

VPLIV MIRNIH CON NA NAČRTOVANJE LETNE SEČNJE IN SPRAVILA LESA

THE IMPACT OF DISTURBANCE-FREE AREAS ON ANNUAL HARVEST OPERATIONS PLANNING

Boštjan KEPIC¹, Petra GROŠELJ², Janez KRČ³

(1) Groharjeva ulica 12, SI - 1241 Kamnik, kepic.bostjan@gmail.com

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, Petra.Groselj@bf.uni-lj.si

(3) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, Janez.Krc@bf.uni-lj.si

IZVLEČEK

Prispevek obravnava vpliv mirnih con na načrtovanje letne izvedbe pridobivanja lesa (fazi sečnje in spravila lesa). Izdelali smo dva modela binarnega celoštevilskega linearnega programiranja (BILP) za razmeščanje delovnih skupin v oddelke glede na najmanjše skupne stroške. Ti vključujejo stroške sečnje in spravila lesa, potne stroške in stroške premikov strojev. V prvem modelu smo predpostavili, da je čas proizvodnje poljuben. V drugem modelu pa, da je v 50 % oddelkov proizvodnja časovno omejena zaradi mirnih con in razpoložljivi letni delovni čas zmanjšan za 16,9 %. Ugotovili smo, da je zaradi časovnih omejitev letno izvedbo pridobivanja lesa možno opraviti le z uvedbo dodatne delovne skupine. Časovne omejitve vplivajo na razmeščanje delovnih skupin v oddelke ter na vrstni red opravljanja del. Povečane skupne stroške letne gozdne proizvodnje zaradi mirnih con je možno opravičiti z nezmožnostjo poseka lesa, povečanimi stroški delovne sile in višjimi stroški amortizacije za mehanizacijo. Problem izpada delovnega časa zaradi mirnih con lahko podjetje rešuje s prerazporeditvijo svojih delavcev na druga dela. Problem izpada izvedbe sečnje in spravila, ki nastopi zaradi mirnih con in posledično kasnejšo potrebo po višjih zmogljivostih, pa lahko podjetje rešuje s podizvajalci. Vsak model smo testirali na dveh primerih.

Ključne besede: mirne cone, binarno celoštevilsko linearno programiranje, načrtovanje poseka lesa, gozdarstvo, gozdna proizvodnja, razmeščanje delovnih skupin

ABSTRACT

The article deals with annual harvest operations (AHO) planning with consideration of disturbance-free areas. We developed two models of binary integer linear programming (BILP) for scheduling work groups to harvest unit areas (HUA) according to the lowest possible cost. Total AHO costs include: harvesting and skidding costs, transportation costs, and machine relocation costs. First model is based on the presumption that harvesting can be planned and executed freely throughout the year. In the second model, scheduling was subject to time restrictions due to disturbance-free areas. 50% of the HUA had time restrictions which led to 16.9% reduction of annual workplace time. In this case, by introducing an extra work group, we can provide for the implementation of the AHO plan. Furthermore, we state that in this situation time restrictions affect the scheduling of work groups and the sequencing of tasks. The increase in total AHO costs can be explained by decreased wood harvesting capacity, increased production costs and higher amortization costs of machines. Available workplace time shortage due to time restrictions can be dealt with by shifting own workers to other tasks. The workforce deficits can be compensated by recruiting subcontractors. We have tested each model on two examples.

Key words: disturbance-free areas, binary integer programming, forestry, annual harvest operations planning, harvesting, scheduling working teams

GDK 308+306+302(045)=163.6
DOI 10.20315/ASetL.109.2

Prispelo / Received: 06.01.2016
Sprejeto / Accepted: 05.04.2016

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Vedno večja konkurenca na globalnem trgu zahteva od gozdarskih podjetij vse večjo ekonomičnost in učinkovitost pri gospodarjenju z gozdovi. Načrtovalci proizvodnih procesov iščejo in razvijajo metode ter tehnologije za racionalizacijo. Z razvojem računalništva in matematičnih optimizacijskih metod je za iskanje

optimalnih strategij pri načrtovanju gospodarjenja z gozdom postala uporaba modelov nepogrešljiva.

Osnova za izdelavo letnega načrta del v državnih gozdovih so podatki o naboru delovišč (oddelkov) in predvideni količini lesa za posek. Letni nabor delovišč predlaga Zavod za gozdove Slovenije v sodelovanju s Skladom kmetijskih zemljišč in gozdov Republike Slovenije. Delovišča se med seboj razlikujejo glede na lo-

kacijo, terenske razmere (naklon, skalovitost, odprtost z gozdnimi prometnicami), velikost in sestojne razmere (lesno zalogo, količino lesa, predvideno za posek, povprečno velikost drevesa in vrsto lesa). Letni načrt ne vsebuje podrobnega razporeda delovnih skupin in koledarskega časa trajanja del znotraj posameznih delovišč. Terminiranje proizvodnje (Ljubič, 2000), kar pomeni določitev zaporedja opravljanja nalog, njihov začetek in konec ter ugotavljanje potrebnih kapacitet za izvedbo del in njihovo podrobno razporeditev po posameznih operacijah, se v večini gozdarskih podjetjih pri nas opravlja brez računalniške podpore. Načrtovalec mora tehtati med časovnimi omejitvami, ki veljajo za posamezna delovišča, primernostjo stroja za delo v njih ter potrebami proizvodnega obrata po vrsti in kakovosti lesa. Takšno delo je zahtevno in hkrati zamudno, še posebej, ker je mnogokrat zaradi nepredvidljivih dogodkov načrt treba ponovno usklajevati.

V tujini se v postopku načrtovanja letne izvedbe pridobivanja lesa uporabljajo različne matematične metode s področja operacijskih raziskav in aplikacije za podporo odločanja, ki omogočajo simuliranje različnih scenarijev, s katerimi je mogoče v kratkem času priti do kvalitetnih rešitev (Newham, 1991; Karlsson in sod., 2004; Eker in Acar, 2006; Bredström in sod., 2010). Cilji teh modelov so različni. Največkrat z razporeditvijo delovišč, predvidenih za sečnjo in spravilo, težijo k čim nižjim stroškom proizvodnje ali čim višjemu dobičku. Pri tem upoštevajo mesečne ali letne zahteve proizvodno predelovalnih obratov po količini ter določeni vrsti in kvaliteti lesa (Newham, 1991), nekateri modeli pa tudi transport lesa (Eker in Acar, 2006; Marques in sod., 2012; Moura in Scaraficci, 2008; Rix in sod., 2014) ter graditev in vzdrževanje gozdnih prometnic (Andalaft in sod., 2003; Epstein in sod., 2006).

Eden izmed pomembnih vidikov načrtovanja izvedbe pridobivanja lesa pri gozdarskih podjetjih je optimalna izkoriščenost lastnih in (ali) najetih (podizvajalci) delovnih zmogljivosti. Z matematičnimi optimizacijskimi modeli se na operativni ravni rešuje problem dodelitve delovnih skupin v posamezna delovišča (Karlsson in sod., 2004) ter določa zaporedje premikanja delovnih skupin po deloviščih prek krajšega časovnega obdobja (Karlsson in sod., 2003; Mitchell, 2004). Z matematičnimi optimizacijskimi modeli se rešujejo naslednja vprašanja: kje in kdaj (npr. teden) bosta potekala sečnja in spravilo, katera delovna skupina bo opravila delo, katere gozdne prometnice so potrebne za uresničitev nalog, kam se bo transportiral les, kako bo potekalo krojenje lesa...

Mehanizirana gozdna proizvodnja je povezana z vznemirjanjem živali, z vnosom povečanega hrupa ter

spremembo naravnega okolja in se kot taka mora prilagajati življenjskim ciklom živalskih vrst v obdobju, ko so le te najbolj občutljive (Pravilnik o izvajanju ..., 1994; Pravilnik o varstvu ..., 2009). Hrup vpliva na vedenje živali, njihovo fiziologijo, prehranjevalne navade, uspešnost razmnoževanja in njihove preživitvene zmogljivosti (Radle, 2007). Eden izmed ukrepov, s katerimi se omilijo negativni dejavniki gozdne proizvodnje ter ohranjajo prostoživeče vrste, je vzpostavljanje mirnih con (Pravilnik o varstvu ..., 2009; Richardson in Miller, 1997; Zakon o divjadi ..., 2004.). Glavni namen ukrepov je preprečevanje ali omejevanje vznemirjanja, ki ga povzročajo dela v gozdu v obdobju in v oddaljenosti od prostorov, ki so pomembni za razmnoževanje ptičjih vrst in sesalcev. Pravilnik o varstvu gozdov (2009) v 10. členu določa za posamezne živalske vrste časovne in prostorske omejitve opravljanja del v okolici njihovih struktur. Struktura je specifična naravna situacija ali sestav, ki ga pripravi ali uporabi žival, in je nujno potrebna za razmnoževanje, vzrejo potomcev ali preživetje določenega obdobja v letu ali dnevu, npr. gnezdo, brlog, počivališče, rastišče itd. (Uredba o zavarovanih ..., 2004).

