo sečnje in izdelava dreves, debelejših od 50 cm, potrebno delo z motorno žago. Zato lahko iz nabora šestih modelov uporabimo le modele 3, 4 in 6 (preglednica 3), ob upoštevanju tudi

največjih naklonov terena pa le modela 4 in 6. Ker ima model 6 med preostalimi tremi modeli najmanjšo skupno vsoto točk, ugotavljamo, da je model 6 najprimernejša tehnološka izbira za izbrano delovišče.

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Z analizami o odločitvah glede uporabe primernih metod za sečnjo in spravilo lesa na določenem območju je bilo narejenih že kar nekaj raziskav. Med drugim so ugotovili kot uspešno uporabo kombinacijo geo-informacijskih storitev in metode za določevanje pomemb-



Slika 3: Delež primernosti tehnoloških modelov na izbranem delovišču

Fig. 3: Proportion of suitable technological models at the selected site

nosti kriterijev pri več kriterijalnem odločanju (AHP metoda) pri odločitvah o izbiri tehnologij (Marčeta in sod., 2020). Raziskovalci so za odločanje pri izbiri tehnoloških modelov sečnje in spravila lesa uporabili oceno kriterijev, ki so bili razdeljeni v tri skupine vidikov, in sicer ekonomski, ekološki in socialni vidik (Dimou in Malivitsi, 2015). Pri izbiri optimalne tehnologije za izbrano prostorsko območje upoštevamo veliko število dejavnikov, ki se med seboj razlikujejo po pomembnosti. Zato Lindroos in sod. (2017) navajajo, da »nikoli ni popolne rešitve«, saj se tehnologije hitro spreminjajo in dopolnjujejo, hkrati pa ni vsaka tehnologija družbeno sprejeta, četudi bi bila tehnično najboljša izbira.

Pojav nezgod pri delu s sodobnimi stroji je v primerjavi s klasičnim načinom sečnje znatno manjši. V Novi Zelandiji so ugotovili, da se je s pojavom vitlov za povečanje oprijema zmanjšalo število nesreč in smrtnih nezgod pri strojni sečnji in spravilu lesa, saj je s tem načinom dela možno opravljati posege v gozdovih na velikih naklonih terena, kjer bi drugače delo lahko opravljali le z motorno žago (Garland in sod., 2019). Ugotovljeno je bilo tudi, da delo s sodobno mehanizacijo na strmih naklonih pomembno vpliva na psihične (Szewczyk in sod., 2020) in psihofizične (Spinelli in sod., 2020; Pajek in sod., 2025) obremenitve.

Sistemi strojne sečnje in spravila lesa v kombinaciji z vitlom za povečanje oprijema se že nekaj let uporabljajo v sosednji Avstriji, Kanadi in na Novi Zelandiji, postopoma pa tehnologija prihaja tudi v druge evropske države. V Evropi naj bi se uporabljali predvsem vgradni (pasivni) in manjši vitli z vlečno silo 5-12 ton, medtem ko naj bi se v Kanadi in na Novi Zelandiji upo-

rabljali večji vitli (aktivni) z vlečno silo več kot 20 ton (Visser in Spinelli, 2023). Ugotavljata tudi uporabnost tovrstnih tehnologij zaradi pozitivnih lastnosti uporabe vitlov pri spravilu lesa. Avtorja navajata do 8 % večjo produktivnost na 30-odstotnem naklonu terena in nizek delež kolesnic, globljih od 15 cm (2 %). Podobno so uporabnost z ekološkega vidika ugotovili tudi Schönauer in sodelavci (2020), kjer so z meritvami sil v vrvi med strojem in vitlom ugotavljali zdrse koles pri stroju za spravilo lesa in ugotovili, da se na ravnem terenu z uporabo vitla zmanjšajo zdrsi koles od 5,3 do 0,37 %. Pri raziskavi na 40-odstotnem naklonu terena so prav tako ugotovili, da se zdrsi pri sečnji s strojem z gosenicami in uporabo vitla skoraj ne pojavljajo (Iarocci, 2017).

Glede na razmere v analiziranem delovišču smo v prvi fazi izmed 19 modelov iz nemške raziskave (Findeisen, 2008) izbrali pet po naši oceni in dostopnih virih realno razpoložljivih modelov izvedbe del. Le tem smo dodali še model 6, ki je v preteklosti že bil uporabljen na izbranem delovišču in jih za izbor za konkretno delovišče ovrednotili po posameznih kriterijih (obremenitve delavcev, možnost za nezgode pri delu, poškodbe tal, poškodbe sestojev in strošek dela). Modeli se med obravnavanimi kriteriji razlikujejo tudi glede gostote potrebnih sečnih poti in posledično izgube rastnega prostora. Razlikujejo pa se tudi v metodi pridobivanja lesa (sortimentna ali drevesna metoda), kar pomembno vpliva na poškodbe sestoja (Picchio in sod., 2020).

