

# ODLOČEVALNA MATRIKA ZA IZBOR EKOLOŠKO USTREZNE TEHNOLOGIJE PRI PROIZVODNJI ZELENIH SEKANCEV

## DECISION MAKING MATRIX FOR THE SELECTION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HARVESTING SYSTEM IN THE PRODUCTION OF GREEN WOODCHIPS

Matevž TRIPLAT<sup>1</sup>, Nike KRAJNC<sup>2</sup>, Robert ROBEK<sup>3</sup>

(1) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, matevz.triplat@gozdis.si

(2) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, nike.krajnc@gozdis.si

(3) Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, robert.robek@gozdis.si

### IZVLEČEK

Naraščajoče cene fosilnih goriv in doseganje nacionalnih ciljev na področju povečanja rabe obnovljivih virov prinašajo vse večje zahteve po uporabi naravnih potencialov. Slovenska zakonodaja zelo togo opredeljuje izkoriščanje sečnih ostankov in proizvodnjo zelenih sekancev. To v praksi omogoča precej stihijski razvoj storitev, kjer se z uvajanjem novih tehnologij odpira vrsta vprašanj predvsem glede obremenitev ekoloških dejavnikov. V prispevku je predstavljena metodologija za oblikovanje odločevalnega orodja za izbor ekološko ustrezne tehnologije pri proizvodnji zelenih sekancev, upoštevajoč različne ekološke in tehnološke dejavnike. Gre za tristopenjski metodološki pristop, kjer v prvem koraku opredelimo talne in terenske razmere, v drugem koraku tehnologije ob upoštevanju raznolikosti glede na gospodarske učinke in ekološko primernost, v zadnjem, tretjem koraku, izbranim tehnologijam določimo mesto v odločitveni matriki z upoštevanjem tehnološke in ekološke omejitve posameznih tehnoloških modelov. V prispevku je predstavljenih 13 poenostavljenih proizvodnih procesov, razvrščenih v odločevalno matriko, upoštevaje ekološke in tehnološke vidike pri proizvodnji zelenih sekancev.

**Ključne besede:** tehnološki model, proizvodnja, proizvodne verige, poškodba tal, zeleni lesni sekanci

### ABSTRACT

Due to the rising prices of fossil fuels and promotion of renewable energy sources, we recently witnessed the growing demands of the public for the exploitation of renewable biomass potentials. Slovenian legislation very rigidly defines utilization of logging residues and the production of green chips. In practice, this allows uncontrolled actions that bring new technologies, which raises a number of issues particularly with regard to environmental and ecological burdens. This paper presents a methodological approach used at design of the decision-making tool for the selection of environmentally friendly harvesting system in the production of green woodchips by considering various ecological and technological factors. Basically, a three-step methodological process is used, where in the first step soil and terrain are defined, in the second step, harvesting systems taking into account the diversity in terms of economic impact and ecological suitability are proposed and, last but not least, harvesting systems are placed into decision matrix taking into account technological and environmental constraints of different harvesting systems. The article also suggests 13 harvesting systems that are arranged into decision-making matrix taking into account the ecological, technological aspects in the production of green woodchips.

**Key words:** harvesting system, production, supply chain, soil damage, green wood chips

GDK 839.3(045)0163.6  
DOI 10.20315/ASetL.109.1

Prispelo / Received: 12. 07. 2016  
Sprejeto / Accepted: 07. 09. 2016

## 1 INTRODUCTION

### 1 UVOD

V Sloveniji in po svetu pridobivanje lesne biomase iz gozdov vztrajno pridobiva na pomenu (Čebul T. in Krajnc N., 2012; Krajnc N. in Piškur M., 2011). Poleg klasičnih oblik lesnih goriv (polena, butare) so v porastu tudi nove, zlasti lesni sekanci in lesni peleti (Krajnc N. in Piškur M., 2009). V nasprotju s peleti so zeleni lesni sekanci pravi gozdno lesni proizvod, s katerim povečujemo delež gospodarsko izkoristljive biomase. Proizvodnja zelenih sekancev v gozdu je vezana na

sečnjo in spravilo okroglega lesa. Skladno z EU-standardom SIST EN 14588:2010 so zeleni lesni sekanci izdelani iz svežega lesa in svežih sečnih ostankov (npr. vej in vrhačev). Sprejeti akcijski načrt za povečanje konkurenčnosti gozdno-lesne verige v Sloveniji (MKGP in MGRT, 2012) predvideva povečevanje količin poseka lesa in s tem povečevanje potencialne surovine za proizvodnjo zelenih sekancev. Hkrati pa se pri tem pojavlja vrsta vprašanj, vezanih na proizvodnjo zelenih sekancev (npr. vožnja po brezpotju pri zbiranju zelenih sekancev). Proces pridobivanja okroglega

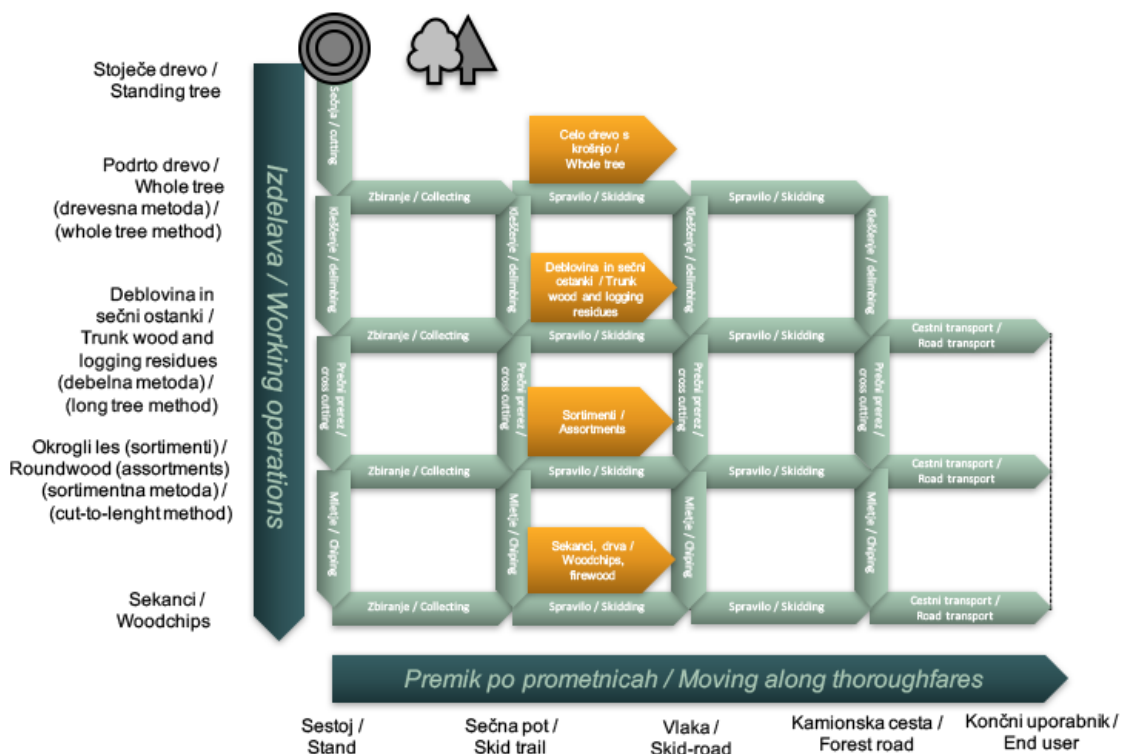
lesa in zelenih sekancev sta soodvisna in zato tvorita del gozdno-lesne proizvodne verige. Skozi čas so se proizvodne verige, odvisno od okolja, različno razvijale in z namenom medsebojnih primerjav so nastali shematski prikazi. Prve oblike shematskih prikazov proizvodne verige najdemo v literaturah iz začetka sedemdesetih let prejšnjega stoletja (Staff A., 1972) in jih delno lahko povežemo s časom, ko se je v gozdovih začela strojna sečnja. Vzporedno s skandinavskimi raziskavami so se podobni pristopi shematskih prikazov razvijali tudi drugod po Evropi (KWF, 1985; Morat J. in sod., 1998). Združenje Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF) razvija in redno nadgrajuje sheme (upodobitve) proizvodnje lesa. Uporabljajo jih v sklopu dogodkov s področja gozdarskih tehnologij in z njimi povezanih aktualnih tematik, ki jih organizirajo že od sredine osemdesetih let. Podobno literaturo izdajajo tudi organizatorji avstrijskega dogodka Austrofoma. Slednja predstavlja proces pridobivanja lesa z grobo ilustracijo, ki jo spremljata podroben opisni del s tehničnimi specifikacijami predstavljenih strojev in organizacijsko-ekonomskimi vidik pri procesu pridobivanja lesa. Tudi v Sloveniji shematski prikaz procesa pridobivanja lesa ni novost. Za potrebe lastnih raziskav in skiciranja opaznanj s terena jih je uporabljal prof. Košir. Nekaj teh shem je predstavil tudi študentom v študijskem gradivu predmeta Pridobivanje lesa (Košir, 1997), pravitako z namenom lažjega razumevanja raz-

lik med različnimi tehnologijami.

Po pregledu dosedanjega stanja na področju vizualizacije procesa pridobivanja lesa je razvidno, da se področje razvija skupaj s tehnologijami za pridobivanja okroglega lesa. Z uvajanjem strojne sečnje se je razvoj tehnologij precej pospešil, s tem pa se tudi pri nas pri proizvodnji lesnih sekancev pojavljajo nove tehnološke rešitve. Za izbiro najustreznejše tehnologije za proizvodnjo lesnih sekancev potrebujemo nazorne in primerljive opise možnih tehnologij. Ustrezna shema (vizualizacija) naj bi poudarila posebnosti proizvodnega procesa, ki so relevantne za naš prostor v obdobju naslednjih 5-7 let. Namen prispevka je predstaviti orodje za praktično odločanje pri izbiri najustreznejše tehnologije pridobivanja zelenih sekancev v Sloveniji, ki v največji možni meri upošteva splošne danosti (geologija, relief) in tudi pričakovane delovne razmere (vlažnost tal, infrastruktura) na delovišču.

## 2 METODA IN MATERIALI 2 METHOD AND MATERIALS

Predstavljena ideja vizualizacije vključno s skicami ni nova. Tehnogram (originalno v nemškem jeziku Funktiogramm) je razvil in uporabljal prof. Joern Erler (Erler J. in Dög M., 2009; Erler J. in Weiß M., 2003), ki je koncept predstavil v sklopu združenja KWF, in sicer za potrebe primerjave različnih tehnologij, in ga ponudil v širšo uporabo. Tehnogram, kot ga razumemo v tem



Slika 1: Osnovna matrika za pripravo tehnogramov za opis tehnoloških modelov

Fig. 1: Basic matrix for the preparation of technograms for presentations of harvesting systems

prispevku, je grafična podoba tehnološkega modela. Tehnološki model pa je poenostavljen opis proizvodnega procesa. Pod uporabljenim izrazom razumemo vse, kar se navezuje na tehnogram (opis, skico, spremljalno kalkucije, če obstajajo, ekološke omejitve itd.). Osnovna predloga matrike za tehnograme v tem prispevku je pripravljena po predlogi, ki sta jo predlagala Erler in Dög (2009) (slika 1). Za potrebe prikazovanja sprava sečnih ostankov smo v sodelovanju s prof. Erlerjem nadaljevali razvoj in dodali še nekaj novosti, kot so razširitev modela do končnega uporabnika, vizualizacija primernosti glede na razvojne faze gozda (npr. mlajši debeljaki, starejši debeljaki...). Osnovno orodje za opise tehnoloških modelov je torej matrika (tipa 5 x 5). Matrika vizualizira sečnjo in spravilo od stoječega drevesa v sestoji do gozdnih proizvodov pri končnem uporabniku. Na ordinatni osi so nanizane spremembe v stanju predelave drevesa (stoječe drevje, deblovina in sečni ostanki, okrogli les (sortimenti), sekanci). Abscisna os pa opredeljuje potek transporta od stoječe-

ga drevesa prek različnih tipov gozdnih prometnic do skladišča na gozdni (kamionski) cesti in nazadnje skladišča pri končnem uporabniku (kurilnica, biomasni logistični center, žagarski obrat...) (slika 1).

Presečišča v matriki nakazujejo mesto, kjer se opravi določena faza, kar pomeni, da se stanje v predelavi drevesa/sortimenta spremeni (npr. kleščenje ali prežagovanje lahko opravimo v sestoji na vlaki ali celo na kamionski cesti), ali pa se spremeni lokacija.

## 2.1 Vizualni (shematski) elementi tehnograma

### 2.1 Visual (schematic) elements of technogram matrix

Razvojno fazo (posredno tudi srednjega premera drevesa v sestoji) opredelimo s simbolom prečnega prereza drevesa z branikami (prirastne plasti). Branike so obarvane s temno in svetlo sivo barvo in ponazarjajo razred, ki opredeljuje razvojno fazo. Temno siva barva ponazarja izbrane razrede, izbranih je lahko več razredov hkrati.