Prispevek obravnava načrtovanje letne izvedbe pridobivanja lesa (fazi sečnje in spravila lesa), ki upošteva mirne cone. Metoda temelji na matematičnem programiranju. Z uporabo metode smo želeli zagotoviti ustrezen nabor delovnih zmogljivosti (delavcev in delovnih sredstev) in njihovo boljšo izkoriščenost ter posledično zmanjšati stroške dela. Metoda temelji na dveh modelih, s katerima razporejamo delovne skupine po deloviščih tako, da proizvodnja poteka neprekinjeno. V prvem modelu upoštevamo razporejanje skupin s ciljem, da so stroški izvedbe sečnje in spravila lesa, prevoza delavcev in premikov strojev minimalni. Drugi model v primeri s prvim upošteva še časovne in prostorske omejitve, ki izhajajo iz upoštevanja mirnih con, ter določi za vsako delovno skupino okviren razpored del prek leta. Oba modela smo preizkusili na realnih podatkih proizvodnega procesa. S primerjavo rezultatov obeh modelov smo želeli ugotoviti, kakšne so razlike v izvedbi pridobivanja lesa med obema načinoma na letni ravni. Razlike smo analizirali glede na izkoriščenost zmogljivosti ter z vidika dodatnih stroškov. Pri preizkusu prvega modela smo predpostavili, da je predvidene sečnje v obravnavanih oddelkih možno v celoti izvesti z lastnimi zmogljivostmi, ki imajo popolnoma izkoriščen razpoložljivi delovni čas. Z drugim modelom pa smo analizirali razlike v izvajanju letne gozdne proizvodnje zaradi prilagajanja časovnim omejitvam v posameznih oddelkih.

2 OBJEKT IN METODE DELA

2 STUDY AREA AND METHODS

Problem optimiranja načrtovanja izvedbe letne gozdne proizvodnje je razdeljen v dva sklopa:

1. Izdelava baze podatkov in tehnična analiza
2. Izdelava optimizacijskih modelov za razmeščanje delovnih skupin v oddelke

2.1 Izdelava baze podatkov in tehnična analiza

2.1 Input data collection and technical analysis

2.1.1 Opis objekta preučevanja

2.1.1 Description of the study area

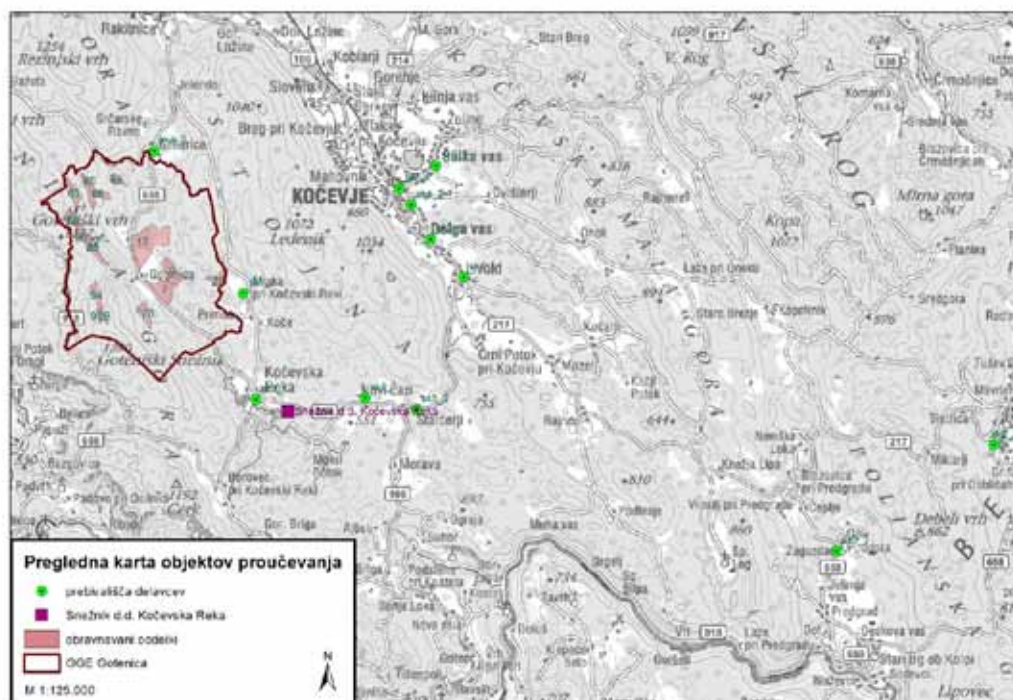
Oba optimizacijska modela smo preizkusili na podatkih o predvideni letni gozdni proizvodnji v gozdno-gospodarski enoti (GGE) Gotenica (slika 1), ki je del gozdnogospodarskega območja Kočevje. Površina GGE znaša 3468 ha, od tega je gozdnega prostora skoraj 94 %. Zahodni del enote sestavlja pogorje Goteniške gore z najvišjim vrhom Goteniškim Snežnikom (1289 metrov). Vzhodni del enote pa sestavlja Goteniška dolina z nadmorsko višino okrog 600 metrov, ki se postopoma dviguje proti pogorju Stojne. Teren je razgiban z vsemi značilnostmi visokega krasa (vrtače, jame, brezna, žlebovi). Prevladujejo dinarski jelovo bukovi gozdovi (80,9 %). Povprečna gostota cest znaša v enoti 18,58 m/ha. Povprečna gostota gozdnih vlak je 106 m/ha. Poleg divjadi, med katero je najpomembnejši veliki jelen (*Cervus elaphus*), so v enoti tudi redke in ogrožene živalske vrste: divji petelin (*Tetrao urogallus*), medved (*Ursus arctos*), volk (*Canis lupus*) in sova kozača (*Strix uralensis*).

2.1.2 Letni plan proizvodnje in učinki delovnih skupin

2.1.2 AHO plan and working groups productivity

Podatke o načrtovani letni proizvodnji za leto 2015 v GGE Gotenica smo pridobili od podjetja Snežnik d.d. Kočevska Reka, ki v tej enoti gospodari z gozdovi v lasti Republike Slovenije. Letni načrt proizvodnje vsebuje nabor delovišč s predvideno količino lesa za posek in predvidene učinke dela (posebej za sečnjo in spravilo). Izvleček iz letnega načrta je predstavljen v preglednici 1.

V letu 2015 je bila v GGE Gotenica predvidena proizvodnja v štirinajstih oddelkih. Oddelki hkrati predstavljajo tudi delovišča. Letna količina sečenj je znašala 15.765 m³. Vsi oddelki so bili primerni za spravilo lesa s srednjim gozdarskim zgibnikom. Delovno skupino poleg traktorista sestavljata še dva sekača. Opravljajo skupinsko delo, kjer sočasno potekata sečnja in spravilo. Posledica skupinskega dela je skupinska norma, ki sta jo preučevala tudi Klun in Poje (2000). V nasprotju s posamično normo, kjer se norma določi za posameznega delavca posebej in jo je možno izračunati po normativih za dela v gozdu, ki so priloga Uredbe o koncesiji ... (2010), za izračun skupinske norme nismo imeli na voljo podatkov o normativu. Zato smo privzeli, da je skupinska norma delovne skupine v oddelku enaka normi za delovno fazo (sečnja ali spravilo), ki zahteva daljši čas za izvedbo predvidenega dela. Največji razpoložljiv delovni čas znotraj koledarskega leta znaša 175 dni in je določen izkustveno na osnovi razgovorov s predstavniki družbe Snežnik d.d. Kočevska Reka. Navadno znaša med 170 in 180 dnevi.