Raziskava je v drugi fazi pokazala, da bi bil za izbrano delovišče glede na maksimalen naklon terena

in maksimalne prsne premere odkazanih dreves najprimernejši model 6 (model z motorno žago, strojem za sečnjo z vitlom za povečanje oprijema in zgibni polprikolničar z vitlom za povečanje oprijema). V nemški raziskavi je za podoben model (kombinacija motorne žage, stroja za sečnjo z gosenicami in zgibni polprikolničar z vitlom za povečanje oprijema (model št. 3, preglednica 2) opredeljeno, da naj bi se le ta uporabljal v ugodnih razmerah tudi na naklonih do 70 %, kar pa je predvsem odvisno od vremenskih in talnih razmer. Na analiziranem delovišču so nakloni sečnih poti v povprečju 42-odstotni, tu in tam pa dosega tudi 80 %. Če se sklicujemo tudi na ugotovitve iz literature (Visser in Stampfer, 2015), bi lahko prvi model opravljal dela na linijah 2 - 7. Drugi, tretji in peti model omogočajo delo na linijah od 1 - 7, saj sedlasti traktor nima dodatnega vitla. Modela 4 in 6 pa omogočata delo na vseh linijah, saj je s stroji za sečnjo in z zgibnimi polprikolničarji z vitlom in žičnicami možno opravljati dela tudi na naklonih terena do 80 % ali celo več v primeru žičnice (preglednica 2).

Za izbrano delovišče smo kot najprimernejši tehnološki model izbrali model 6 (preglednica 2), pri katerem se uporablja kombinacija dela z motorno žago, stroj za sečnjo z gosenicami in zgibni polprikolničar z vitlom za povečanje oprijema. Izbrani model je od alternativnega modela 4 boljši z ergonomskega in okoljskega vidika, obenem pa ju uvrščamo v isti stroškovni razred. Zastavlja se vprašanje, ali lahko z ergonomskega vidika sploh primerjamo ta dva modela glede na analizirane kriterije, saj gre pri modelu 4 za popolno ročno-strojno sečnjo vseh dreves na delovišču, pri modelu 6 pa le za nekaj dreves, ki jih stroj za sečnjo ne more procesirati zaradi omejitev sečne glave. Menimo, da je ne glede na rezultate, ki jih daje nemška raziskava, in sklicujoč se na druge raziskave, težavnost dela pri sečnji, kjer spravilo poteka z žičnico, težavnejše (Szewczyk in sod., 2020; Grzywiński in sod., 2022).

Ker izbranega modela (6) ni v izvirni nemški študiji, smo za izračun stroškov dela uporabili model 3 (preglednica 2) in mu dodali še strošek vitla (+25 % osnovnega stroška stroja). Tako dopolnjeni tehnološki model lahko obvladuje tudi večje naklone terena (Smolnikar in Jež, 2024; Visser in Stampfer, 2015). Glede na razmere v analiziranem delovišču bi lahko uporabili tudi model motorne žage in žičnega žerjava (model 4, preglednica 2), saj prav tako omogoča sečnjo in obdelavo debelih dreves, obenem pa dovoljuje delo na naklonih do 100 %. Vendar je primerjava ergonomskega in okoljskega vidika pokazala, da je takšen model manj primeren. Rezultati drugih avtorjev (Picchio in sod., 2020) so pokazali, da spravilo lesa z žičnico pov-

zroča tudi do 15 % več poškodb sestoja kot pri strojni sečnji in spravilu z zgibnim polprikolničarjem, po kriterijih nemške raziskave pa dosega tudi najslabšo oceno z ergonomskega vidika.

Strošek dela izbranega modela (preglednica 2, model 6) smo izračunali z upoštevanjem dodatkov k osnovni ceni stroja za sečnjo iz modela 3. Tako se je skupna cena izbranega tehnološkega modela povečala iz 24,7 eur/m³ na 27,1 eur/m³. Po ekonomskem kriteriju je tako ocenjen kot najdražji izmed modelov, a je še vedno uvrščen v isti stroškovni razred kot alternativni model 4. Z vidika ergonomskih in okoljskih kriterijev pa je izbrani model srednje primeren.