- v prvem razredu so opredeljeni sestoji s prsnimi premeri do 30 cm, in sicer gre za prva redčenja in redčenja mlajših debeljakov (10 – 30 cm);



- v drugem razredu so opredeljeni sestoji s prsnimi premeri od 30 do 50 cm oziroma sestoji, v katerih opravljamo pomladitveno sečnjo;



- v tretjem razredu so opredeljeni starejši debeljaki (nad 50 cm) oziroma sestoji, v katerih opravljamo končni posek.



Možne so tudi različne kombinacije razredov, med katerimi je najbolj pogosta kombinacija vseh razredov, 1. in 2. razreda ter kombinacija 2. in 3. razreda.

Tehnološki model ustrezno umestimo v prostor z opredelitvijo cilnega gozda glede na mešanost sestojev po iglavcih in listavcih. Gre za tri poenostavljene razrede, in sicer:



- gozdne združbe s prevladujočim deležem listavcev;



- gozdne združbe s prevladujočim deležem iglavcev;



- gozdne združbe z razmeroma enakomernim deležem listavcev in iglavcev.

Tehnogram sestavimo s skicami (slikami), ki opredeljujejo:

- delovna sredstva za sečnjo



- sečnja z motorno žago



- stroji za sečnjo na kolesnem podvozju ("harvester") v različnih dimenzijah, skladno s preglednico št. 2



- stroj za sečnjo na goseničnem podvozju ("harvester")

• delovna sredstva za spravilo



- spravilo z adaptiranim kmetijskim traktorjem
- vrv predstavlja vitel



- zgibni traktor za delo v gozdu
- vrv predstavlja vitel



- gozdarski zgibni polprikoličar ("forwarder") v različnih dimenzijah, skladno s preglednico št. 3



- mali goseničar, namenjen zbiranju sečnih ostankov



- traktorska gozdarska prikolica z nakladalno napravo



- žični žerjav na tovornjaku, kjer je na kamionsko šasijo vgrajena žičniška naprava s stolpom, kabino in hidravlično roko s procesorsko glavo



- spravilo po zraku

• delovna sredstva za izdelavo in prevoz sekancev



- manjši sekalnik z dovajalno napravo (tritočkovni priklop na traktor)



- sekalnik, nameščen na šasiji kamiona (brez ali z lastnim pogonskim agregatom)



- sekalnik, nameščen na gozdarskem zgibnem polprikoličarju

• gozdarske transportne kompozicije



- gozdarska transportna kompozicija za prevoz okroglega lesa



- transportna kompozicija za prevoz razsutega tovora

Poleg opredelitve tehnologije in njihove medsebojne odvisnosti je v modelu mogoče vizualizirati tudi organizacijski vidik proizvodnje. Vsaka skica delovnega sredstva tako vključuje tudi enega delavca, potrebnega za upravljanje delovnega sredstva; če sta za določeno fazo potrebni dve osebi, je poleg skice delovnega sredstva dodana še figura delavca. Z barvami črt lahko označimo potek različnih procesov pridobivanja lesa. Npr. svetlo zelena barva ponazarja sečnjo in spravilo okroglega lesa, temno zelena barva pa spravilo in predelavo sečnih ostankov (slika 2). Soodvisne sklope postopkov označujejo pike (točke) na presečiščih. Pika pomeni začetek ali zaključek postopkov, ki potekajo istočasno in se istočasno tudi zaključijo.



- soodvisne sklope postopkov označuje začetna in končna pika



- figuro delavca uporabimo po potrebi za podrobno definiranje organizacijskih oblik (npr. traktorsko spravilo 1+1...)

## 2.2 Klasifikacija prometnic

### 2.2 Classification of forest thoroughfares

Gozdne prometnice so osnovna infrastruktura za opravljanje proizvodnih procesov pridobivanja lesa in lesne biomase. To velja v celoti za tehnološke modele, pri katerih poteka faza spravila po tleh, in delno za tiste, pri katerih poteka spravilo iz sestoja do kambijske ceste po zraku. Pri opisovanju tehnoloških modelov bomo uporabljali v Sloveniji uveljavljeno izrazje na področju gozdnih prometnic. Razlikujemo grajene in negrajene gozdne prometnice (Pravilnik o gozdnih prometnicah, 2009). Najbolj pogosta grajena prometnica je gozdna cesta. Vlaka (gozdna vlaka) je grajena ali negrajena gozdna prometnica, namenjena spravilu lesa s pravilnimi sredstvi. Pojem vlaka se nanaša na prometnico, po kateri s pravilnim sredstvom okrogli les vlačimo po tleh. Z vidika tehnoloških modelov pri proizvodnji zelenih sekancev so poleg navedenih prometnic zelo pomembne tudi prometnice, pri katerih sečne ostanke naložimo na gozdarsko prikolicico in jih vozimo do kambijske ceste. Temu je lahko namenjena večina grajenih vlak. Kjer terenske razmere to omogočajo, se stroji gibljejo po terenu in zbirajo (kupajo) oziroma vozijo praviloma do vlake in po njej do ceste. Za take prometnice se je pri nas v zadnjem času uveljavil izraz 'sečna pot'. O sečnih poteh smo pri nas začeli govoriti pri uvajanju strojne sečnje ob prelomu stoletja. Sprva smo jih v Sloveniji imenovali vlake za sečnjo (Košir, Robek 2000) in so pomenile »krajše in manj obremenjene odcepe sekundarnih vlak«, nastale predvsem zaradi premikanja sečno-spravilnih strojev. V vodilih dobrega ravnanja pri opravljanju strojne sečnje (Krč in sod. 2013) so sečne poti definirane kot trasa v gozdu, po kateri se gibljeta stroj za sečnjo in zgibni polprikoličar. Ker so sečni ostanke razprostrti po sestoji, nastajajo zaradi vožnje pravilnega sredstva po terenu posledice, podobne sečnim poteh pri strojni sečnji.

## 2.3 Ekološki vidiki pri izbiri tehnologije

### 2.3 Ecological aspects in technology selection

Gozdne prometnice niso sestavni del naravnega gozdnega ekosistema, zato je njihova količina eden izmed indikatorjev obsega poškodb naravnih gozdnih tal zaradi uporabljenih tehnologij (Poršinsky in sod. 2011). Z izgradnjo prometnic načrtno spreminjamo naravne lastnosti gozdnih tal v smeri večje nosilnosti in varnejše vožnje namenskih vozil. Pri tem ne gre le za cestišče gozdne ceste in planum vlake, marveč za tlorisno površino celotne prometnice. Pri načrtovanju omrežja grajenih in pripravljenih vlak je treba upoštevati podrobne usmeritve glede širine planuma vlake (do 3,5 m v premii) in največje dovoljene gostote. Slednja se v odvi-

snosti od vrste terenov giblje med 130 m/ha in 180 m/ha (Pravilnik o gozdnih prometnicah, 2009; Pravilnik o varstvu gozdov, 2009). V slovenskih gozdovih prevladujejo grajene prometnice z mešanim profilom, kjer je praviloma tako odkopna kot tudi nasipna brežina. Povprečna odprtost slovenskih gozdov s cestami je okoli 20 m/ha. Povprečna odprtost traktorskih terenov z grajenimi/stalnimi vlakami v slovenskih gozdovih je okoli 80 m/ha. Za praktične potrebe lahko ocenimo povprečno tlorisno širino celotne gozdne ceste na 7 metrov in stalne vlake na 5 metrov. Ob takih predpostavkah znaša povprečna obremenitev traktorskih terenov s trajno infrastrukturo 540 m<sup>2</sup>/ha, kar je 5,40 %. To je t.i. trajno žrtvovana površina gozda za potrebe pridobivanja lesa, ki jo je treba upoštevati pri skupni obremenjenosti gozdnega prostora z infrastrukturo.

K skupnemu obsegu poškodb tal pri pridobivanju zelenih sekancev pomembno prispeva tudi vožnja delovnih strojev po brezpotju. Na poškodbe tal pri vožnji po brezpotju imajo velik vpliv lastnosti in stanje tal v trenutku obremenitve ter lastnosti stroja in način njegovega obremenjevanja talnega profila. Zadnje ugotovitve novejših tujih (Poršinsky, Horvat 2005; Jaeger, Labelle 2012; Majnounian, Jourgholami 2013) in domačih (Mali, Košir 2007; Cerjak 2011) študij potrjujejo pretekle raziskave na tem področju, ki so:

- Stroji za sečnjo in traktorji z dvakratno vožnjo po naravnih tleh (to ustreza prazni vožnji do sortimentov in polni vožnji nazaj po istih kolesnicah) povzročijo med 50 in 70 % vseh deformacij v danih okoliščinah (vlažnost, obtežba).
- Vplivno območje deformacij sega pod tloris kolesnic in tudi prek njega (Bousiensqov diagram deformacij), vendar se v praksi za deformirano območje šteje celoten pas znotraj zunanjih robov kolesnic.
- Pri danem tipu tal so poškodbe bolj izrazite pri večji vlažnosti tal in večjem naklonu terena.
- V danih naravnih razmerah so poškodbe tal istega stroja z manjšim statičnim pritiskom (širše pnevmatike, nižji tlaki v pnevmatiki, tandemske osi) manjše.
- Aktivno zmanjševanje negativnih posledic gozdarske mehanizacije je mogoče dosežati s skrbno izbiro stroja, strojnika, vremenskih/vlažnostnih razmer ter s polaganjem sečnih ostankov pod kolesa.

Z vidika pridobivanja sečnih ostankov v sestoji za izdelavo zelenih sekancev se pri aktivnem zmanjševanju negativnih posledic gozdarske mehanizacije srečamo s konkurenčno rabo sečnih ostankov. Košir in Robek (2000) sta na primeru študije "Žekanec" ugotovila, da je za dokazljivo zmanjšanje zbitosti v kolesnicah potrebnih vsaj 10-15 cm potlačene debeline sečnih

ostankov. Jaeger in Labelle (2012) v raziskavi, v kateri sta podrobno preučevala učinke sečnih ostankov na zbitost, ugotavljata:

- Količina sečnih ostankov, potrebnih za učinkovito zaščito tal pred zbijanjem, je močno odvisna od vrste tal.
- Poleg debeline odeje sečnih ostankov je zelo pomembna tudi enakomerna razporeditev debelin vej, pri čemer naj bi maksimalne debeline ne presegle 7,5 cm.
- V razmerah, ko imamo pri danem poseku na voljo 130 m<sup>3</sup>/ha etatne mase, je mogoče pričakovati do 50 ton/ha sveže drobne biomase. Kar 70 % te drobne biomase je treba uporabiti na sečni poti za preprečitev deformacij, le 30 % jo je komercialno izkoristljive za izdelavo sekancev.
- Učinek preproge sečnih ostankov se z večanjem števila prehodov zmanjšuje, prav tako pa teh sečnih ostankov po koncu ni več mogoče pobrati in uporabiti za izdelavo zelenih sekancev (umazani, zdrobljeni in vtisnjeni v podlago).

V zadnjih letih je bilo v Sloveniji opravljenih več meritev obsega poškodovanih površin zaradi vlak in sečnih poti. Košir in Robek (2000) sta na kraškem terenu ugotovila širino stalnih negrajenih vlak pri strojni sečnji 3,60 metra in sečnih poti 3,50 metra ter skupno gostoto vseh sečnih poti in vlak v višini 485 m/ha. Če predpostavimo, da je vsaka sečna pot trajna deformacija in upoštevamo povprečno vrednost širin prometnic ter njihovo skupno gostoto, dobimo 17,2-odstotno površino poškodovanih tal. Žlogar (2007) je za 77 ha veliko delovišče na območju Unca ugotovil povprečne širine sečnih poti pri traktorskem spravilu 2,90 m in pri strojni sečnji 3,50 m ter gostoto vseh vlak pri traktorskem spravilu 147 m/ha in gostoto vseh poti pri strojnih sečnji 359 m/ha. Izračunane površine poško-

dovanih tal so za traktorsko spravilo 4,30-odstotne, za strojno sečnjo pa 12,6-odstotne. Cerjak (2011) je pri strojni sečnji v redčenjih na Pohorju in Goričkem ugotovil povprečne izmerjene širine sečnih poti med 3,70 m in 4,20 m. Gostote sečnih poti so bile prek 500 m/ha, deleži motene površine pa 19,4 oziroma 21,9-odstotni. Vse navedene raziskave so predpostavljale, da je vsaka vidna sečna pot (meritve opravljene neposredno po izvedbi del) trajna poškodba tal in da so na deloviščih samo negrajene vlake oziroma vlake brez brežin. Deleža površin cest niso upoštevali. Za ugotavljanje obsega po strojni sečnji poškodovanih tal sta Wästerlund in Bygden (2002) razvila, Košir (2010) pa poslovenil metodo, v kateri je ekološka ustreznost strojne sečnje prikazana v odvisnosti od deleža t.i. 'motene površine' in povprečne globine kolesnic.