Slika 1: Pregledna karta objektov preučevanja

Fig. 1: Map of the study area

Preglednica 1: Učinki delovnih skupin in letne količine sečenj za GGE Gotenica v letu 2015

Oddelek <i>Unit area</i>	Norma za 2 sekača (m ³ /dan) <i>Standard time for 2 fellers (m³/day)</i>	Norma traktorista (Iwafuji – T41) (m ³ /dan) <i>Standard time for tractor driver (Iwafuji – T41) (m³/day)</i>	Skupinska norma (I+2) (dni)* <i>Group standard time (I+2) (days)</i>	Skupinska norma (I+2) preračunana na koledarsko leto (dni) <i>Group standard time (I+2) converted to calendar year (days)</i>	Možni posek, letno (m ³) <i>Possible cut (m³)</i>
7	31,88	30,00	64,0	133,5	1917
9	31,12	28,35	49,5	103	1393
17	30,34	28,99	73,0	152,5	2116
29	26,44	35,46	36,5	76	958
63	33,90	25,14	34,5	72	857
65	32,38	36,49	20,0	41,5	647
68	32,86	28,67	20,5	43	586
69	32,02	44,82	25,5	53	801
88	32,50	41,34	28,0	58,5	896
89	31,54	33,49	24,0	50	751
90	33,48	30,35	37,0	77	1120
94	34,92	31,53	44,5	93	1392
95B	35,36	35,00	29,0	60,5	1002
123	36,38	33,88	39,00	81,5	1321

* Skupinska norma za posamezen oddelek je izračunana kot kvocient med možnim posekom (m³) in normo (m³/dan) dveh sekačev oziroma traktorista (izbrali smo tistega, ki ima nižje učinke dela).

*Standard time set for team work for individual HUA was calculated as the quotient between the annual cut (m³) and work productivity (m³/day) for two fellers or tractor driver (the one with lower work productivity was chosen).

2.1.3 Razdalje dnevni migracij

2.1.3 Daily migration distances

Podjetje Snežnik d.d. Kočevska Reka daje zaposlitve predvsem lokalnemu prebivalstvu, zato smo lokacije dvanajstih delavcev naključno izbirali na območju Kočevske in Bele krajine. Sedež podjetja je v Kočevski Reki. Delavci vsak dan prihajajo na delo na sedež druž-

be v Kočevsko Reko. Od tam se vsakodnevno vozijo na delovišče. Prebivališča delavcev, delovišča ter sedež družbe smo vnesli in grafično prikazali v ArcGis okolju (slika 1). Razdalje dnevni migracij smo izračunali z modulom Network Analyst (Network Analyst Tutorial, 2015) ter jih prikazali v preglednicah 2 in 3.

Preglednica 2: Razdalja posameznega delavca od doma do sedeža družbe**Table 2:** Distance between worker's home and the company Snežnik d.d. Kočevska Reka

Delovne skupine / Working groups	Lokacije domov / Locations of workers' homes	Razdalje (km) / Distances (km)
Skupina 1 / Group 1		10,2
Sekač 1 / Feller 1	Kočevska Reka	1,6
Sekač 2 / Feller 2	Mlaka pri Kočevski Reki	5,2
Traktorist / Tractor driver	Novi Lazi	3,4
Skupina 2 / Group 2		67,1
Sekač 1 / Feller 1	Dolga vas	12,8
Sekač 2 / Feller 2	Kočevje	15,0
Traktorist / Tractor driver	Grič pri Dobljčah	39,3
Skupina 3 / Group 3		51,7
Sekač 1 / Feller 1	Šalka vas	16,4
Sekač 2 / Feller 2	Štalcerji	5,2
Traktorist / Tractor driver	Zagozdac	30,1
Skupina 4 / Group 4		37
Sekač 1 / Feller 1	Livold	10,8
Sekač 2 / Feller 2	Kočevje	14,2
Traktorist / Tractor driver	Grčarice	12,4

Preglednica 3: Razdalje od sedeža družbe do delovišč

Oddelki / Unit areas	7	9	17	29	63	65	68	69	88	89	90	94	95B	123
Razdalja (km) / Distance (km)	7,7	8,8	9,0	6,3	17,5	13,8	12,7	11,2	17,5	20,2	16,5	13,4	12,5	6,3

Table 3: Distances between the company Snežnik d.d. Kočevska Reka and HUA**Preglednica 4:** Časovne in prostorske omejitve opravljanja del v okolici struktur določenih živalskih vrst

Živalska vrsta Animal species	Struktura Structure	Min. polmer mirnih con (m) Min. radius of disturbance-free zones	Trajanje Duration
Divji petelin / capercaillie	aktivna rastišča, zaščitne cone / active leks, protected zones	500	1.3. - 30.6.
	rastišča in prehranski habitat / leks and feeding sites	/	1.3. - 30.6.
Medved / bear	aktivni brlog / active lair	200	15.12. - 30.4.
Rastlinojedi / herbivores	zimovališče / wintering quarters	/	1.12. - 31.3.

Table 4: Seasonal restrictions and distance buffers around animals use sites

2.1.4 Mirne cone v GGE Gotenica

2.1.4 Disturbance-free areas in FMU Gotenica

Lokacije mirnih con smo povzeli po Gozdnogospodarskem načrtu GGE Gotenica (2012-2021) ter po Gozdnogojitvenih načrtih za obravnavane oddelke. Pri načrtovanju gozdne proizvodnje v letu 2015 je treba upoštevati časovne in prostorske omejitve zaradi rastišč divjega petelina, medvedjega brloga ter zimovališč rastlinojedov. Časovne in prostorske omejitve za te vrste so povzete po Pravilniku o varstvu ... (2009) in so navedene v preglednici 4. Zaradi lažjega sledenja smo omejitve za vsako živalsko vrsto posebej označili z enotno barvo.

Na osnovi lokacij mirnih con in trajanja časovnih omejitev smo izračunali število razpoložljiv koledarskih dni in delovnih dni (preglednica 5). Oddelke, kjer se proizvodnja izvaja preko leta neodvisno od omejitev,

smo označili z zeleno, sicer pa so zimovališča rastlinojedov obarvana z rumeno, aktivni brlog z roza in prisotnost rastišč divjega petelina z modro barvo.

2.1.5 Stroški opravljanja letne gozdne proizvodnje

2.1.5 Costs of AHO

Upoštevali smo stroške sečnje in spravila lesa (2), potne stroške (3), stroške premika stroja (4) in kazenske stroške (5).

Stroški sečnje in spravila lesa:

Osnova za izračun stroška delovne skupine je strošek izvedbe sečnje in strošek spravila lesa. Osnovni podatki za izračun stroškov sečnje je cena dnine sekača in cena materialnih stroškov motorne žage ter normativni učinek sečnje in izdelave. Stroški spravila so izračunani iz materialnih stroškov pravnega sredstva

Preglednica 5: Razpoložljiv koledarski delovni čas za izvedbo pridobivanja lesa v GGE Gotenica v letu 2015

Oddelki / Unit areas	Možen pričetek del Possible commencement of work	Konec izvedbe del End of harvesting operations	Št. razpoložljivih koledarskih dni / Number of available calendar days	Št. razpoložljivih delovnih dni / Number of available working days
29, 63, 65, 68, 69, 88, 123	1.1.2015	31.12.2015	365	175
7, 9, 17	1.4.2015	30.11.2015	244	117
89	1.5.2015	15.12.2015	229	110
90, 94, 95B	1.1.2015	28.2.2015	59	28
	1.7.2015	31.12.2015	184	88

Table 5: Available calendar workplace time for harvesting operations in FMU Gotenica during 2015**Preglednica 6:** Višina dnine za posek in spravilo (Program dela ... (2014))

Delovno sredstvo / delavec / skupina / Work tool / worker / group	EUR/dan / EUR/day
Motorna žaga / Chainsaw	16,48
Sekač / Feller	140,00
Veliki gozdarski zgibnik / Large forestry skidder	345,76
Delovna skupina (1+2) / Working group (1+2)	798,72

Table 6: Costs of harvesting and skidding (Work program ... (2014))

(veliki gozdarski zgibni traktor), dnine traktorista ter normativnega učinka spravila lesa. V preglednici 6 navedeni stroški so povzeti po Programu dela ... (2014).

Potni stroški:

Optimizacijska modela upoštevata potne stroške posameznega delavca od doma do sedeža družbe in od sedeža družbe do posameznega delovišča. Zbrani so za vsako delovno skupino posebej. Stroške smo povzeli po Uredbi o višini povračil stroškov v zvezi z delom in drugih dohodkov, ki se ne všteto v davčno osnovo (Uredba o višini ..., 2006). Strošek prevoza delavca od doma do sedeža družbe znaša 0,18 EUR/km, strošek prevoza delavca od sedeža družbe do posameznega delovišča pa 0,37 EUR/km.