Postopek izbora in vrednotenja tehnoloških modelov (po Findeisen-u, 2008) se je izkazal kot delno primeren, saj omogoča širok izbor vhodnih kazalnikov in parametrov, na podlagi katerih je možno izbrati najprimernejšo tehnologijo za izbrano delovišče. Ocenjujemo, da je pomanjkljivost postopka v tem, da kljub širokemu naboru tehnoloških modelov ni ponudil modela, ki je bil na izbranem delovišču dejansko uporabljen in se je po vseh kriterijih vrednotenja izkazal kot primeren. Ker gre v analiziranem primeru za poskusna dela z uporabo vitlov za povečanje oprijema, katerih namen je premagovanje večjih naklonov in zmanjšanje poškodb gozdnih tal, bi bilo koristno po zaključku sečnje in spravila lesa na analiziranem delovišču ugotoviti, kakšne so nastale dejanske poškodbe tal oz. spremembe poškodovanosti tal na različnih naklonih terena. Z vidika usmeritev nadaljnjih raziskav pa bi bilo treba bolj podrobno raziskati do sedaj redko obravnavani ergonomski vidik, predvsem težavnost in učinkovitost dela pri sečnji in spravilu na strmih terenih s pomočjo vitla za povečanje oprijema.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

The analysis of the suitability of technologies following the method by Findeisen (2008), which presents technological models combining mechanized and mixed timber harvesting and extraction on challenging terrain, proved useful for a comprehensive assessment of the appropriateness of modern work systems in timber production from three key aspects: ecological, economic, and ergonomic.

The study showed that, from ergonomic and environmental perspectives, model 2 (tracked harvester and articulated forwarder) is highly suitable, followed by model 1 (harvester and forwarder with a traction-assist winch). From an economic standpoint, model 1 is the most cost-effective, belonging to the first cost class, followed by model 2 in the second class, while

the other models fall into the third cost class. The overall evaluation across all three aspects indicated that models 1 and 2 are the most suitable for the selected work site, both scoring eight points. However, due to the steep slopes, these models cannot operate on harvesting trails 8 and 9. Another limiting factor is the maximum tree diameter, as the felling and processing capacities of the harvesting heads are restricted.

Because of these limitations, model 6 (chainsaw, harvester with a traction-assist winch, and forwarder with a traction-assist winch) was added. The additional winch enables operation on steeper terrain, while the use of a chainsaw allows the felling and processing of large-diameter trees. From an ergonomic perspective, however, this model is less suitable, as the presence of a chainsaw operator still poses a higher risk of work accidents compared with fully mechanised harvesting and extraction. Model 4 (chainsaw and cable yarder) also proved suitable regarding maximum terrain slope and tree dimensions, but it scored lower than model 6 in terms of ergonomic and environmental impacts.

The additional cost of the winch in model 3—which, according to Findeisen (2008), is the most similar to the selected model—was estimated to increase labour costs by 25%. In terms of cost, model 6 is the most expensive of all the analysed models, followed by model 4, while model 1 remains the most economical option.

At the analytical level, the method proved appropriate, although some shortcomings were identified during its application. Given the rapid development of technology, the threshold values for terrain slope applicable to individual technological models should be updated. In the evaluation of labour costs, it would also be useful to include the structure of all cost components, in addition to costs per cubic metre. This would enable users to compare and calculate labour costs for specific or analysed work site conditions.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskava je bila podprta s strani ARIS (Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS) v sklopu raziskovalnega programa 802. "Gozdno-lesna veriga in klimatske spremembe: prehod v krožno bio-gospodarstvo" (P4-0430) in Univerze v Ljubljani, Biotehniške fakultete in s strani ciljno raziskovalnega projekta (CRP) "Načrtovanje tehnologij in presoja kakovosti izvajanja del v gozdovih v podporo bio-gospodarstvu" (CRP V4-2209), ki je podprt s strani ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter javno agencijo za znanstveno raziskovalno in inovacij-

ske dejavnost Republike Slovenije.

This research was funded by the Slovenian Research and Innovation Agency (ARIS) through programme 802, "The forest-wood value chain and climate change: transition to a circular bioeconomy" (P4-0430), and by the University of Ljubljana, Biotechnical faculty, as well as the CRP research project "Planning technologies and quality assessment of forest works in support of the bioeconomy" (CRP V4-2209), funded by the Ministry of Agriculture, Forestry and Food and the Slovenian Research and Innovation Agency.