Preglednico 1 je po našem mnenju težko uporabiti pri praktičnem delu, saj za določitev negativnih vplivov zahteva velik vložek v objektivno določanje povprečne globine kolesnic.

Za delovišča, kjer se poleg izdelave oblovine zbirajo tudi sečni ostanki za proizvodnjo zelenih sekancev, predlagamo poenostavljeno preglednico mejnih vrednosti dopustnih deležev skupne površine poškodb tal (preglednica 1), ki upošteva, da:

- obstoječe gozdne in lokalne ceste prispevajo k obsegu površin poškodovanih tal v gozdu 1 %;
- imajo traktorski tereni v Sloveniji v poprečju gostoto 80 m/ha trajnih/grajenih vlak s povprečno širino 5 m, kar prispeva 4 % k obsegu površin poškodovanih tal v gozdu;
- za vožnjo po brezpotju ali po pripravljenih vlakih privzamemo povprečno širino kolesnice oziroma planuma 3,50 m;
- posamezna vožnja ne pomeni dolgoročnega ekološkega tveganja, če je bila opravljena zunaj obdobja nasičenosti tal z vodo;

**Preglednica 1:** Mejne vrednosti deleža dopustne površine poškodovanih tal zaradi proizvodnih procesov pridobivanja zelenih sekancev

**Table 1:** Thresholds for percentage of permissible soil damage area owing to green chips production processes

Razmik sečnih poti Spacing between skid trails (m)	Površina sečnih poti* Area covered with off-road traffic* (m <sup>2</sup> /ha)	Delež poškodovane površine** Share of the damaged area ** (%)
20	1225	18
40	613	12
60	408	9
80	306	8

\* Upošteva 3,50 m za povprečno širino sečne poti, 70-odstotni delež sečnih poti, na katerih prihaja do ponavljajočih voženj, ter ne upošteva delež grajenih prometnic / taking into account the average width of skid trail (3,5m), 70% share of skid trails that are used for repeated rides and not taking into account the share of constructed thoroughfares

\*\* Zaokroženo, vključno s 5-odstotnim povprečnim deležem poškodovane površine zaradi grajenih prometnic / rounded off, including average share of soil damage area due to constructed thoroughfares

- pri izračunavanju površin poškodovanih tal zunaj grajenih prometnic empirično upoštevamo 70-odstotni delež sečnih poti, na katerih prihaja do ponavljajočih se voženj po brezpotju in to ne glede na globino kolesnic.

Različne tehnologije pridobivanja zelenih sekancev zahtevajo različne količine prometnic in povzročajo različne količine poškodovanih tal. Ekološke posledice poškodovanih tal pri določeni tehnologiji pri isti količini prometnic zelo variirajo v odvisnosti od vrste tal in stanja tal v trenutku opravljanja del. Za izbiro ekološko primernih tehnoloških modelov pridobivanja zelenih sekancev smo razvili odločitveno matriko, ki vključuje tako parameter skupne poškodovane površine tal kot tudi izvajalcu poznane oziroma lahko določljive značilnosti tal in terena. Predstavljeno orodje je dvosmerno, saj se lahko uporablja za izbiro ustreznega tehnološkega modela za posamezno območje ali, obratno, za določitev ustreznega območja za posamezni tehnološki model.

### 3 REZULTATI

#### 3 RESULTS

##### 3.1 Opredelitev tehnoloških modelov

##### 3.1 Definitions of technological systems

3.1.1 Model 1 – Spravilo z žičnim žerjavom po drevesni metodi

##### 3.1.1 System 1 – cable crane yarding – whole-tree method

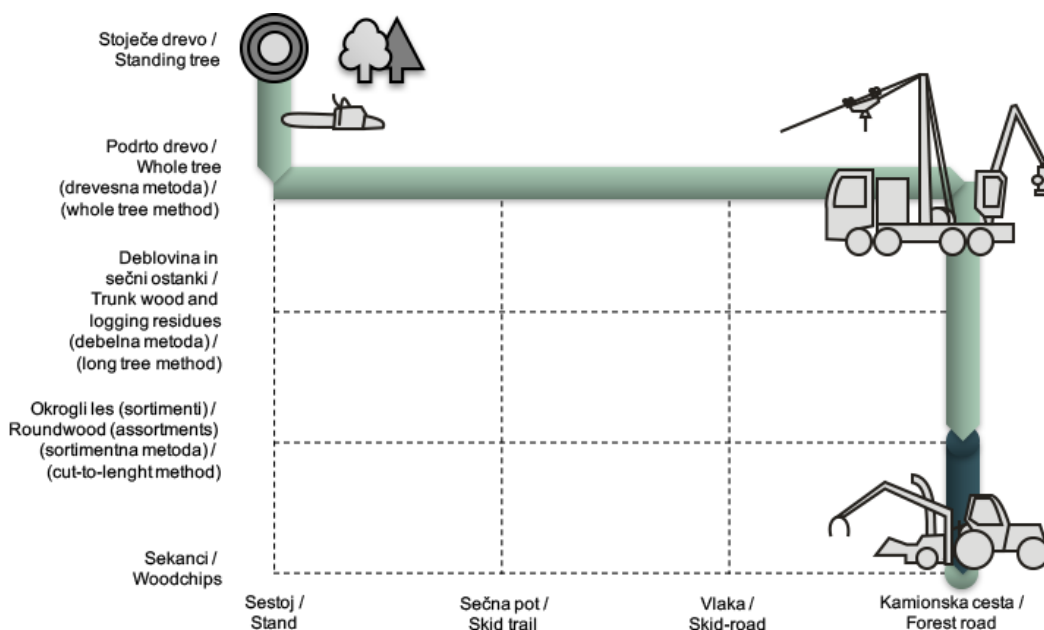
Model št. 1 (slika 2) ponazarja sodoben proces pridobivanja lesa z žičničnim spravilom po drevesni me-

todi. Drevesa gozdni delavec z motorno žago podre in ne izdelava v celoti (drevesna metoda). Sledi spravilo z žičnim žerjavom, kar pomeni, da je na kamionsko šasijo vgrajena žična naprava z zložljivim, vrtljivim in nagibnim stolpom, namenjena za spravilo po žični liniji na gozdno prometnico v smeri navzgor, navzdol ali po ravnem. Pri spravilu z žičnim žerjavom ne predvidevamo trajnih poškodb tal. Zaradi potreb po nadaljni obdelavi dreves je na kamion nameščena nakladalna naprava, opremljena s procesorskim agregatom za sečnjo, izdelavo in sortiranje. Po spravilu je vsa drevnina (deblovina in sečni ostanki) razporejena neposredno ob kamionski cesti. Nadaljnji transport hlodovine iz gozdne ceste do končnega uporabnika se opravi z gozdarsko transportno kompozicijo. Po končanem spravilu in transportu hlodovine sečne ostanke, ki so shranjeni tik ob cesti, v sekance predelamo s sekalnikom. Ustreznost sekalnika je opredeljena z ekonomsko upravičenostjo, ki je odvisna od več dejavnikov (npr. količina, dimenzija sekalnika in drugih stroškov, povezanih s proizvodnjo).

##### 3.1.2 Model 2 - Motorna žaga - drevesna metoda

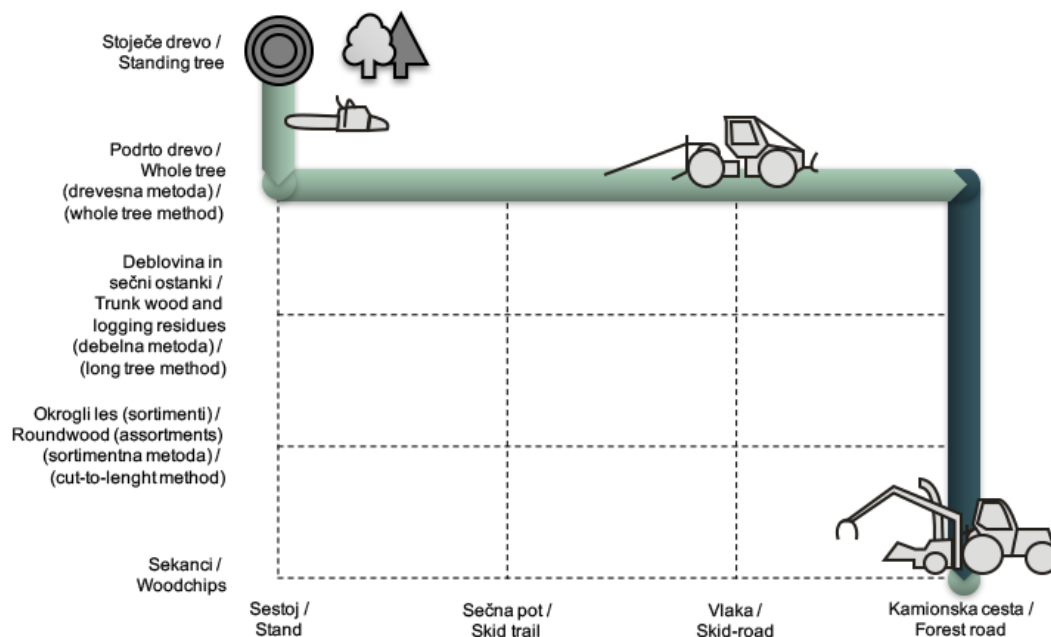
##### 3.1.2 System 2 - Chainsaw – whole-tree method

Model 2 (slika 3) prikazuje sečnjo po drevesni metodi (sekač drevo podre in ga ne izdelava do konca). Sečnji sledi spravilo z večjim gozdarskim zgibnim traktorjem, ki je opremljen z (dvobobenskim) vitlom in stalnim štirikolesnim pogonom. Spravilo celih dreves (vključno s krošnjo) iz sestoja poteka po gozdni vlaki do kamionske ceste, kjer se nadaljujejo izdelava gozdnih sortimentov. Traktor se ne giblje zunaj vlak. Pri zbiranju dreves ne



Slika 2: Shema modela 1 – spravilo z žičnim žerjavom (drevesna metoda)

Fig. 2: System 1 – cable crane yarding – whole-tree method



Slika 3: Shema modela 2 – motorna žaga (drevesna metoda)

Fig. 3: Scheme of system 2 –chainsaw (whole-tree method)

predvidevamo poškodb tal. Sečni ostanki so zbrani ob kamionski cesti in tako primerni za nadaljnjo obdelavo v sekance. V posebnih primerih je ekonomsko upravičeno, da celotna drevesa predelamo v sekance (npr. panjevski sestoji, napad borove ogorčice, zgodnja 1. redčenja...).

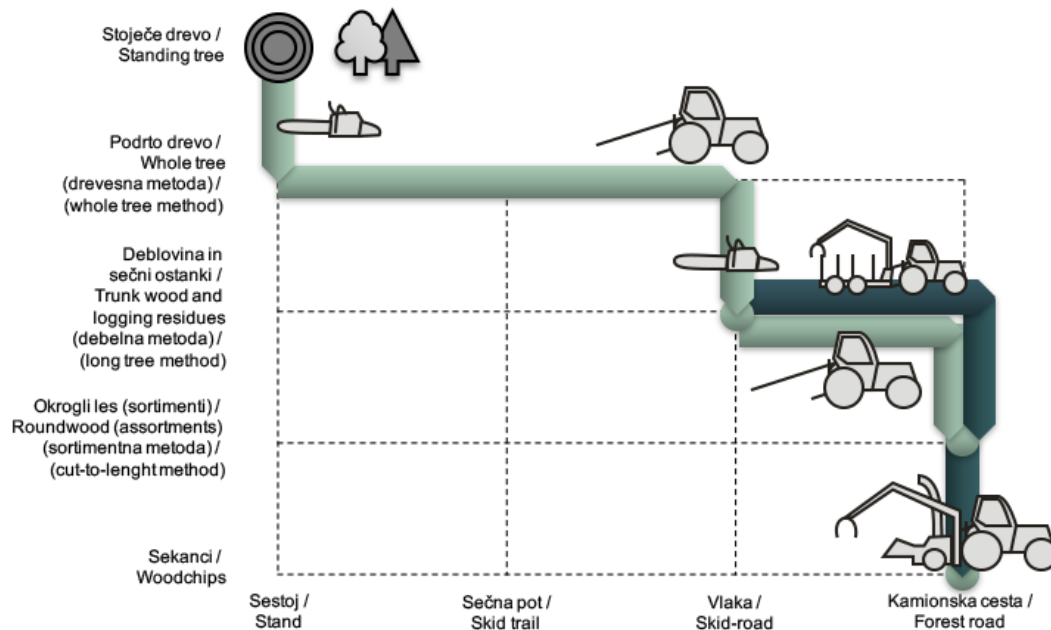
- Različica 1: drevesna metoda do vlake, nato debelna
- Različica 2: drevesna metoda do vlake, nato sortimentna