Stroški premikov strojev:

Delovni stroj je treba pripeljati, odpeljati ali premikati med delovišči s pomočjo prikolice. V gozdarski družbi Snežnik d.d. Kočevska Reka pri tem uporabljajo lasten prevoz oziroma najamejo podizvajalce. Stroji so sicer parkirani na sedežu družbe v Kočevski Reki. Strošek prevoza gozdarskega zgibnika znaša 63 EUR/h (Snežnik d.d. Kočevska Reka, 2015). V strošek je zajet čas nakladanja, prevoza in razkladanja stroja. Najdaljša razdalja premika stroja ni preseгла 21 kilometrov in trajanje prevoza stroja ni preseгло 21 minut. Ker stroški premikov strojev sestavljajo le manjši delež skupnih stroškov opravljanja letne gozdne proizvodnje, smo zaradi poenostavitve modela kot strošek premika stroja vzeli 63 EUR/premik.

Kazenski stroški:

Kazenski stroški so vključeni v model z namenom, da se zagotovijo čim večji učinki pri sečnji in spravilu lesa ter posledično izkoristijo največje možne delovne zmogljivosti. Če se v modelu ne upoštevajo kazenski stroški, znaša optimalna rešitev – minimalni skupni stroški opravljanja letne gozdne proizvodnje 0 EUR, vrednost nerealiziranega poseka pa je maksimalna (15.765 m³). Z namenom, da je vrednost nerealiziranega poseka čim manjša, je treba poiskati dovolj visoke povprečne kazenske stroške (k). Ti so znašali 46 EUR/nerealizirani m³. Pod to vrednostjo model ne najde optimalne rešitve.

2.2 Izdelava optimizacijskih modelov za razmeščanje delovnih skupin v oddelke

2.2 Development optimization model for scheduling working groups to HUA

Zastavljeni problem smo reševali z optimizacijsko metodo matematičnega programiranja, imenovano

binarno celoštevilsko linearno programiranje (angl. Binary - Integer Linear Programming (BILP)). V primerjavi z linearnim programiranjem uporabljamo pri BILP diskretne spremenljivke (binarne, 0 ali 1) za izračun diskretnih odločitev. V uporabni matematiki je zastavljeni problem znan kot Problem razporejanja (angl. MIN Generalized Assignment Problem) (npr. Ross in Soland, 1975; Balachandran, 1976; Gottlieb in Rao, 1990). Glede na najmanjše skupne stroške letne proizvodnje je bilo treba delovne skupine porazdeliti v oddelke. Izdelali smo dva optimizacijska modela za razmeščanje delovnih skupin v oddelke. Vhodni podatki modelov so predstavljeni v preglednici 7. Ciljna funkcija je pri obeh modelih enaka in je podana v poglavju 2.2.1. Modela se razlikujeta v spremenljivkah in omejitvah.

Za reševanje problema smo uporabili orodje Open Solver 2.7.1 (Mason in Dunning, 2010; Mason, 2012), ki uporablja COIN-OR (The Computational Infrastructure for Operations Research) Branch and Cut algoritem (CBC). Orodje združuje algoritme, ki temeljijo na metodi omejevanja in razvejevanja (angl. Branch and Bound Method) in Gomoryjevi metodi odsečnih ravnin (angl. Cutting Plane Method). Orodje je možno zagnati prek Excela, ki je del programskega paketa Microsoft Office. V primerjavi z orodjem Reševalec, ki je že del Excela, je uporabljeni reševalec zmogljivejši, hitrejši in prav tako brezplačen. Modela smo zagnali tudi v Analytic Solver Platform podjetja Frontline Systems, Inc., ki uporablja izredno zmogljivi in še hitrejši Gurobi Solver v.6.0.0. Primerjava rezultatov, ki smo jih dobili s pomočjo obeh orodij, je pokazala, da med njima ni bistvenih razlik v smislu kvalitete rešitev.

2.2.1 Ciljna funkcija

2.2.1 Objective function

Ciljna funkcija (1) je sestavljena iz štirih komponent, ki prispevajo k skupnim stroškom izvajanja letne gozdne proizvodnje. Prve tri komponente so povezane z realnimi stroški proizvodnje: stroški sečnje in spravila lesa, potnimi stroški in stroški premikov strojev. Četrta komponenta so kazenski in se nanašajo na neizvajanje gozdne proizvodnje.

$$\min Z_{skup} = Z_{proiz} + Z_{prevoz} + Z_{premik} + Z_{kazenski} \quad (1)$$

$$Z_{proiz} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} w_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$Z_{prevoza} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g_{ij} + h_{id}) x_{ij} \quad (3)$$

$$Z_{premik} = S_p \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (4)$$

Preglednica 7: Vhodni podatki

Table 7: Input data

Zapis / Notation	Razlaga / Explanation
$i=1,\dots,m$	Nabor delovnih skupin / List of working groups
$j=1,\dots,n$	Nabor oddelkov / List of unit areas
$l=1,\dots,L$	Nabor razpoložljivih časovnih intervalov / List of available time intervals
$p=1,\dots,P$	Nabor omejitvenih časovnih intervalov / List of restriction time intervals
$j_i=1,\dots,n_i$	Nabor oddelkov, ki pripadajo razpoložljivemu časovnemu intervalu / List of unit areas belonging to the available time interval
T_r^z	Nabor začetnih datumov izvajanja del ($r=1,\dots,S$) / List of work implementation start dates ($r=1,\dots,S$)
T_r^z	Nabor končnih datumov izvajanja del ($s=1,\dots,S$) / List of work implementation end dates ($s=1,\dots,S$)
w_{ij}	Delovni čas potreben za izvedbo del v oddelku j , če se dodeli skupini i / Working time needed for the implementation of works in the unit area j , if assigned to group i
t_i	Delovni čas, ki je na voljo skupini i / Working time available to group i
t_{rs}	Razpoložljiv koledarski čas v omejitvenem časovnem intervalu p / Disposable calendar time in the restriction time interval p
t_{rs}^d	Razpoložljiv delovni čas v omejitvenem časovnem intervalu p / Disposable working time in the restriction time interval p
V_{razp}	Možni posek, letno (m^3) / Possible cut, annual (m^3)
V_{izv}	Izveden posek, letno (m^3) / Implemented cut, annual (m^3)
c_{ij}	Strošek izvedbe sečnje in spravila lesa skupine i v oddelku j / Harvesting costs of group i in unit area j
g_{ij}	Strošek delovne skupine i za prevoz od sedeža družbe do oddelka j in nazaj / Costs of working group i for the transport from the company's headquarters to the unit area j and back
h_{id}	Strošek delovne skupine i za prevoz od doma d do sedeža družbe in nazaj / Costs of working group i for the transport from home d to the company's headquarters and back
S_p	Povprečen strošek premika stroja / Average machine reallocation costs
k	Povprečni kazenski stroški (EUR/nerealiziran m^3) / Average penalty costs (EUR/unrealized m^3)
x_{ij}	Dodelitev delovne skupine i v oddelku j
x_{ijl}	Dodelitev delovne skupine i v oddelku j , ki pade v omejitveni časovni interval p , (pri čemer oddelku j pripada razpoložljivemu časovnemu intervalu l , ki je v celoti zajet v obravnavanem omejitvenem časovnem intervalu p) / Allocation of working group i to group j that appertains to the restriction time interval p (where unit area j belongs to the available time interval l , which is fully included in the dealt with restriction time interval p)
x_{ijl}^z	Dodelitev delovne skupine i v oddelku j , ki pade pred oddelke, pripadajoče v celoti zajetemu razpoložljivemu časovnemu intervalu v obravnavanem omejitvenem časovnem intervalu p (pri čemer oddelku j pripada razpoložljivemu časovnemu intervalu l , ki ni v celoti zajet v obravnavanem omejitvenem časovnem intervalu p) / Allocation of working group i to the group j that appertains before unit areas belonging to fully included available time period in the dealt with restriction time period p (where unit area j belongs to the available time interval l , which is not fully included in the dealt with restriction time interval p)
x_{ijl}^k	Dodelitev delovne skupine i v oddelku j , ki pade za oddelke, pripadajoče v celoti zajetemu razpoložljivemu časovnemu intervalu v obravnavanem omejitvenem časovnem intervalu p (pri čemer oddelku j pripada razpoložljivemu časovnemu intervalu l , ki ni v celoti zajet v obravnavanem omejitvenem časovnem intervalu p) / Allocation of working group i to the group j that appertains after unit areas belonging to fully included available time period in the dealt with restriction time period p (where unit area j belongs to the available time interval l , which is not fully included in the dealt with restriction time interval p)

$$Z_{kazenski} = k(V_{razp} - V_{izv}) \quad (5)$$

Razlage oznak so v preglednici 7.