VIRI

REFERENCES

- Ackerman S. A., Talbot B., Astrup R. 2021. The effect of tree and harvester size on productivity and harvester investment decisions. *International Journal of Forest Engineering*, 33:1, 22-32. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1981046>
- Arnič D. 2023. Vpliv podnebnih sprememb na prirast lesa navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.) in navadne smreke (*Picea abies* Karst.) in potencialne posledice za biogospodarstvo v Sloveniji: doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=145219> (1 apr. 2024).
- Bratun P., Kobal M. 2018. Pregled talnih lastnosti, ki vplivajo na poškodbe tal pri strojni sečnji. *Gozdarski vestnik*, 76, 5-6: 237–248.
- Dimou V., Malivitsi Z. 2015. Strategic decision model for the evaluation of timber harvesting systems. *International Journal of Forest Engineering*, 26: 1–12. <https://doi.org/10.1080/14942119.2015.1083750>
- Findeisen E., Kromker H., Leibal A. 2008. Timber harvesting methods in steep and moderately sloped terrain. DVD.
- FISC: Winch-Assisted Harvesting BPG. 2022. <https://www.safetree.nz/resources/winch-assisted-harvesting-bpg> (5. nov. 2024)
- Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote vzhodne Haloze, št. 12-32/15. 2015. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.
- Garland J., Belart F., Crawford R., Chung W., Cushing T., Fitzgerald S., Green P., Kincl L., Leshchinsky B., Morrisette B., Sessions J., Wimer J. 2019. Safety in steep slope logging operations. *Journal of Agromedicine* 24, 138–145. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2019.1581115>
- Grzywiński W., Turowski R., Jelonek T., Tomczak A. 2022. Physiological workload of workers employed during motor-manual timber harvesting in young alder stands in different seasons. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 35, 4: 437–447. <https://doi.org/10.13075/ijom.1896.01862>
- Holzfeind T., Stampfer K., Holzleitner F. 2018. Productivity, setup time and costs of a winch-assisted forwarder. *Journal of Forest Research*, 23, 4: 196–203. <https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1483131>
- Holzfeind T., Visser R., Chung W., Holzleitner F., Erber G. 2020. Development and benefits of winch-assist harvesting. *Current Forestry Reports*, 6, 3: 201–209. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00121-8>
- Iarocci T.P. 2017. Steep slope logging in Chile: between the branches. V: Tigercat Website. https://www.tigercat.com/case_study/steep-slope-logging-chile/ (5. mar. 2025).
- Karaszewski Z., Giefing D., Mederski P., Bembenek M., Dobek A., Stergiadou A. 2013. Stand damage when harvesting timber using a tractor for extraction. *Forest Research Papers*, 74: 27. <https://doi.org/10.2478/frp-2013-0004>