### 3.1.3 Model 3 - Motorna žaga - drevesna metoda do vlake

### 3.1.3 System 3 - Chainsaw – whole-tree method to the skid-road

Model št. 3 smo razdelili na dve različici:

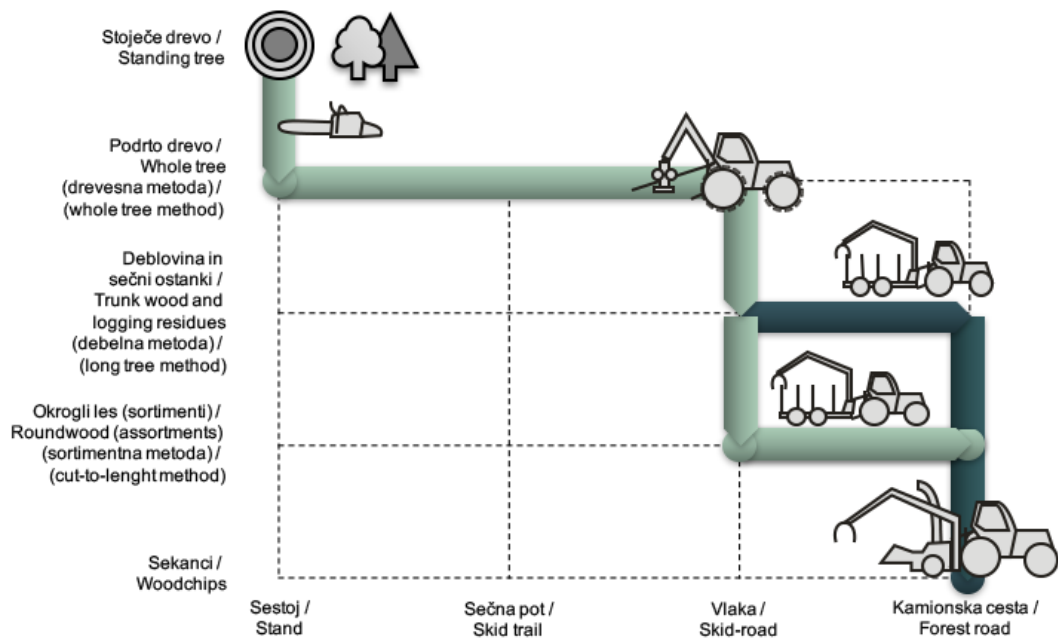
Prva različica (slika 4) ponazarja dobro poznano kombinacijo poseka z motorno žago in spravilom s prilagojenim kmetijskim traktorjem. Delo poteka v skupinah, kjer sekač podira drevesa po drevesni metodi, medtem ko jih traktorist z gozdarskim vitlom povleče k robu vlake, kjer jih sekač oklesti z motorno žago. Po končanem spravilu okroglega lesa sečni ostanki osta-



Slika 4: Shema modela 3/različica 1 – drevesna metoda do vlake, nato debelna

Fig. 4: Scheme of system 3/version 1 – whole-tree method to the skid-road, then long tree method





**Slika 5:** Shema modela 3/različica 2 – drevesna metoda do vlake, nato sortimentna

**Fig. 5:** Scheme of system 3/version 2 – whole-tree method to the skid-road, then cut-to-length method

nejo neposredno ob vlaki in so v dosegu nakladalne naprave, nameščene na gozdarski traktorski prikolicici, ali zgibnega polprikoličarja. Izdelava sekancev se opravi na kamionski cesti.

Druga različica (slika 5) nakazuje kombinacijo sečnje z motorno žago in strojne sečnje. Sekač drevo podre po drevesni metodi. Sledi predspravilo (zbiranje) z vitlom do vlake, nato traktorist z uporabo manjše procesorske glave drevesa izdela in sortimente zloži ob vlaki. Tovrstne manjše procesorske glave (kot traktorski priključek) še niso uveljavljene v Sloveniji, vendar se v zadnjih letih trend povpraševanja povečuje. Za spravilo do kamionske ceste se uporablja gozdarska traktorska prikolicica ali manjši zgibni polprikoličar. Ko so sečni ostanki zbrani v kupih na kamionski cesti, jih sekalnik zmelje v sekance.

#### 3.1.4 Model 4 - Motorna žaga - sortimentna metoda

##### 3.1.4 System 4 - Chainsaw - cut-to-length method

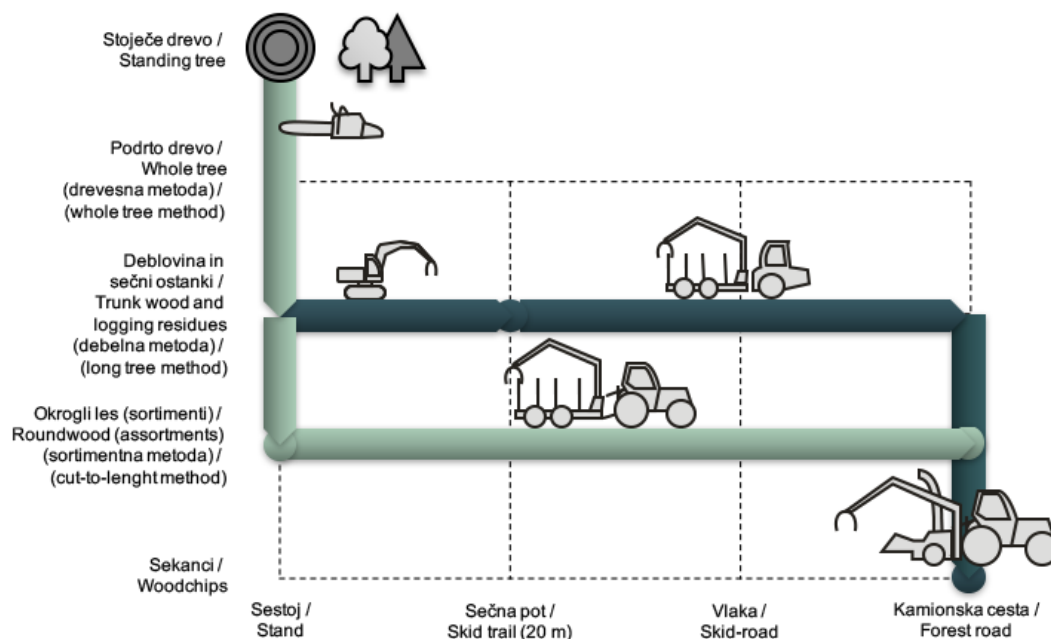
Tudi model št. 4 smo razdelili na dve različici:

- Različica 1: zbiranje sečnih ostankov z manjšim goseničarjem, opremljenim s teleskopsko roko
- Različica 2: usmerjeno podiranje dreves in izvoz sečnih ostankov z zgibnim polprikoličarjem

Pri modelu 4 (slika 6) gre za sistem kratkega lesa, kjer poteka izdelava sortimentov v sečišču (sortimentna metoda) z motorno žago. Delavec sekač drevo podre in oklesti, zadnji prečni prerez opravi pri nekoliko višjem premeru kot običajno in tako optimira (maksimira) količino sečnih ostankov predvsem na račun ce-

luloznega oziroma manj kakovostnega lesa. S tem povečuje učinkovitost celotne proizvodne verige, saj povečuje količino sečnih ostankov, ki bodo ekonomsko upravičili proizvodnjo sekancev. Sečni sledi spravilo okroglega lesa po sečni poti in vlaki z manjšim zgibnim polprikoličarjem ali gozdarsko traktorsko prikolicico. Zbiranje (kupanje) sečnih ostankov se opravi z manjšim goseničarjem. Gre za postopek, ki trenutno v slovenskem prostoru nima ustreznih zakonskih podlag (omejitve vožnje po brezpotju). Maksimalna dovoljena gostota premikanja po brezpotju je določena z gostoto sečnih poti, ki naj ne preseže 500 m/ha, oziroma z minimalnim razmakom sečnih poti, ki naj ne bo manj kot 20 m. Spravilo sečnih ostankov od sečnih poti do kamionske ceste poteka z uporabo zgibnega polprikoličarja ali z gozdarsko traktorsko prikolicico. Sekance se izdela na kamionski cesti, kjer so v večjih kupih zbrani vsi sečni ostanki.

Druga različica modela 4 (slika 7) je namenjena za bolj občutljive terene, kjer bi vožnja po brezpotju povzročila nepovratne poškodbe tal in zato ni dopustna. Sečnja dreves poteka z motorno žago z usmerjenim podiranjem proti sečnim potem. Potek sečnje spremlja traktor s teleskopsko roko in procesorsko glavo za sečnjo dreves. Sečni ostanki in okrogli les so zbrani tik ob sečni poti, tako da zbiranje (kupanje) ni potrebno. Spravilo sečnih ostankov in hlodovine s sečne poti do kamionske ceste se opravi z manjšim zgibnim polprikoličarjem ali gozdarsko traktorsko prikolicico. Izdelava sekancev je predvidena na kamionski cesti potem, ko so na skladišču v kupih zbrani vsi sečni ostanki.



**Slika 6:** Shema modela 4/različica 1 – zbiranje sečnih ostankov z manjšim goseničarjem, opremljenim s teleskopsko roko

**Fig. 6:** Scheme of system 4/version 1 – collecting of logging residues with small caterpillar tractor equipped with telescopic arm

### 3.1.5 Model 5- Strojna sečnja

#### 3.1.5 System 5- (Fully)Mechanized cutting

Model 5 ponazarja stojno sečnjo, kjer obravnavamo stroje za sečnjo, zgibne polprikoličarje ter kombinacije strojnega in klasičnega gospodarjenja z gozdovi. Delitev strojev za sečnjo in spravilo glede na dimenzije smo povzeli po literaturi (FHP, 2010) in jo prilagodili odločevalni matriki (npr. masa vozila) (preglednica 2, preglednica 3).

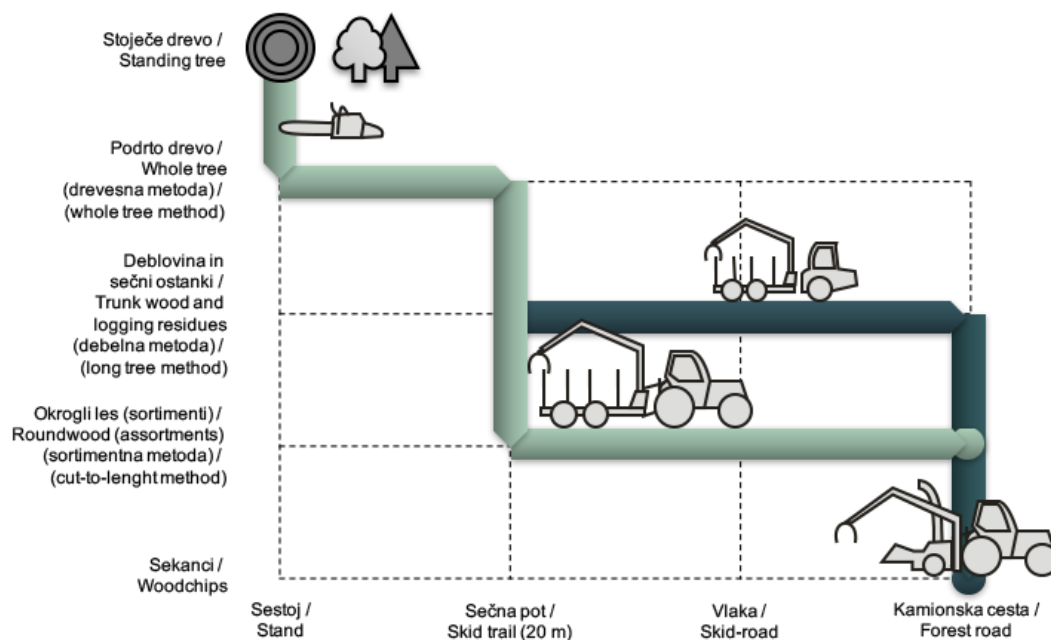
V nadaljevanju podajamo predloge tehnoloških

modelov strojne sečnje, ki se razlikujejo glede na velikostni razred strojev, delež največje dopustne površine poškodb tal in previdene uporabe “tandemskih verig”.