2.2.2 Predpostavke in omejitve obeh modelov

2.2.2 Assumptions and constraints of both models

Predpostavke in omejitve v okviru raziskovanja:

- Pri izdelavi modela smo se osredotočili na fazo sečnje in spravila lesa, ki izhaja iz rednih sečenj. V modelu ni bil upoštevan čas, potreben za graditev, rekonstrukcijo, pripravo gozdnih prometnic, izvedbo gojitvenih del in transport posekanega lesa, ki potekajo pred, med ali po fazi sečnje in spravila.
- Sečnjo in spravilo lesa v posameznem oddelku lahko opravlja le ena delovna skupina. Vsaka skupina

opravi delo v oddelku v celoti.

- Delovne skupine opravljajo delo kontinuirano, brez prekinitev med letom.
- Omejitve opravljanja del v oddelku 89 zaradi aktivnega medvedjega brloga, ki se nanaša na radij 200 m, smo posplošili na celoten oddelku.
- Kot premik stroja se šteje vsak premik stroja od sedeža družbe do oddelka in vsak premik stroja med dvema oddelkoma. V model ni zajet premik stroja od oddelka do sedeža družbe.
- Model ne predvideva potreb po količini in sortimentaciji lesa v določenem časovnem obdobju.
- Model ne predvideva časovnih in prostorskih omejitvev opravljanja sečnje in spravila iz drugih vzrokov (npr. naravnih razmer, tržnih razmer, itd.).

2.2.3 Model razmeščanja delovnih skupin v oddelke, kjer letna gozdna proizvodnja ni pod vplivom časovnih omejitev (model 1)

2.2.3 Optimization model for scheduling working groups to harvest units, where operation planning is not influenced by seasonal restrictions (model 1)

Spremenljivke modela 1

Model dodeli delovne skupine v posamezne oddelke. To zapišemo na sledeči način:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{če je skupina } i \text{ dodeljena v oddelke } j \\ 0; & \text{sicer} \end{cases} \quad (6)$$

Omejitve modela 1

$$\sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij} \leq t_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (8)$$

Opis omejitev:

(7) Čas, ki je na voljo posamezni delovni skupini, je omejen.

(8) Le ena delovna skupina lahko dela v določenem oddelku. Delo se opravi v celoti.

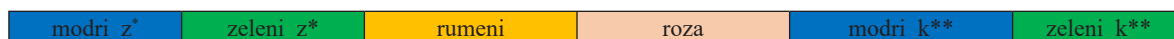
2.2.4 Model razporejanja delovni skupin v oddelke, kjer je letna gozdna proizvodnja časovno omejena – mirne cone (model 2)

2.2.4 Optimization model for scheduling working groups to harvest units, where operation planning is influenced by seasonal restrictions (model 2)

Model 2 upošteva, da so v določenih oddelkih mirne cone, kot je to prikazano v poglavju 2.1.4. Iz

časovnih omejitev opravljanja del, ki veljajo znotraj posameznih oddelkov, se najprej določijo razpoložljivi časovni intervali l (preglednica 8), znotraj katerih je možno opravljati delo. Razpoložljivi časovni intervali s pripadajočimi oddelki ($j=1, \dots, n_j$) so osnova za določitev omejitev v modelu prek sistema linearnih neenačb, ki opišejo relacije med posameznimi časovnimi obdobji in njim pripadajočimi oddelki. Pri razpoložljivem intervalu gre navadno za eno obdobje v koledarskem letu, lahko pa tudi dve – na začetku in koncu leta, če je omejitev v sredini leta. Iz razpoložljivih časovnih intervalov, ki so definirani z začetnimi T_r^z ($r=1, \dots, S$) in končnimi datumi T_s^k ($s=1, \dots, S$), se določijo vsi možni omejitveni časovni intervali p (preglednica 9) in njihovo trajanje v koledarskem letu. Trajanje v koledarskem letu se preračuna na delovni čas. V posameznem omejitvenem časovnem intervalu so poleg vsaj enega razpoložljivega časovnega intervala lahko zajeti tudi deli razpoložljivih časovnih intervalov, ki pa se lahko pojavljajo na začetku in/ali na koncu. Oddelki, ki pripadajo delom razpoložljivih časovnih intervalov, se lahko razvrstijo pred in/ali za oddelki, ki pripadajo v celoti zajetemu razpoložljivemu časovnemu intervalu. Slika 2 nakazuje razvrstitev oddelkov v omejitvenih časovnih intervalih glede na to, katere razpoložljive časovne intervale vsebujejo.

S pomočjo slike 2 so zapisane naslednje omejitve modela: (13)-(23). Omejitve slonijo na predpostavki, da vsota dni, potrebna za izvedbo del v oddelkih, ki ustrezajo posameznemu omejitvenemu časovnemu intervalu p , ne sme preseči njegovega trajanja t_{rs}^d . V model zato uvedemo tri binomske spremenljivke (9)-(11), za katere velja omejitev (12). Model torej ne dolo-



z^* – razvrstitev oddelkov pred oddelke, ki pripadajo v celoti zajetemu razpoložljivemu časovnemu intervalu

k^{**} – razvrstitev oddelkov za oddelke, ki pripadajo v celoti zajetemu razpoložljivemu časovnemu intervalu

Legenda barv:

Modra = Oddelki, v katerih velja časovna omejitev za divjega petelina

Zelena = Oddelki brez časovnih omejitev

Rumena = Oddelki, v katerih velja časovna omejitev za rastlinojede

Roza = Oddelki, v katerih velja časovna omejitev za medveda
Oddelki, v katerih velja časovna omejitev za divjega petelina, in oddelki brez časovnih omejitev se vedno pojavljajo pred in/ali za oddelki, v katerih velja časovna omejitev za rastlinojede in za medveda.

z^* – scheduling of HUA before HUA belonging to the fully included available time periods

k^{**} – scheduling of HUA after HUA belonging to the fully included available time periods

Colour legend:

Blue = HUA where forest production is subject to time restrictions due to capercaillie.

Green = HUA without time restrictions.

Yellow = HUA where forest production is subject to time restrictions due to herbivores.

Pink = HUA where forest production is subject to time restrictions due to bear.

HUA where forest production is subject to time restrictions due to capercaillie and HUA without time restrictions always occur before and/or after the HUA, where forest production is subject to time restrictions due to herbivores and bear.

Slika 2: Shema razvrstitve oddelkov v omejitvenih časovnih intervalih

Fig. 2: Scheme of HUA sequencing in restriction time periods

Preglednica 8: Razpoložljivi časovni intervali

l	T_1^z	T_1^k	T_2^z	T_3^z	T_4^z	T_2^k	T_3^k	T_4^k	t_{rs}^d	t_{rs}	j_j		
1	1.1.2015							31.12.2015	175	365	29, 63, 65, 68, 69, 88, 123		
2			1.4.2015			30.11.2015			117	244	7, 9, 17		
3				1.5.2015			15.12.2015		110	229	89		
4	1.1.2015	28.2.2015			1.7.2015			31.12.2015	28	88	59	184	90, 94, 95B

Table 8: Available time periods**Preglednica 9:** Omejitveni časovni intervali

p	T_1^z	T_1^k	T_2^z	T_3^z	T_4^z	T_2^k	T_3^k	T_4^k	t_{rs}^d	t_{rs}
1	1.1.2015	28.2.2015							28	59
2	1.1.2015					30.11.2015			160	334
3	1.1.2015						15.12.2015		167,5	349
4	1.1.2015							31.12.2015	175	365
5			1.4.2015			30.11.2015			117	244
6			1.4.2015				15.12.2015		124	259
7			1.4.2015					31.12.2015	132	275
8				1.5.2015			15.12.2015		110	229
9				1.5.2015				31.12.2015	117,5	245
10					1.7.2015			31.12.2015	88	184

Table 9: Restriction time periods

či natančnega vrstnega reda premikanja delovnih skupin po oddelkih. Model temelji na razvrščanju skupin oddelkov (j_j), ki pripadajo posameznim razpoložljivim

časovnim intervalom na način, da se določene skupine oddelkov vedno pojavljajo pred ali za drugimi skupinami oddelkov.