- Košir B. 1984. Zastoji na delu pri spravilu lesa z žičnimi žerjavi s stolpi. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 25, 209-238.
- Krč J., Košir B. 2003. Presoja različnih omejitev rabe strojne sečnje lesa z vidika terenskih in sestojnih razmer v Sloveniji. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 71, 5-18.
- Lindroos O., La Hera P., Häggström C. 2017. Drivers of advances in mechanized timber harvesting – a selective review of technological innovation. Croatian Journal of Forest Engineering, 38, 2: 243-258.
- Marčeta D., Petković V., Ljubojević D., Potočnik I. 2020. Harvesting system suitability as decision support in selection cutting forest management in northwest Bosnia and Herzegovina. Croatian Journal of Forest Engineering, 41, 2: 251-265. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.744>
- Mihelič M. 2014. Gospodarnost in okoljski vidiki tehnologij pridobivanja lesnih sekancev za energetske rabo: doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Mederski P. S., Schweier J., Đuka A., Tsioras P., Bont L.G., Bembek M. 2022. Mechanised Harvesting of Broadleaved Tree Species in Europe. Current Forestry Reports, 8: 1-19. <https://doi.org/10.1007/s40725-021-00154-7>
- Nove tehnologije. b. l. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije. <https://www.zgs.si/delovna-podrocja/gozdna-tehnika/nove-tehnologije> (6. avg. 2025).
- Paini A., Lopes E., Souza A., Oliveira F. M., Rodrigues C. K. 2019. Repetitive motion and postural analysis of machine operators in mechanized wood harvesting operations. Cerne, 25, 2. <https://doi.org/10.1590/01047760201925022617>
- Pajek L., Šušnjar M., Poje A. 2025. Operator exposure to vibration and noise during steep terrain harvesting. Forests, 16, 5. <https://doi.org/10.3390/f16050741>
- Perpar A., Udovc A., 2012. Development potentials of rural areas – the case of Slovenia. V: Rural development - contemporary issues and practices, Solagberu Adisa, R. (ur). InTech. <https://doi.org/10.5772/30675>
- Picchio R., Tavankar F., Bonyad A., Mederski P. S., Venanzi R., Nikooy M. 2019. Detailed analysis of residual stand damage due to winching on steep terrains. Small-Scale Forestry, 18, 2: 255-277. <https://doi.org/10.1007/s11842-019-09417-5>
- Picchio R., Mederski P. S., Tavankar F. 2020. How and how much, do harvesting activities affect forest soil, regeneration and stands? Current Forestry Reports, 6, 2: 115-128. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00113-8>
- Poje A. 2006. Vplivi delovnih razmer na pojavljanje nezgod v gozdarstvu: magistrska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta. Poje A., Mihelič M., Krč J., Leban V. 2021. Usklajena merila sprejemljive poškodovanosti gozdnih tal - preverjanje ustreznosti med gozdarskimi strokovnjaki. Acta Silvae et Ligni, 124: 43-54. <https://doi.org/10.20315/ASeL.124.4>
- Pregledovalnik podatkov o gozdovih. (b. l.). Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije. <https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/> (23. maj 2024).
- Schönauer M., Holzfeind T., Hoffmann S., Holzleitner F., Hinte B., Jaeger D. 2020. Effect of a traction-assist winch on wheel slippage and machine induced soil disturbance in flat terrain. International journal of forest engineering 32, 1: 1-11. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1832816>
- Schweier J., Klein M. L., Kirsten H., Jaeger D., Brieger F., Sauter U.H. 2020. Productivity and cost analysis of tower yarder systems using the Koller 507 and the Valentini 400 in southwest Germany. International Journal of Forest Engineering. 31: 172-183. <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1761746>
- Schweier J., Werder M., Bont L. G. 2024. Productivity and cost analysis of cable yarding operations in flat terrain in the canton of Aargau in Switzerland. International Journal of Forest Engineering, 35, 3: 428-443. <https://doi.org/10.1080/14942119.2024.2333614>
- Smolnikar P., Jež M. 2024. Pomožni zunanji vitli oz. strojna sečnja in spravilo z „winch-assisted“ sistemi. Infogozd, 12. 4. 2024. <https://wcm.gozdis.si/sl/novice/2024081410490124/pomozni-zunanji-vitli-oz-strojna-secnja-in-spravilo-z-%E2%80%9Ewinch-assisted%E2%80%9C-sistemi/> (6. avg. 2025).
- Spinelli R., Magagnotti N., Labelle E.R., 2020. The effect of new silvicultural trends on mental workload of harvester operators. Croatian journal for forest engineering. 41, 177-190. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.747>
- Stampfer K. 2016. Harvester and forwarder on steep slopes - the European perspective. Vienna, Institute of Forest Engineering, Department of Forest and Soil Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences. <https://www.cif-ifc.org/wp-content/uploads/2016/10/Stampfer.pdf> (1. apr. 2024).
- Stoilov S., Proto A.R., Angelov G., Papandrea S.F., Borz, S.A. 2021. Evaluation of salvage logging productivity and costs in the sensitive forests of Bulgaria. Forests, 12, 309. <https://doi.org/10.3390/f12030309> (1. apr. 2024).
- Szewczyk G., Spinelli R., Magagnotti N., Tylek P., Sowa J.M., Rudy P., Gaj-Gielarowicz D. 2020. The mental workload of harvester operators working in steep terrain conditions. Silva Fennica 54, 3. <https://doi.org/10.14214/sf.10355>
- Šenica R. 2012. Obremenitev delavcev z ropotom pri sečnji in spravilu lesa: diplomska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta.
- Šporčič M., Landekić M., Šušnjar M., Pandur Z., Bačić M., Mijoč D. 2023. Deliberations of forestry workers on current challenges and future perspectives on their profession—a case study from Bosnia and Herzegovina. Forests, 14, 817. <https://doi.org/10.3390/f14040817>
- Štunf B. 2024. Preizkušali smo uporabo zunanjega vitla na ekstremnih terenih. Korenina, 27: 22-23. <https://www.sidg.si/media/gumfcqyp/september-2024.pdf> (8. okt. 2025).
- Visser R., Stampfer K. 2015. Expanding ground-based harvesting onto steep terrain: a review. Croatian Journal of Forest Engineering. 36, 321-331. <https://doi.org/10.1080/14942119.2015.1033211>
- Visser R., Spinelli R. 2023. Benefits and limitations of winch-assist technology for skidding operations. Forests, 14, 2, 296. <https://doi.org/10.3390/f14020296>
- Žitko U. 2018. Težavnost dela upravljalca stroja Highlander: diplomska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta. <http://hdl.handle.net/20.500.12556/RUL-104932>