#### 3.1.5.1 Model 5.A – Strojna sečnja (razred velikih strojev)

#### 3.1.5.1 System 5.A – Fully-Mechanized cutting (large machines)

Različica A strojne sečnje (slika 8) predstavlja razred največjih strojev za sečnjo in spravilo lesa. V tem



**Slika 7:** Shema modela 4/različica 2 – usmerjeno podiranje in spravilo sečnih ostankov z zgibnim polprikoličarjem

**Fig. 7:** Scheme of system 4/version 2 – felling towards the skid-trail and extraction of logging residues with forwarder

**Preglednica 2:** Delitev strojev za sečnjo (FHP, 2010)

		Najmanjši stroji Smallest machines	Majhni stroji Small machines	Srednji stroji Mid-size machines	Veliki stroji Biggest machines
Masa vozila / Weight of vehicles	t	4 – 8	9 -15	15 - 21	21 - 50
Moč motorja / Engine power	kW	< 70	71 - 140	141 - 175	175 - 300
Doseg dvigala / Crane range	m	5 – 8	8,1 – 11,6	8,3 – 10,7	8,3 – 15,5

**Table 2:** Classification of harvesters (source: FHP 2010)**Preglednica 3:** Razdelitev zgibnih polprikoličarjev (FHP, 2010)

		Najmanjši stroji Smallest machines	Majhni stroji Small machines	Srednji stroji Mid-size machines	Veliki stroji Biggest machines
Masa tovora / Weight of load	t	1 – 7	8 - 10	11 - 14	> 14
Masa vozila / Weight of vehicles	t	1 - 9	9 - 15	12 - 18	15 - 23
Moč motorja / Engine power	kW	10 - 50	50 - 140	80 - 175	140 - 220

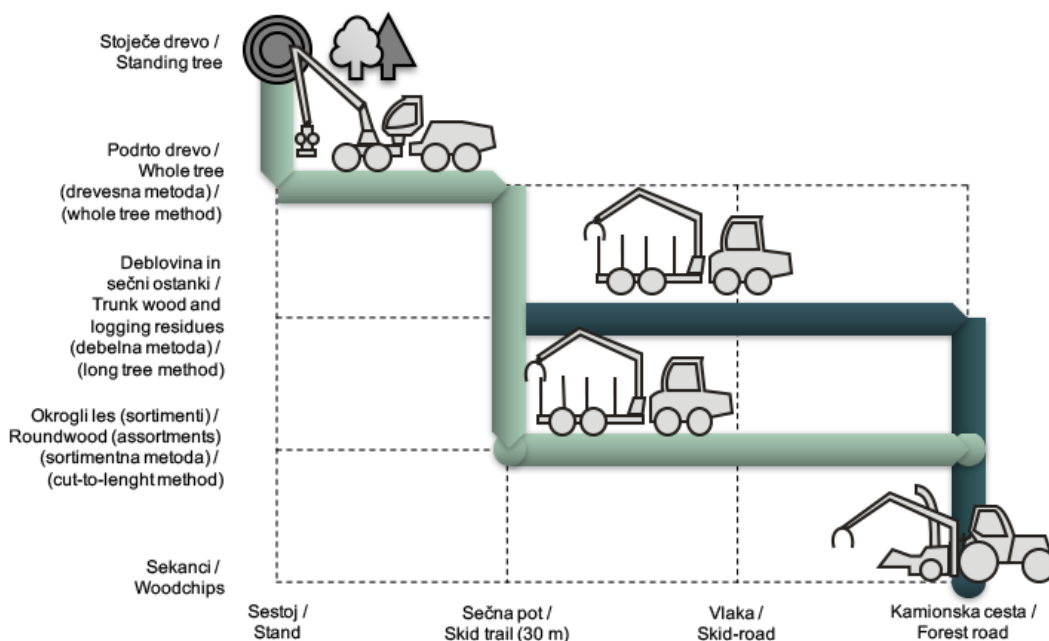
**Table 3:** Classification of forwarders (source: FHP 2010)

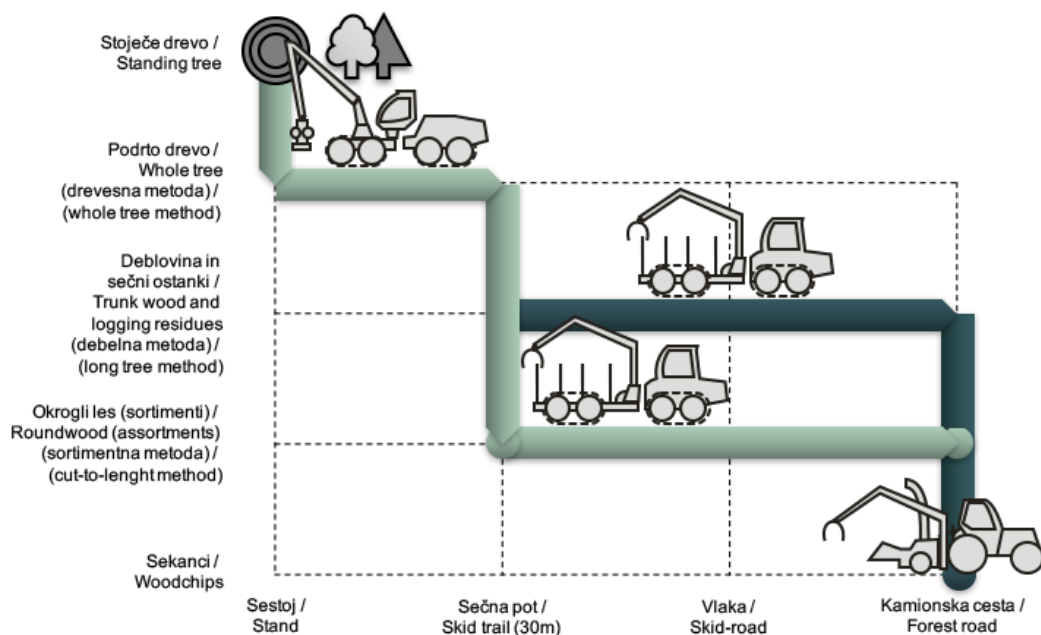
razredu so stroji z največjim dosegom dvigala, zato je zaradi nižje gostote prometnic pričakovan najnižji delež motene površine. V modelu 5.A so sečne poti predvidene v razmiku 30 metrov. V primeru zelo debelega drevja (nad 65 cm premera na prsni višini) je v vmesnem pasu potrebno sodelovanje s sekačem, ki drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja z izdelavo sortimentov poteka na sečni poti in jo opravi stroj za sečnjo (»harvester«). Sečnji sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov do kamionske ceste z zgibnim polprikoličarjem. Po končanem spravilu je predvidena izdelava sekancev na kamionski cesti. Največja omejitev modela 5.A je masa stroja in s tem povezana možnost poškodbe tal, zato je model 5.A omejen predvsem na dobro nosilna in suha tla.

3.1.5.2 Model 5.B – Strojna sečnja (razred velikih strojev z nameščenimi verigami)

#### 3.1.5.2 System 5.B – Fully-Mechanized cutting (large machines with fitted tracks)

Različica 5.B (slika 9) predstavlja nadgradnjo različice 5.A, kadar nastopi na terenih z zmanjšano nosilnostjo tal. Z namestitvijo gosenic na tandemske osi se poveča naležna površina med strojem in tlemi. S tem ukrepom se občutno zmanjša nominalni tlak stroja na tla, saj se masa stroja razporedi na večji dotični površini, to pa omogoča uporabo te tehnologije v razmerah slabše nosilnosti tal. Poudariti je treba, da namestitve verig ni ustrezna rešitev v primeru vožnje na velikih naklonih, kajti obremenitev tal na osi je odvisna od razporeda mase na vozilu, ta pa je v ravnini povsem

**Slika 8:** Shema modela 5/različica A – strojna sečnja (razred velikih strojev)**Fig. 8:** Scheme of system 5/version A – fully-mechanized cutting (large machines)



**Slika 9:** Shema modela 5/različica B – strojna sečnja (razred velikih strojev z nameščenimi verigami)

**Fig. 9:** Scheme of system 5/version B – fully-mechanized cutting (large machines with fitted bogie tracks)

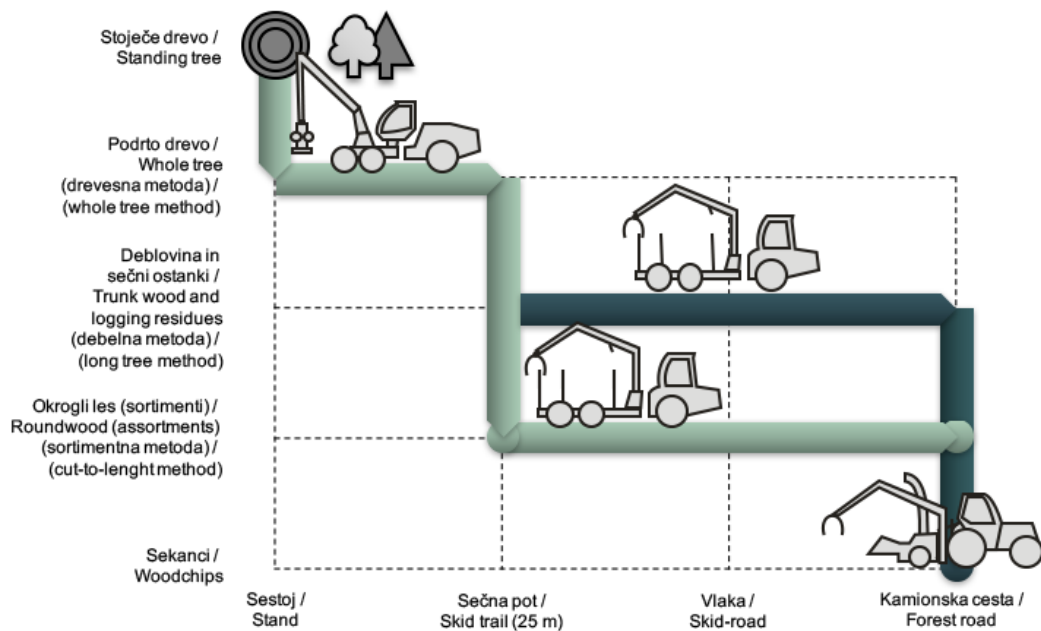
drugačna kot na velikih naklonih. Rezultati raziskav (Marenče J., 2000, 2005) kažejo zakonitosti prenašanja teže na zadnjo os pri spravlilu navzgor ter prenašanje obremenitev na sprednjo os pri spravlilu navzdol.

glednici 2 in 3). Doseg dvigala pri teh strojih je nekoliko krajši, zato mora biti predvidena gostejša mreža sečno spravlilnih poti. V modelu 5.C so sečne poti predvidene v razmiku 25 metrov, kar je z ekološkega vidika ugodnejše od modela 5B. V primeru debelega drevja v pasu nedostopnem za dvigalo stroja (med sečnimi potmi) je potrebno sodelovanje s sekačem, ki drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja z izdelavo sortimentov poteka s sečnih poti in jo opravi stroj za sečnjo (»harvester«). Sečnji sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov z zgibnim polprikoličarjem do ka-

### 3.1.5.3 Model 5.C – Strojna sečnja (razred srednjih strojev)

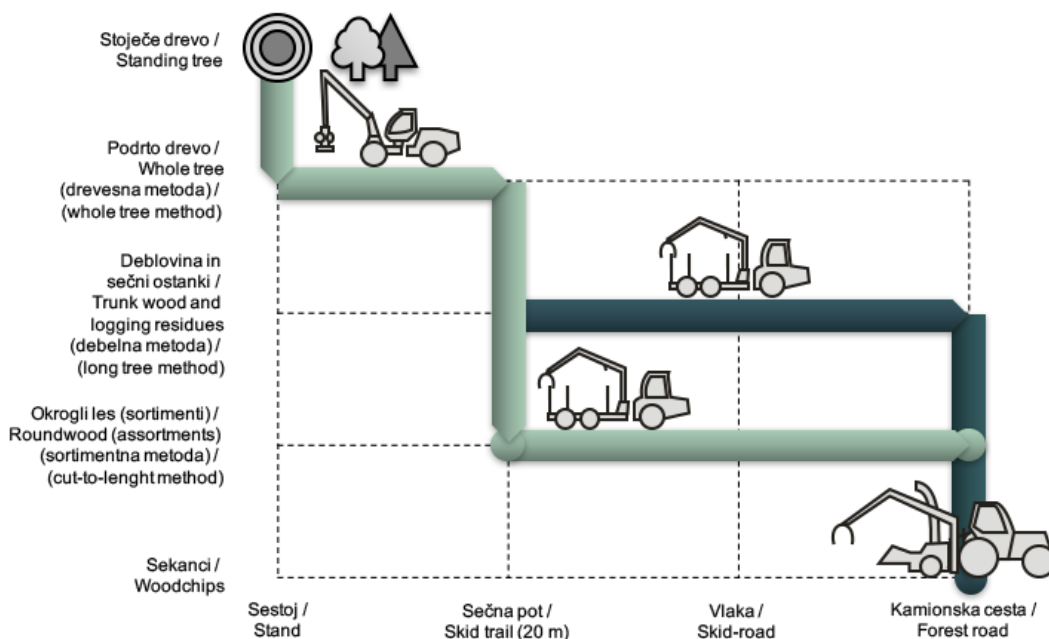
#### 3.1.5.3 System 5.C – Fully-mechanized cutting (medium-sized machines)

Model 5.C (slika 10) obravnava stroje za sečnjo in spravilo lesa srednjega velikostnega razreda (glej pre-



**Slika 10:** Shema modela 5/različica C – strojna sečnja (razred srednjih strojev)

**Fig. 10:** Scheme of system 5/version C – mechanized cutting (medium large machines)



**Slika 11:** Shema modela 5/različica D – strojna sečnja (razred majhnih strojev)

mionske ceste, kjer je po končanem spravilu predvidena izdelava sekancev.