Spremenljivke modela 2

$$x_{ji} = \begin{cases} 1; & \text{če je delovna skupina } i \text{ dodeljena v oddelek } j, \text{ ki pade v omejitveni časovni interval } p \\ 0; & \text{sicer} \end{cases} \quad (9)$$

$$x_{ji}^z = \begin{cases} 1; & \text{če je skupina } i \text{ dodeljena v oddelek } j, \text{ ki pade v omejitveni časovni interval } p, \text{ na začetek intervala } p \\ 0; & \text{sicer} \end{cases} \quad (10)$$

$$x_{ji}^k = \begin{cases} 1; & \text{če je skupina } i \text{ dodeljena v oddelek } j, \text{ ki pade v omejitveni časovni interval } p, \text{ na konec intervala } p \\ 0; & \text{sicer} \end{cases} \quad (11)$$

Omejitve modela 2

Poleg omejitve (8) v modelu 2 nastopajo še naslednje omejitve:

$$x_{ji}^z + x_{ji}^k = x_{ji} \quad (12)$$

$$\sum_{j_4=1}^{n_4} w_{j_4} x_{j_4}^z \leq t_{11}^d \quad (13)$$

$$\sum_{j_4=1}^{n_4} w_{j_4} x_{j_4}^z + \sum_{j_1=1}^{n_1} w_{j_1} x_{j_1}^z + \sum_{j_2=1}^{n_2} w_{j_2} x_{j_2}^z \leq t_{12}^d \quad (14)$$

$$\sum_{j_4=1}^{n_4} w_{j_4} x_{j_4}^z + \sum_{j_1=1}^{n_1} w_{j_1} x_{j_1}^z + \sum_{j_2=1}^{n_2} w_{j_2} x_{j_2}^z + \sum_{j_3=1}^{n_3} w_{j_3} x_{j_3}^z \leq t_{13}^d \quad (15)$$

$$\sum_{j_4=1}^{n_4} w_{j_4} x_{j_4}^z + \sum_{j_1=1}^{n_1} w_{j_1} x_{j_1}^z + \sum_{j_2=1}^{n_2} w_{j_2} x_{j_2}^z + \sum_{j_3=1}^{n_3} w_{j_3} x_{j_3}^z + \leq t_{14}^d \quad (16)$$

$$\sum_{j_2=1}^{n_2} w_{j_2} x_{j_2}^z \leq t_{22}^d \quad (17)$$

$$\sum_{j_2=1}^{n_2} w_{j_2} x_{j_2}^z + \sum_{j_3=1}^{n_3} w_{j_3} x_{j_3}^z \leq t_{23}^d \quad (18)$$

$$\sum_{j_2=1}^{n_2} w_{j_2} x_{j_2}^z + \sum_{j_3=1}^{n_3} w_{j_3} x_{j_3}^z + \sum_{j_4=1}^{n_4} w_{j_4} x_{j_4}^k + \sum_{j_1=1}^{n_1} w_{j_1} x_{j_1}^k \leq t_{24}^d \quad (19)$$

$$\sum_{j_3=1}^{n_3} w_{j_3} x_{j_3}^z \leq t_{33}^d \quad (20)$$

$$\sum_{j_3=1}^{n_3} w_{j_3} x_{j_3}^z + \sum_{j_4=1}^{n_4} w_{j_4} x_{j_4}^k + \sum_{j_1=1}^{n_1} w_{j_1} x_{j_1}^k \leq t_{34}^d \quad (21)$$

$$\sum_{j_4=1}^{n_4} w_{j_4} x_{j_4}^k \leq t_{44}^d \quad (22)$$

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Rezultati preizkusa obeh modelov na letnem planu proizvodnje za leto 2015 v GGE Gotenica

3.1 Results of both models for AHO plan for FMU Gotenica in 2015

V nadaljevanju predstavljamo in primerjamo rešitve obeh analiziranih različic letne gozdne proizvodnje, ki smo jih dobili s preizkušanjem obeh matematičnih optimizacijskih modelov z orodjem OpenSolver 2.7.1. V obeh modelih smo kot vhode uporabili podatke, obravnavane v poglavju 2.1. Toleranco po metodi razveji in omeji smo nastavili na 0 %. Oba modela smo testirali na dveh primerih: s tremi in s štirimi delovnimi skupinami. V primeru 1 načrtujemo letno gozdno proizvodnjo s tremi (lastnimi) delovnimi skupinami. V primeru 2 načrtujemo letno gozdno proizvodnjo s štirimi delovnimi skupinami, ki so prosto razpoložljive na delovnem trgu.

3.1.1 Potrebne delovne zmogljivosti in njihova izkoriščenost

3.1.1 Needed working capacities and their utilization

V primeru, ko se ne upoštevajo časovne omejitve v oddelkih (model 1), so za izvedbo letne gozdne proizvodnje potrebne 3 delovne skupine, ki so vsaka posebej v celoti izkoriščene. V primeru, ko se upoštevajo časovne omejitve izvajanja letne proizvodnje (model 2), je bila skupina 1 v celoti izkoriščena, skupina 3 delno (99,43 %), skupina 2 pa slabih 89 %. Za uresničitev letnega načrta proizvodnje bi bila potrebna dodatna, četrta delovna skupina, ki pa v tej fazi ni bila vključena v modela. Izkoriščenost je izračunana kot razmerje med zmanjšanim delovnim časom zaradi upoštevanja mirnih con in razpoložljivim delovnim časom brez upoštevanja teh.

3.1.2 Razporeditev delovnih skupin

3.1.2 Allocation of working groups

Iz preglednice 11 je razvidno, da se razmestitev treh delovnih skupin v oddelke ter njihov vrstni red opravljanja del razlikuje med obema modeloma. Pri modelu

1 modelno orodje dodeli delovne skupine v oddelke na način, da so skupni stroški letne gozdne proizvodnje najmanjši. Pri tem upošteva, da je vsaka od treh delovnih skupin omejena s časom (365 koledarskih dni oziroma 175 delovnih dni). Model 1 ne določi zaporedja premikanja posamezne delovne skupine po oddelkih med letom. Razvrstiti jih je treba posebej. Ob upoštevanju omejitev v modelu 2 modelno orodje ni razmestil v oddelek 68 nobene delovne skupine. V preglednici 11 smo zato uvedli dodatno, četrto delovno skupino, ki prevzame oddelek 68. Analiza razvrstitve treh delovnih skupin prek leta pokaže izpad 41 koledarskih dni pri skupini 2 in 2 koledarska dneva pri skupini 3. Vsota izpadlih dni delovnih skupin znaša natanko 43 koledarskih dni, kolikor je potrebno za izvedbo del v oddelku 68. Delovna skupina 1 je v celoti izkoriščena. Delo v oddelku bi bilo možno opraviti le v primeru, če bi znotraj oddelka istočasno delali skupini 2 in 3. Poleg tega bi se morala skupina 2 še enkrat vrniti v oddelek 68. Oddelek 68 je bil v modelu 2 izločen, ker je to povzročilo najmanjši izpad proizvodnje glede na količine lesa (586 m³).

Z obema modeloma je možno s tremi delovnimi skupinami načrtovati letno gozdno proizvodnjo tako, da njihovo delo poteka kontinuirano, brez prekinitev med letom. To omogoča podjetju stabilno realizacijo poseka lesa. Slika 3 prikazuje skupne realizirane količine lesa na mesečni ravni pri preizkusu obeh modelov na primeru s tremi delovnimi skupinami. V povprečju so te nižje pri modelu 2. Najnižja realizacija količin lesa (896 m³) pri modelu 2 se pojavlja v januarju. Najnižja realizacija količin lesa (1168 m³) pri modelu 1 pa se pojavlja v juniju.

3.1.3 Minimalni skupni stroški izvajanja letne gozdne proizvodnje

3.1.3 Minimum total costs of AHO

Minimalni skupni stroški izvajanja letne gozdne proizvodnje, ugotovljeni z metodo BILP za primer s tremi delovnimi skupinami, kjer se ne upoštevajo časovne omejitve izvajanja proizvodnje (model 1), znašajo 441.705,84 EUR (28,02 EUR/m³) oziroma pri preizkusu modela 2, kjer se upoštevajo časovne omejitve pri izvajanju gozdne proizvodnje, 451.168,03 EUR (29,72

Preglednica 10: Izkoriščenost delovnega časa

	Potrebno št. delovnih skupin / Needed number of working groups	Izkoriščenost skupine 1 (%) / Utilization of group 1 (%)	Izkoriščenost skupine 2 (%) / Utilization of group 2 (%)	Izkoriščenost skupine 3 (%) / Utilization of group 3 (%)	Skupna izkoriščenost (%) / Overall utilization
Model 1	3	100	100	100	100
Model 2	4	100	88,86	99,43	96,10

Table 10: Utilization of working time

Preglednica 11: Razporeditev delovnih skupin v oddelke in njihov vrstni red izvajanja letne gozdne proizvodnje**Table 11:** Allocation of working groups to HUA and their sequence