#### 3.1.5.4 Model 5.D – Strojna sečnja (razred majhnih strojev)

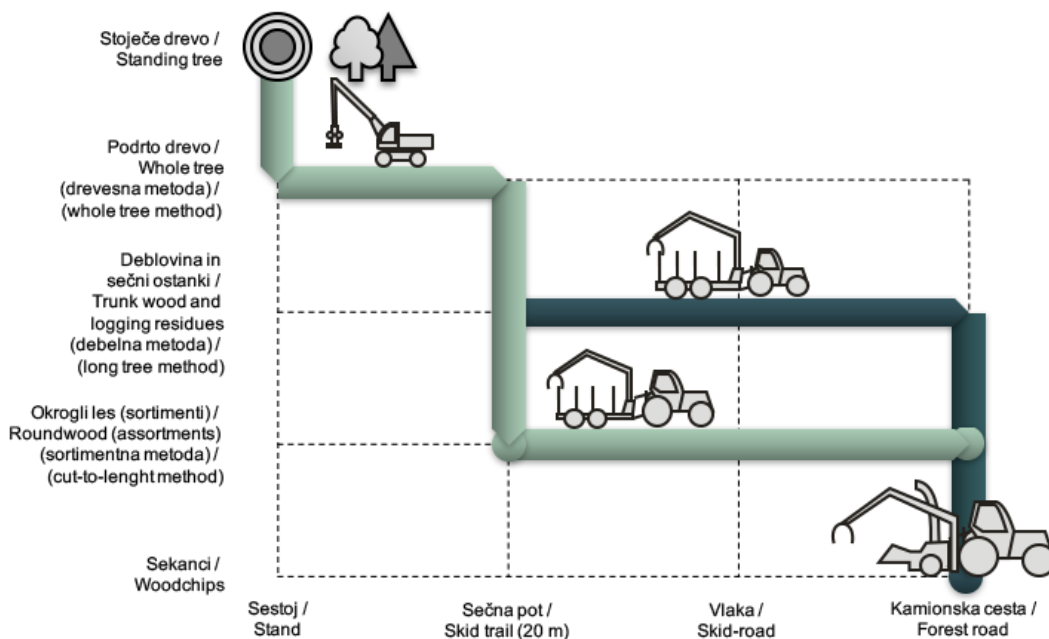
#### 3.1.5.4 System 5.D – Mechanized cutting (small machines)

Model 5.D (slika 11) obravnava majhne sečno-spravljalne stroje (glej preglednici 2 in 3), katerih pogonski agregat po klasifikaciji FHP (FHP, 2010) ni močnejši

**Fig. 11:** Scheme of system 5/version D – mechanized cutting (small machines)

od 140 kW in njihova masa ne presega 15 ton. Doseg dvigala v tem velikostnem razredu se bistveno ne razlikuje od strojev, uporabljenih v modelu 5.C, ampak je glede na literaturo še celo nekoliko večji.

Glavna razlika je v največji dovoljeni masi vozil, kar pomeni, da model 5.D obravnava precej lažje stroje, ki so primerni za bolj občutljive terene. V modelu 5.D tako predvidevamo sečne poti v razmiku 20 metrov. V primeru debelega drevja v pasu, nedostopnemu za dvigalo stroja (med sečnimi potmi), je potrebna kom-



**Slika 12:** Shema modela 5/različica E – strojna sečnja (razred najmanjših strojev)

**Fig. 12:** Scheme of system 5/version E – mechanized cutting (smallest machines)

binacija s sekačem, ki drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja z izdelavo sortimentov poteka na sečni poti in jo opravi stroj za sečnjo (»harvester«). Sečnji sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov z zgibnim polprikoličarjem do kamionske ceste, kjer je po končanem spravilu predvidena izdelava sekancev.

### 3.1.5.5 Model 5.E - Strojna sečnja (razred najmanjših strojev)

#### 3.1.5.5 System 5.E – Fully-Mechanized cutting (the smallest machines)

Model 5.E (slika 12) obravnava najmanjše sečno pravilne stroje. Ob današnji ponudbi na trgu se v tem razredu lahko znajdejo tudi traktorji s procesorsko glavo, nameščeno na hidravličnem dvigalu, v primeru spravila pa gozdarske traktorske prikolice. Omejitve modela 5.E je majhen doseg (do 8m) dvigala, zato je delež motene površine tu najvišji. V modelu 5.E so predvidene sečne poti v razmiku 20 metrov. V primeru debelega drevja v pasu, nedostopnemu za dvigalo stroja (med sečnimi potmi), je potrebna kombinacija s sekačem, ki drevesa usmerjeno podira proti sečnim potem. Sečnja z izdelavo sortimentov poteka na sečni poti in jo opravi stroj za sečnjo (»harvester« ali traktor z nameščeno procesorsko glavo). Sečnji sledi spravilo sortimentov in sečnih ostankov z zgibnim polprikoličarjem ali traktorjem z gozdarsko prikolico do kamionske ceste, kjer je po končanem spravilu predvidena izdelava sekancev.

### 3.1.5.6 Model 5.F – Kombinacija strojne sečnje in sečnje z motorno žago

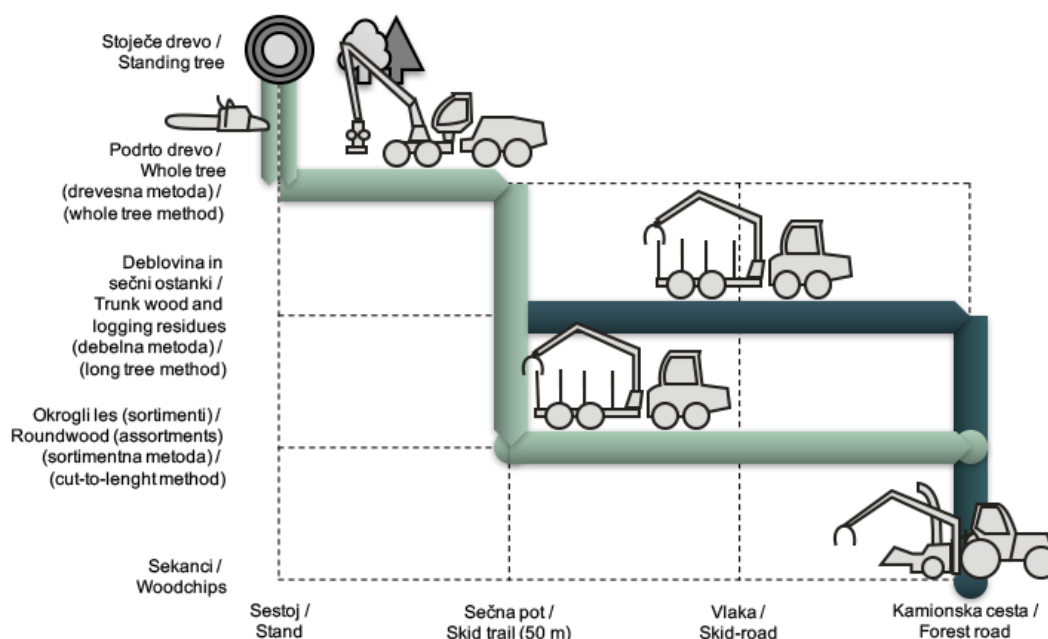
#### 3.1.5.6 System 5.F – Combination of mechanized harvesting and manual cutting

Model 5.F (slika 13) predstavlja kombinacijo sečnje z motorno žago in strojne sečnje. Model 5.F ima okoljski značaj, kajti osnovni namen je doseči nižjo gostoto sečno pravilnih poti oz. manjšo skupno površino poškodovanih tal. V vmesnem pasu tako drevesa usmerjeno podirajo sekači z motorno žago, sečne poti pa so tako lahko predvidene v razmiku 50 m. Metoda je primerna za visoko produktivne sestoje oz. za odrasle sestoje z visokim drevjem (> 30 m), kjer se strošek dodatne operacije (na račun ohranjenosti sestojev) hitro povrne.

### 3.1.6 Model 6 – Spravilo po zraku (drevesna metoda)

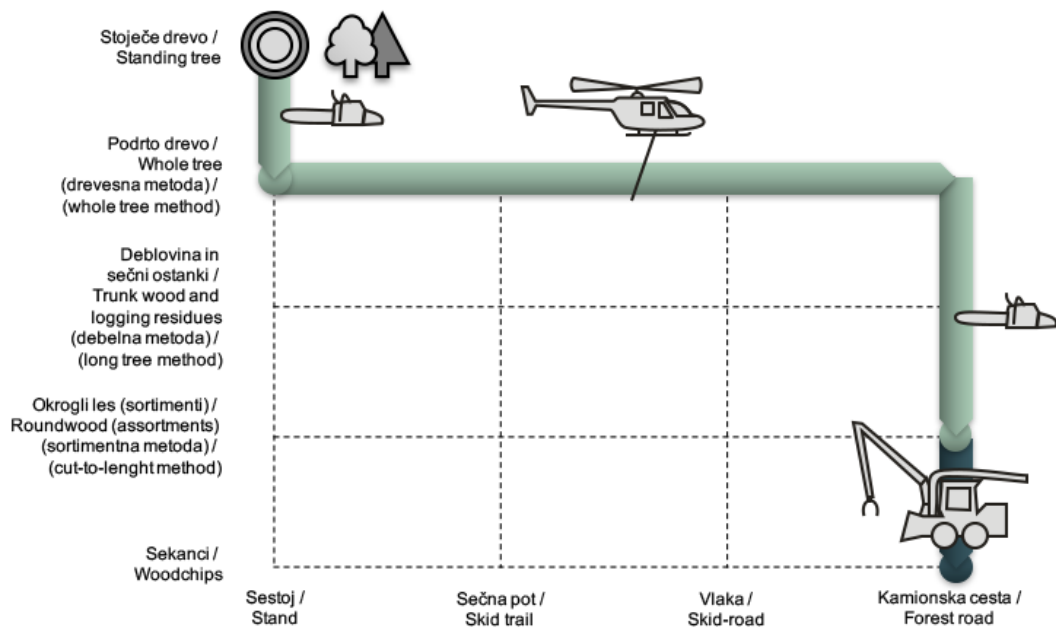
#### 3.1.6 System 6 – Helicopter yarding (whole-tree method)

Zračno spravilo (slika 14) je upravičeno zgolj na terenih, ki niso odprti z gozdni prometnicami, in na šotnih barjih, kjer so večje koncentracije kakovostnega lesa, kajti tovrstna oblika spravila za seboj prinese visoke proizvodne stroške in ni primerna zgolj za pridobivanje lesnih goriv, lahko pa so ti dodana vrednost k proizvodnji visoko kakovostne hlodovine. Do poškodb tal ne prihaja, gospodarnost helikopterskega spravila pa je v največji možni meri odvisna od organizacije del,



**Slika 13:** Shema modela 5/različica F – kombinacija strojne sečnje in sečnje z motorno žago

**Fig. 13:** Scheme of system 5/version F – combination of mechanized harvesting and manual cutting



**Slika 14:** Shema modela 6 – spravilo po zraku (drevesna metoda)

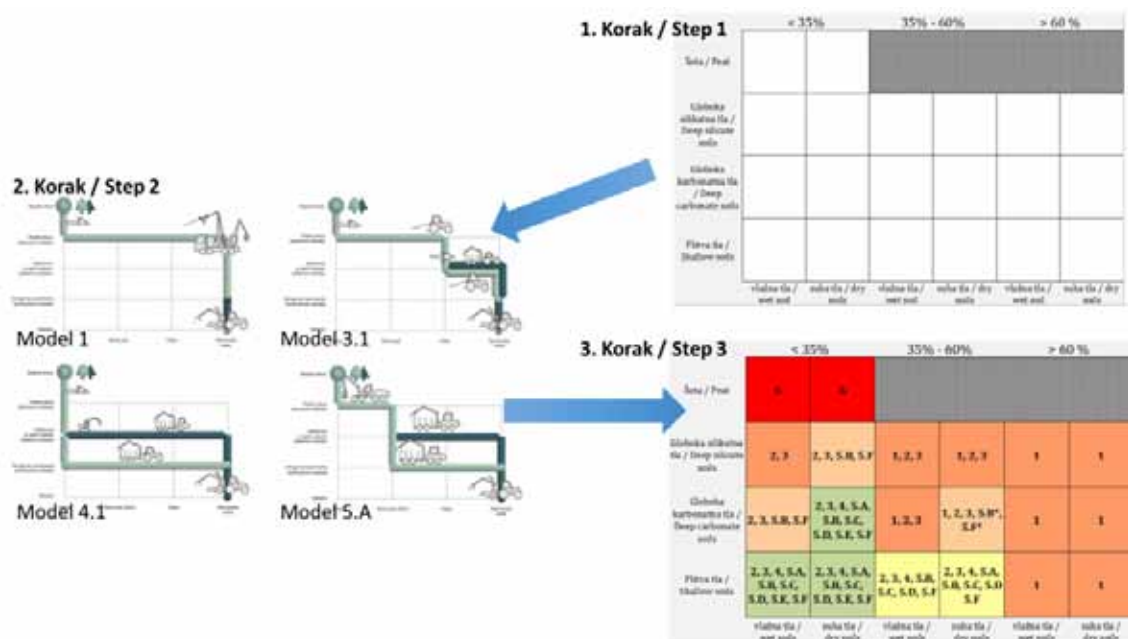
ki se v marsičem razlikuje od klasičnih oblik spravila (Adamič T., 2007). V Sloveniji je največja omejitev modela 6 (poleg visokih stroškov in zahtevne organizacije) pomanjkanje primernih terenov. Adamič (2007) ugotavlja, da je z upoštevanjem kriterijev naklona terena (nad 50 %) in razdalje do prve prometnice (nad 1000 m) potencialno primernih območij za helikoptersko spravilo v Sloveniji 20.872 ha, kar znaša zgolj 1,87 % celotne gozdne površine v Sloveniji.