Delovne skupine Working groups	Model 1			Model 2		
	Oddelki Unit areas	Pričetek del Commencement of work	Konec del End of work	Oddelki Unit areas	Pričetek del Commencement of work	Konec del End of work
1	7	1.1.2015	13.5.2015	123	1.1.2015	22.3.2015
	29	14.5.2015	28.7.2015	63	23.3.2015	2.6.2015
	65	29.7.2015	8.9.2015	9	3.6.2015	13.9.2015
	69	9.9.2015	31.10.2015	89	14.9.2015	2.11.2015
	95B	1.11.2015	31.12.2015	88	3.11.2015	31.12.2015
2	17	1.1.2015	1.6.2015	69	7.2.2015	31.3.2015
	68	2.6.2015	14.7.2015	7	1.4.2015	11.8.2015
	90	15.7.2015	29.9.2015	90	12.8.2015	27.10.2015
	94	30.9.2015	31.12.2015	95B	28.10.2015	27.12.2015
3	9	1.1.2015	13.4.2015	29	1.1.2015	17.3.2015
	63	14.4.2015	24.6.2015	65	18.3.2015	27.4.2015
	88	25.6.2015	21.8.2015	17	28.4.2015	27.9.2015
	89	22.8.2015	10.10.2015	94	28.9.2015	29.12.2015
	123	11.10.2015	31.12.2015			
4				68	1.1.2015	12.2.2015

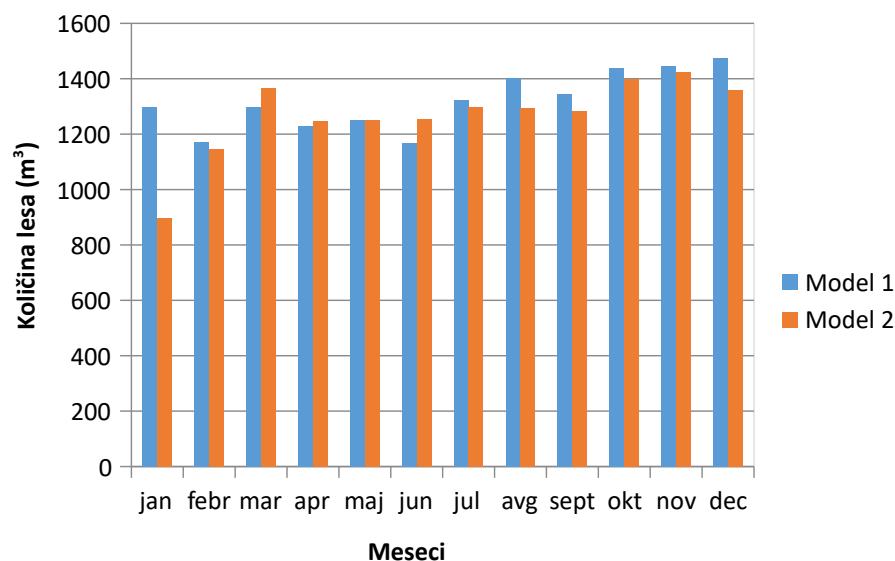
EUR/m³) (preglednica 12). Razlika 9.462,19 EUR nastane zaradi nezmožnosti izvajanja gozdne proizvodnje v oddelku 68 in upoštevanja kazenskih stroškov v modelu 2.

Z namenom, da se odpravi vpliv kazenskih stroškov, smo v modelnem orodju uporabili štiri delovne skupine (primer 2). Izhajali smo iz tega, da vse štiri delovne skupine lahko najamemo na prostem trgu dela. To nam omogoča večjo fleksibilnost pri organizaciji dela. Delovne skupine najemamo takrat, kadar jih potrebujemo.

Iz preglednice 13 je razvidno, da znašajo minimalni skupni stroški izvajanja letne gozdne proizvodnje za

primer s štirimi delovnimi skupinami, kjer se ne upošteva časovnih omejitev izvajanja gozdne proizvodnje (model 1), 439.809,54 EUR (27,89 EUR/m³) oziroma pri preizkusu modela 2, kjer se upoštevajo časovne omejitve pri izvajanju gozdne proizvodnje, 439.923,07 EUR (27,90 EUR/m³). Stroški sečnje in spravila lesa so pri obeh preizkusih modelov enaki in znašajo 419.328,00 EUR. Razlika 113,53 EUR nastane zaradi razlik v izkoriščenosti delovnih skupin in njihovih stroškov prevoza od doma do sedeža družbe.

Iz preglednice 13 je razvidno, da pretežni del skupnih stroškov izvajanja letne gozdne proizvodnje sestavljajo stroški sečnje in spravila lesa (95,34 oziroma

**Slika 3:** Primerjava realizacije količine lesa na mesečni ravni**Fig. 3:** Comparison of monthly outputs (m³/month)

Preglednica 12: Skupni stroški izvajanja letne gozdne proizvodnje za primer, kje se upoštevajo tri delovne skupine (primer 1)

	Stroški izvedbe sečnje in spravila lesa (EUR) / Harvest operations costs (EUR)	Stroški prevoza (EUR) / Transport costs (EUR)	Stroški premikov strojev (EUR) / Machinery reallocation costs (EUR)	Kazenski stroški (EUR) / Penalty costs (EUR)	Skupni stroški / Total costs
Model 1	419.328,00	21.495,84	882	0	441.705,84
Model 2	402.954,24	20.428,21	819	26.966,58	451.168,03

Table 12: Total AHO costs for the case studies with three working groups**Preglednica 13:** Skupni stroški izvajanja letne gozdne proizvodnje za primer, kje se upoštevajo štiri delovne skupine (primer 2)

	Stroški izvedbe sečnje in spravila lesa (EUR) / Harvest operations costs (EUR)	Stroški prevoza (EUR) / Transport costs (EUR)	Stroški premikov strojev (EUR) / Machinery reallocation costs (EUR)	Kazenski stroški (EUR) / Penalty costs (EUR)	Skupni stroški / Total costs
Model 1	419.328,00	19.599,54	882,00	0	439.809,54
Model 2	419.328,00	19.713,07	882,00	0	439.923,07

Table 13: Total AHO costs for the case studies with four working groups (example 2)**Preglednica 14:** Pregled potnih stroškov (primer 2)

	Potni stroški (EUR) / Travel costs (EUR)	Delovne skupine / Working groups			
		1	2	3	4
Model 1	Od družbe do delovišča / From the company to worksite	4.715,61	0	4.997,22	3.656,01
	Od doma do družbe / From home to the company	642,60	0	3.257,10	2.331,00
	Skupaj / Total	5.358,21	0	8.254,32	5.987,01
Model 2	Od družbe do delovišča / From the company to worksite	4.997,22	612,72	3.888,11	3.870,79
	Od doma do družbe / From home to the company	642,60	483,12	2.894,17	2.324,34
	Skupaj / Total	5.639,82	1.095,84	6.782,27	6.195,13

Table 14: Transportation costs (example 2)

95,32 %). Ta znaša v obeh primerih 26,6 EUR/m³. Stroški prevoza in stroški premikov strojev so v primerjavi s stroški sečnje in spravila lesa majhni in znašajo skupaj 4,66 oziroma 4,68 %. Pri preizkusu obeh modelov je bilo opravljenih 14 premikov strojev.

Preglednica 14 prikazuje potne stroške štirih delovnih skupin. Potni stroški se povečujejo z izkoriščenostjo delovnih skupin ter z večanjem skupne razdalje od sedeža družbe do delovišča. Ker imajo vse delovne skupine enak strošek sečnje in spravila lesa ter potni strošek od sedeža družbe do posameznega delovišča (EUR/dan), model teži k temu, da se najbolje izkoristi tista delovna skupina, ki dosega najmanjši strošek prevoza od doma do sedeža družbe. Ta je najmanjši pri skupini 1. Skupina 2 ima najdaljšo skupno razdaljo od doma do sedeža družbe (67,1 km), zato pri preizkusu modela 1 ostane neizkoriščena, pri preizkusu modela 2 pa je najmanj izkoriščena.

4 DISKUSIJA

4 DISCUSSION

V raziskavi smo uporabili optimizacijska modela BILP in prikazali razlike v pristopu načrtovanja pridobivanja lesa, ki izhajajo iz časovnih in prostorskih omejitev vzpostavitve mirnih con. Pri preizkusu prvega modela smo predpostavili, da je čas proizvodnje poljuben. Pri preizkusu drugega modela je v 50 % oddelkov proizvodnja časovno omejena. Zaradi mirnih con je bil razpoložljiv letni delovni čas zmanjšan za 16,9 %. S primerjavo rezultatov obeh preizkusov modelov smo pokazali, da je v primeru časovnih omejitev predvideno količino sečenj možno opraviti le z uvedbo dodatne delovne skupine.