**Fig. 14:** Scheme of system 6 – helicopter yarding (whole-tree method)

### 3.2 Odločitvena matrika

#### 3.2 Decision-making matrix

Ob pripravi matrike smo v prvi fazi razvrstili tla glede na nosilnost tal (sposobnost tal, da podprejo breme, ki pritiska na tla). Obravnavamo štiri povsem različne tipe tal. Za potrebe te študije nosilnih kapacitet obravnavanih tipov tal nismo preučevali, temveč smo jih povzeli po literaturi (Owende P. in sod., 2002) in jih na podlagi dosedanjih spoznanj prilagodili našim raz-



**Slika 15:** Potek priprave odločitvene matrike za izbor tehnoloških modelov pri proizvodnji zelenih sekancev (slika je prilagojena po Triplatt M. in sod., 2015)

**Fig. 15:** Process of building decision-making matrix (adapted after Triplatt et al. 2015)

	< 35%		35% - 60%		> 60%	
Šota / Peat	6	6				
Globoka silikatna tla / Deep silicate soils	2, 3	2, 3, 5.B, 5.F	1, 2, 3	1, 2, 3	1	1
Globoka karbonatna tla / Deep carbonate soils	2, 3, 5.B, 5.F	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F	1, 2, 3	1, 2, 3, 5.B*, 5.F*	1	1
Plitva tla / Shallow soils	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.E, 5.F	2, 3, 4, 5.B, 5.C, 5.D, 5.F	2, 3, 4, 5.A, 5.B, 5.C, 5.D, 5.F	1	1
	vlažna tla / wet soils	suha tla / dry soils	vlažna tla / wet soils	suha tla / dry soils	vlažna tla / wet soils	suha tla / dry soils

\* Tehnologije primerne samo na naklonih od 35 % - 40 % / Machines suitable only for slopes from 35% to 40%

**Slika 16:** Odločitvena matrika za izbor primernega tehnološkega modela

**Fig. 16:** Decision-making matrix for the selection of suitable technological system

meram. Za potrebe odločitvene matrike tako obravnavamo od nenosilnih tal do nosilnih tal, pri čemer velja naslednja razporeditev: šotna tla (zelo nenosilna tla); globoka silikatna tla (nenosilna tla); globoka karbonatna tla (srednje nosilna tla) in plitva tla (zelo nosilna tla). Upoštevati je treba, da se z vremenskimi razmerami (daljša deževna obdobja, suše...) precej spreminjajo tudi lastnosti tal. Predvsem nosilnost tal se ob nasičenosti tal z vodo precej zmanjša, zato omenjene talne tipe obravnavamo tako v suhih kot vlažnih razmerah (suha tla, vlažna tla). Polja v odločevalni matriki si lahko z različnimi barvami označimo glede na ekološke zahteve (npr. od zelene (najbolj ugodno) do rdeče barve (neugodni tereni oz. tereni z visokim rizikom)). S senčenjem (mreža) posameznih polj iz matrike izločimo razmere, ki v naravi ne obstajajo.

Priprava ali prilagoditev matrike terenskim razmeram ali novim tehnološkim modelom se opravi v treh zaporednih stopnjah: (1) ocena oz. opredelitev talnih in terenskih razmer, (2) opis in vizualizacija tehnoloških modelov in nazadnje (3) popolnitev odločitvene matrike (slika 15).

Na poškodbe tal pri vožnji po brezpotju najbolj vplivajo lastnosti in stanje tal v trenutku obremenitve ter tehnične lastnosti izbrane mehanizacije in način njihovega obremenjevanja talnega profila. Pri pripravi tehnoloških modelov gre torej za odločanje o tehnolo-

gijah po ustreznosti glede na dane terenske in vremenske razmere. V tej študiji smo že omenili, da so obremenitve tal na osi stroja močno odvisne tudi od naklona terena. Razporeditev mase na vozilu je v ravnini povsem drugačna kot na velikih naklonih. Spremembe tehničnih lastnosti izbrane mehanizacije so tako ključnega pomena pri odločanju o tehnološkem modelu in smo jih zato vključili tudi v odločitveno matriko. Omenjeni vidiki so bili naše glavno vodilo pri oblikovanju odločitvene matrike (slika 16). Ta obravnava zgolj predlagane tehnološke modele, razdeljene po primernosti glede na tip tal, vlažnost tal in naklon terena.

#### 4 RAZPRAVA

#### 4 DISCUSSION

Naraščajoče cene fosilnih goriv so pripeljale do vse večje zahteve javnosti po izrabi naravnih potencialov. K temu z uresničevanjem akcijskega načrta »Les je lep« (MKGP in MGRT, 2012) stremi tudi država, ki se je zavezala do leta 2020 povečati delež obnovljivih virov v energetske bilanci. Lastnikom gozdov se ponuja nova tržna priložnost in se zato vse pogosteje odločajo tudi za izkoriščanje sečnih ostankov. Pojavljajo se nove tehnologije in z vsakim novim strojem v gozdu se odpira veliko vprašanj predvsem glede obremenitev ekoloških dejavnikov. Z uvedbo novih tehnologij pridobivanja lesa sta se spremenili proizvodnost in ekonomič-



nost pridobivanja lesa, hkrati pa so se spremenili tudi negativni vplivi teh tehnologij na gozd. Žal je trenutno gospodarska situacija takšna, da si konkurenčnost na trgu tehnologij in dela posamezniki zagotavljajo tudi z zanemarjanjem ekoloških zahtev. Cenovno dragi sodobni stroji zahtevajo ustrezno usposabljanje ne le strojnikov, temveč tudi vodstvenega in drugega tehničnega osebja (Košir B., 2010). Ustrezna usposobljenost strojnika je v primeru strojne sečnje izjemno pomembna s stališča poškodovanosti sestojev (Pezdevšek Malovrh Š. in sod., 2004). Poškodbe sestojev pa niso edini tip poškodb. V gozdnem ekosistemu so lahko problematične tudi poškodbe tal. Za izločitev slednjih je včasih dovolj že preprost ukrep, kot je zmanjšanje pritiska v pnevmatikah. Košir (2010) v študiji »Gozdna tla kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa« ugotavlja, da se pri zmanjšanju tlaka v kolesih s 3,5 bara na 1,5 bara zmanjša tlak na podlago za 35 %. Ta podatek sicer velja le za pnevmatike brez goseničnih verig, saj te zahtevajo bistveno višji tlak v pnevmatikah. Eden izmed možnih ukrepov za zmanjšanje ali vsaj omejevanje poškodb tal je tudi preproga iz sečnih ostankov. Treba je poudariti, da je v Sloveniji premalo sečnih ostankov za potrebe učinkovite zaščite tal pred zbijanjem (npr. za preprogo sečnih ostankov) in gospodarsko rabo. Pri izvedbi del je na prvem mestu zaščita tal in šele zatem gospodarska raba. Z izvedbo del v ustreznih razmerah (npr. v sušnih razmerah so tla bolj nosilna), izbiru ustrezne velikosti in opremljenosti strojev za določene vrste tal je mogoče večino sečnih ostankov predelati v sekance. Celostno je na problem poškodb tal treba gledati širše in razumeti, da težki stroji niso primerni za vse tipe gozdnih tal. Tehnološki modeli izdelave sekancev, pri katerih sodelujejo stroji za sečnjo (modeli 5.A. – 5.F.) ter model 4, pa zajemajo poleg vožnje strojev po vlakih tudi vožnjo strojev po naravnih gozdnih tleh oziroma po brezpotju. Do uvajanja strojne sečnje v Sloveniji smo zakonsko v celoti prepovedovali vožnjo gozdarske mehanizacije zunaj gozdnih prometnic. Vzrok tega je velika občutljivost naravnih gozdnih tal na statične, še bolj pa na dinamične obremenitve, ki nastajajo pri vožnji po brezpotju. Neposredno ob vožnji prihaja do zbijanja tal in mešanja talnih horizontov, kasneje pa pod vplivom meteoroloških dejavnikov še do premeščanja tal (izpiranje, odlaganje). Zbijanje tal je ob gradbenih posegih in vožnje po brezpotju zaželen postopek povečevanja nosilnosti in trdnosti tal, v razmerah koreninjenja in rasti gozdne vegetacije pa zelo nezaželen pojav, zato govorimo o poškodbah tal (Poršinsky in sod. 2011). Študije o negativnih vplivih koles na gozdna tla spremljajo gozdarsko stroko praktično od pojava prvega traktorja v gozdu. Kljub obse-

žnemu strokovnemu delu na tem področju se modeli za napovedovanje deformacij in fizioloških poledic zaradi velikega števila vplivnih dejavnikov niso uveljavili. Praktična uporaba preglednice 1 je predvidena v primeru dvoma o primernosti obsega poškodb tal med opravljanjem del, neposredno po končanih delih oziroma najkasneje v roku 3 mesecev po koncu del. V takem primeru je treba ugotoviti tlorisno površino delovišča ter skupno dolžino vseh trajnih prometnic in sečnih poti ter izračunati dejanski obseg poškodovanih tal za vse grajene prometnice in 70 % površin poškodovanih tal za sečne poti. Za povprečne širine posameznih skupin prometnic privzamemo vrednosti, podane v poglavju 2.3. Globine kolesnic ne ugotavljamo. Rezultate je treba primerjati za dejanski tehnološki model in njemu pripadajoči nazivni razmik sečnih poti.

Gozdarstvo je od nekdanj vpeto v lesno predelovalno industrijo, temelječo na lesu, ki se danes globalizira. Tudi na področju lesne biomase gozdarstvo postaja del trajnostne energetike. Celostna optimizacija oskrbovalnih verig z obeh sektorjev sega tako precej v preteklost in že dalj časa trka na vrata gozdarstva (Carlsson D. in Rönnqvist M., 2005). Vse bolj se pojavljajo orodja, ki enakovredno vključujejo presojo trajnostnih vidikov gozdne proizvodnje. Ta za svoj okvir uporabljajo celoten sektor gozdarstva (ToSIA 2013) ali pa regijo (Sacchelli S. in sod., 2013), ki pa za odločitve na ravni delovišč niso neposredno uporabne. Prav v tem vidimo glavno prednost predstavljene odločitvene matrike. Odločitvena matrika je pripomoček, ki ga uporabimo pri izvedbenem načrtovanju oziroma pri pripravi dela. Sodobna priprava dela ni le orodje za racionalizacijo proizvodnje (Košir B., 2004) in za povečevanje gospodarskih vidikov proizvodnje, pač pa tudi za obvladovanje okoljskih vidikov pridobivanja lesa in lesne biomase. V Sloveniji je v državnih gozdovih izvedbeno načrtovanje deljeno med naloge javne gozdarske službe ter podjetja, ki gospodarijo z gozdovi v lasti Republike Slovenije. V preteklosti so te naloge opravljali koncesionarji, v kratkem pa pričakujemo, da jih bo prevzela družba Slovenski državni gozdovi d.o.o., ki s 1. julijem 2016 od Sklada kmetijskih in gozdov prevzema gospodarjenje s državnimi gozdovi (DZRS, 2016).

Javna gozdarska služba s pomočjo tehnološkega dela gozdnogojitvenega načrta opredeljuje robne pogoje za izbor tehnologije. Na voljo so jim reliefni, geološki in pedološki podatki ter količina in struktura grajenih (načrtovanih) gozdnih prometnic. Glede na predvidene količine in vrste gozdnih lesnih sortimentov je mogoče uporabiti odločitveno matriko za okvirni izbor dovoljenih tehnologij. Glede na trenutne razmere pričakujemo, da bo izvedbeno načrtovanje opravljala

družba Slovenski državni gozdovi. Slednja bi lahko odločitveno matriko uporabila: (i) v fazi sečnospravnega načrtovanja, pri katerem je že znan rok izvedbe del; (ii) v fazi izbire okoljsko najustrežnejšega izvajalca del za izbrano delovišče; (iii) in med izvajanjem del. V vseh primerih je spremenljivka vlažnost tal, ki se krajevno in časovno zelo spreminja. Dodatna vplivna dejavnika sta še vrsta ter opremljenost stroja, ki sta odvisna tudi od operativnega poteka del (kvvari, dobavni roki). Zato izvajalci del uporabljajo odločitveno matriko za dejanski izbor tehnoloških modelov, opredeljenih v odločevalni matriki.

## 5 ZAKLJUČKI

### 5 CONCLUSIONS

Odločitvena matrika je skupaj s tehnološkimi modeli (in tehnogrami) pripomoček za izvedbeno načrtovanje procesa pridobivanja lesa in lesne biomase na konkretnih deloviščih. Z njeno uporabo ne dosegamo neposredne racionalizacije proizvodnje, ampak artikuliramo okoljske vidike proizvodnih verig v gozdu, zlasti tistih, ki vsebujejo tako pridobivanje lesa kot pridobivanje zelenih sekancev. Odločitvena matrika je namenjena predvsem pripravi dela, a jo je mogoče s pridom uporabiti tudi med izvajanjem del, ko se spremenijo delovne razmere: (i) spremenijo se vlažnostne razmere v delovišču, (ii) pokvaril se je stroj in izbrati je treba nadomestno mehanizacijo, (iii) zaradi zapolnitve kapacitet se uporabi drug/nepredviden stroj. Predstavljena odločitvena matrika neposredno ne vključuje odstotka poškodovanih tal, posredno pa ga vključuje v tehnološkemu modelu s pripadajočim povprečnim razmikom sečnih poti. Dejanski obseg gibanja strojev po naravnih gozdnih tleh je znotraj tehnološkega modela v veliki meri odvisen tudi od ozaveščenosti izvajalcev del in kakovosti nadzora sečišč. Na področju ozaveščenosti poklicnih izvajalcev del je bilo narejeno nekaj korakov v to smer (izobraževanja, kontrole). Slabše razmere so pri ozaveščenosti izvajalcev del v zasebnih gozdovih, zlasti tam, kjer dela ne opravlja lastnik sam. Pogodbeni izvajalci del zlasti v razmerah odkupa lesa na panju pogosto zanemarjajo okoljske vidike. V takih primerih in tudi sicer je izvedbeni nadzor ključnega pomena za poškodbe tal in preostalega drevja v sestoji. Pri izvedbenem nadzoru je treba odločitveno matriko kombinirati z izmero poškodb tal (vzorčno ali polni popis) in v primeru večjih odklonov od mejnih vrednosti (preglednica 1) dela ustaviti. Odločitvena matrika je tako tudi pripomoček za arbitražo izvedenih del

V praksi ne smemo dovoliti, da nas zanese v enostransko - okoljsko naravnano presojo procesov pridobivanja lesa. Za celostno presojo in izbiro ustreznega

tehnološkega modela moramo v konkretnih razmerah upoštevati tudi ekonomske kazalce, ki jih v tej študiji nismo obravnavali, so pa vključeni posredno pri oblikovanju odločevalske matrike. Razvita orodja in postavljene empirične mejne vrednosti je treba v praksi preveriti in dopolniti v smislu praktične uporabnosti ne le za procese pridobivanja lesa, povezane z izdelavo zelenih sekancev, temveč celotnega izkoriščanja gozdov.

## 6 POVZETEK

### 6 SUMMARY

Production of wood biomass from forests is of increasingly greater importance in Slovenia. Apart from classical forms of wood fuels (fire wood, bundles), new forms are being affirmed, particularly woodchips and pellets. In contrast to pellets, green woodchips are true forest wood product, with which the proportion of economically exploitable biomass is increased. Slovenian government is targeting on the one hand increased biomass utilization, while on the other hand the legislation is lacking behind and at the moment very rigidly defines utilization of logging residues and the production of green chips. In practice, this allows uncontrolled actions that bring new technologies, which raises a number of issues particularly with regard to environmental and ecological burdens. With development of forestry technologies, the efficiency of wood production was significantly improved, and thus the impact on forests has changed as well.

The article presents a visual approach in the description of harvesting systems (it symbolizes cutting and hauling in the process from the standing tree in the stand to the produced woodchips on the forest road) and a practical decision-making tool for the selection of environmentally friendly harvesting system, considering given terrain as well as expected soil conditions on harvesting sites. The decision-making tool should support cost-efficient and environmentally friendly harvesting operations. The presented decision-making tool is based on different soil types (relevant environmental parameter) that were matched with harvesting system characteristic, terrain (slope) and weather characteristics (wet soils / dry soils). Special attention has been given to fully mechanized cutting, in which harvesting systems include rides by machinery on natural (pathless) forest grounds apart from drives by machines along skid-roads. For these purposes, percentage of permissible soil disturbance surface owing to harvesting operations has been proposed. Maximum permissible density of skidding tracks should not exceed 500 m/ha.

Three-step methodological approach was suggested.

sted, where soil and terrain conditions were defined in the first step, while harvesting system were described in the second step. In the final step, ecological and technological requirements were matched. To exemplify the three-step methodology, a decision-making tool was prepared for the 13 selected harvesting systems for the production of green woodchips. The proposed harvesting systems differ in technological, ecological and economic aspects, but each is limited by at least one of the aspects. The decision-making tool in combination with the presented harvesting systems can simplify and facilitate forest production planning, although it can also be used in case of unforeseen event, e.g. changing of soil moisture, machinery failure and in order to fill machine capacity using a different machine. Considering the envisaged quantities and types of forest wooden assortments, it is possible to use the decision-making tool for a basic selection of most appropriate harvesting systems. The main idea behind the suggested three step methodological approach is that forest managers can prepare individual decision-making matrix (based on ecological and technological parameters such as technical or economical limitations of harvesting machines).

## 7 ZAHVALA

### 7 ACKNOWLEDGEMENT

Odločevalna matrika za izbor ekološko ustrezne tehnologije pri proizvodnji zelenih sekancev je bila razvita v okviru projekta »Možnosti in omejitve pridobivanja biomase iz gozdov«. Zahvaljujemo se tudi recenzentom za priporočila in uporabne komentarje.

## 8 VIRI

### 8 REFERENCES

- Adamič T. 2007. Organizacijske posebnosti helikopterske izvedbe spravila lesa. Biotehniška fakulteta. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, 71 str.
- Carlsson D., Rönnqvist M. 2005. Supply chain management in forestry – case studies at Södra Cell AB. *European Journal of Operational Research*, 163, 3: 589-616
- Cerjak B. 2011. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravi lesa v redčenjih: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 73 str.
- Čebul T., Krajnc N. 2012. Predelava lesa v energetske namene. *Gozdarski vestnik*, 70, 7-8: 317 - 321
- Erlor J., Dög M. 2009. Funktiogramme für Holzernnteverfahren. *FTI - Forsttechnische Informationen*, 9+10/2009, 14-17
- Erlor J., Weiß M. 2003. Netz-Darstellung von Arbeitsverfahren. *FTI - Forsttechnische Informationen*, 54, 9: 103 - 107
- FHP. 2010. Harvester und Forwarder in der Holzernnte. *Kooperation-splattform Forst Holz Papier*, 168 str.
- Jaeger D., Labelle R. E., Poltorak J. B. 2012. Soil Disturbance by Off-Road Traffic of Forwarders: Magnitude, Persistence and Mitigation. *FORMEC Forest Engineering - Concern, Knowledge, Accountability in Today's Environment*. Cavtat 8-12 October 2012, Croatia: 10 str.
- Košir B. 1997. Pridobivanje lesa : študijsko gradivo : [višješolski študij gozdarstva]. Ljubljana : Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire, 330 str.
- Košir B., Robek R. 2000. Značilnosti poškodb drevja in tal pri redčenju sestojev s tehnologijo strojne sečnje na primeru delovišča Žakenc. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 62: 87-115.
- Košir B. 2004. Priprava dela za strojno sečnjo. *Gozdarski vestnik*, 62, 1: 25 - 31
- Košir B. 2010. Gozdna tla kot usmerjevalec tehnologij pridobivanja lesa. Biotehniška fakulteta pri Univerzi v Ljubljani, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana. 80 str.
- Krajnc N., Piškur M. 2009. Proizvodnja in raba lesne biomase v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 67, 9: 399 - 403 str.
- Krajnc N., Piškur M. 2011. Potenciali in perspektive rabe lesne biomase v Sloveniji. *Gozdarski vestnik*, 69, 4: 239 - 243 str.
- Krč J., Beguš J., Primožič J., Levstek J., Papler-Lampe V., Klun J., Mihelič M. (ed.). 2014. Vodila dobrega ravnanja pri strojni sečnji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 38 str.
- KWF. 1985. *Waldschonende Holzernnte. Tagungsführer zur 9. KWF-Tagung 1985. Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.v.Hrsg., Ruppolding*, 388 str.
- Ugotavljanje tehničnih parametrov traktorja Woody 110 (metodologija in merilni inštrumenti). 2000. (ur). Kranjska Gora, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 209-228 str.
- Majnounian B., Jourgholami M. 2013. Effects of Rubber-Tired Cable Skidder on Soil Compaction in Hyrcanian Forest. *Croat. j. for. eng.*, 34, 1: 123-135.
- Mali B., Košir B. 2007. Poškodbe tal po strojni sečnji in spravi lesa z zgibnim polprikolničarjem. *Gozdarski vestnik*, 65, 3: 131-142.
- Marenče J. 2005. Spreminjanje tehničnih parametrov traktorja pri vlačanju lesa - kriterij pri izbiri delovnega sredstva: (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). 271 str.
- MKGP, MGRT. 2012. Akcijski načrt za povečanje konkurenčnosti gozdno-lesne verige v Sloveniji do leta 2020: »Les je lep«. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano; Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, Ljubljana, 38 str.
- Morat J., Forbig A., Graupner J. 1998. Holzernnteverfahren: Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernnteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. *KWF. Gross-Umstafst*, 25, 110 str.
- Owende P., Lyons J., Haarlaa R., Peltola A., Spinelli R. in sod. 2002. Operations protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. *Ecowood Partnership*, 74 str.
- Pezdevšek Malovrh Š., Košir B., Krč J. 2004. Analiza učinkovitosti učenja strojnika na stroju za sečnjo. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 75, 53 - 69
- Poršinsky T., Horvat D. 2005. Indeks kotača kao parametar procjene okolišne prihvatljivosti vozila za privlačenje drva. *Nova mehanizacija šumarstva*, 26: 25-38.
- Poršinsky T., Stankić I., Bosner A. 2011. Djelotvorno i okolišno prihvatljivo izvoženje drva forvarderom temeljem analize nominalnog tlaka na podlogu. *Croatian journal of forest engineering*, 32, 1: 345-356
- Pravilnik o gozdnih prometnicah. 2009. Ur.l. RS št. 4/09.
- Pravilnik o varstvu gozdov. 2009a. Ur.l. RS št. 114/2009

- Sacchelli S., Zambelli P., Zatelli P., Ciolli M. 2013. Biomassfor: an open-source holistic model for the assessment of sustainable forest bioenergy. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 6, 5: 285-293
- Staff A. 1972. Drivning – avverkning och transport i skosbruket. (LTS förlag, (ur.) 444 str.
- Wästerlund I., Bygden G. 2002. Soil Disturbance in Forestry: Problems and Perspectives. *Proceedings of the International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations* : September 29-October 5, 2002. Tokyo, IUFRO: 312-315.
- Žlogar J. 2007. Primernost traktorskih vlak za vožnjo z zgibnim pol-prikoličarjem: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 57 str.
- ToSIA 2013. ToSIA - Tool for Sustainability Impact Assessment. URL: <http://tosia.efi.int/>, dostop oktober 2013.
- Triplat M., Prislán P., Krajnc N. 2015. Decision-Making Tool for Cost-Efficient and Environmentally Friendly Wood Mobilisation. *SEE-FOR (South-east European forestry)*, 6, 2: 179-190