Koncept vključevanja kazenskih stroškov v odločitvene modele je uveljavljen v operacijskih raziskovanih (Bredström in sod., 2010). Kazenski stroški se v našem primeru nanašajo na izpad realizacije sečnje in bistveno vplivajo na optimizacijo izračuna obeh mo-

delov za primera s tremi delovnimi skupinami. Manjši učinek pri sečnji in spravilu lesa povzroča višje kazenske stroške. Če želimo primerjati izračuna obeh modelov, morajo biti povprečni kazenski stroški (EUR/nerealizirani m³) čim bolj realni. Po drugi strani pa morajo biti dovolj visoki, sicer modelno orodje ne poišče optimalne rešitve. Kazenske stroške je možno upravičiti s povečanimi stroški delovnih skupin kot posledica nižje učinkovitosti, povečanimi stroški amortizacije mehanizacije ter stroški zaradi nezmožnosti realizacije (prodaje) poseka, ki je predviden v tekočem letu. Kljub slabši izkoriščenosti je treba delavcem zagotoviti mesečni dohodek. Tega podjetje pokriva s prihodki od realizacije načrtovanih del in prodaje lesa. Prihodki so v tem primeru manjši kot v primeru celotne izkoriščenosti delavcev. To se kaže na povečanih stroških dela na enoto proizvodnje. Posledica slabše izkoriščenosti delovnih sredstev je tudi višji strošek amortizacije. Prihodek od realizacije gozdne proizvodnje je možno izračunati kot razliko med prihodkom (vrednostjo lesa na kamionski cesti) in stroški sečnje in spravila, kar znaša v primeru GGE Gotenica 26 EUR/m³ (GGN GGE Gotenica, 2012). Vpliv kazenskih stroškov smo odpravili z uvedbo dodatne četrte delovne skupine (primer 2). Skupni stroški izvajanja letne gozdne proizvodnje se v primeru 2 pri preizkusu obeh modelov niso bistveno razlikovali. V praksi se gozdarska podjetja pogosto zatekajo k uvajanju dodatnih delovnih skupin. Zaradi nezmožnosti opravljanja dela s svojimi kapacitetami ter sezonske naravnosti gozdne proizvodnje se ta odločajo tudi za storitev podizvajalcev (npr. Snežnik d.d. Kočevska Reka, GG Bled).

Kakovost rešitev je odvisna predvsem od kakovosti vhodnih podatkov in načina njihovega zajemanja, obdelave ter interpretacije. Tovrstni modeli slonijo na vhodnih podatkih, ki so pridobljeni na terenu v okviru izdelave gozdnogojitvenih načrtov. Podatki se pretežno nanašajo na redne sečnje. Tudi v krajšem obdobju načrtovanja gozdne lesne proizvodnje se lahko pojavijo različni dejavniki, kot so motnje v naravi (suša, snegolomi, vetrolomi, lubadar, itd.), spremenjene tržne razmere pri prodaji lesa, ki jih je pri načrtovanju izvedbe letne gozdne proizvodnje težko predvideti in zajeti v model. Motnje lahko glede na obseg v veliki meri spremenijo zanesljivost in uporabnost rezultatov modela oziroma poslabšajo ciljno vrednost modela (npr. stroške, prihodek). V takšnih primerih se sistem pomena ciljev spremeni. Prednost pred upoštevanjem časovnih omejitev, ki izhajajo iz ekoloških potreb vrst, ima preprečevanje posledic nastale škode, npr. zaustavitev napada podlubnikov.

Oddelki, obremenjeni z mirnimi conami, bistveno vplivajo na zaporedje premikanja delovnih skupin prek leta. Pri različici, kjer oddelki niso obremenjeni z mirnimi conami, ima načrtovalec na voljo precej več možnosti za določitev zaporedja opravljanja del. Pri vsaki delovni skupini ima načrtovalec natanko $n!$ razvrstitev, kjer n pomeni število oddelkov. Ob upoštevanju mirnih con pa ima načrtovalec znatno manj možnosti za določitev zaporedja opravljanja del za posamezno delovno skupino. Razvrščajo se lahko le oddelki, ki pripadajo v celoti zajetim razpoložljivim časovnim intervalom v posameznem omejitvenem časovnem intervalu (to so navadno oddelki, ki pripadajo intervalom v sredini leta) in oddelki, ki se pojavljajo na začetku ali na koncu koledarskega leta.

S problemom ustreznosti velikosti radijev mirnih con se je stroka že ukvarjala (Poje in sod., 2008). Vzpostavitev mirnih con v prostoru zahteva presojo o njihovi upravičenosti in velikosti. Odgovorni morajo imeti tehtne razloge za njihovo vzpostavitev. Kljub temu v praksi pogosto nastajajo težave pri njihovem vzpostavljanju. Radiji mirnih con so v večini primerov vezani na aktivna gnezda in mesta poleganja mladčev, ki pa so v naravi težko prepoznana. Le redko se zgodi, da živali uporabljajo te strukture več let zapored na isti lokaciji. Načrtovalci gospodarjenja z gozdovi pogosto nimajo informacij o lokacijah takšnih gnezd oziroma le te niso ažurne. Gozdna proizvodnja se namreč v državnih gozdovih izvaja eno leto po izdelavi gozdnogojitvenih načrtov, v zasebnih gozdovih pa je ta odmik lahko še daljši. Prostorska opredelitev zakonsko določenih radijev mirnih con na terenu ni praktična, saj se proizvodnja v državnih gozdovih navadno načrtuje na ravni oddelka ali sečnospravnih enote. V tem primeru bi bilo smiselno, da se že v sklopu izdelave gozdnogospodarskih načrtov gozdnogospodarske enote mirne cone načrtujejo na ravni oddelka oz. odseka. V postopku izdelave izvedbenih načrtov pa bi moral pripravljavec pri določitvi sečnospravnih enot upoštevati tudi območje struktur živalskih vrst, ki so osnova za določitev območja mirnih con. Prilagajanje velikosti in oblike mirnih con glede na značilnosti terena omogoča tudi Pravilnik o varstvu gozdov (2009). Kot primer navajamo mirno cono orla belorepca (GGN GGE Ravne, 2015). V načrtu se je namesto radija 500 metrov okrog gnezda izločila mirna cona v velikosti štirih oddelkov.

Vpliv časovnih omejitev izvajanja gozdne proizvodnje zaradi mirnih con na gozdarsko podjetje je nedvomno odvisen od velikosti območja, kjer deluje podjetje, od velikosti časovno omejenih površin in trajanja omejitev znotraj teh, od razpoložljivih delovnih zmo-

gljivosti ter od zastavljenih ciljev podjetja glede gozdne proizvodnje. Časovne in prostorske omejitve izvajanja gozdne proizvodnje je možno omiliti na več načinov. Uporaba zmogljivejše tehnologije in več delovnih skupin za delo znotraj z mirnimi conami obremenjenih delovišč znatno pripomore k zmanjšanju časa opravljanja gozdarskih del. Izpade delovnega časa zaradi mirnih con lahko podjetje rešuje s prerazporeditvijo delavcev na druga dela oz. delovišča. Problem izpada gozdne proizvodnje, ki nastopi zaradi mirnih con, in posledična kasnejša potreba po višjih zmogljivostih pa lahko podjetje rešuje s podizvajalci.

5 POVZETEK

5 SUMMARY

With the development of computer sciences and mathematical optimization methods, the use of mathematical models became indispensable in forest management planning on all levels. One of the important aspects of harvest operations planning with forestry companies is optimal use of their own work capacities as well as the work capacities of subcontractors. When planning annual harvest operations (AHO), planners must take into consideration time restrictions due to disturbance-free areas besides the needs of production and required wood quality. In the process of preparing the annual plan, different mathematical methods in operational research and decision support systems are used with which it is possible to achieve quality solutions in short periods of time while simulating different scenarios.

In our research we showed differences in AHO planning due to space and time restrictions originating from disturbance-free areas. We used binary integer linear programming (BILP) to analyze the differences in planning. Two optimization models were developed for scheduling working groups to harvest unit areas (HUA) in relation to the lowest cost possible. Total AHO costs include: harvesting and skidding costs, transportation costs, and machine relocation costs. We also implemented penalty costs with the intention to ensure maximum effectiveness of wood harvesting and skidding and with that maximum work efficiency. First model is based on the presumption that harvesting can be planned and executed freely throughout the year. With the second model, scheduling takes into account time restrictions due to disturbance-free areas. It schedules work assignments in different HUA throughout the year while considering time restrictions. Objective function is the same for both models. Models differ in decision variables and constraints. We

tested both models on real time data on predicted AHO plan (14 HUA) in Gotenica forest management unit for 2015. We acquired data on working groups' productivity, annual allowable cut, disturbance-free areas, production costs, travel costs and machine relocation costs. Workers' residences, HUA and forestry company headquarters are shown graphically in ArcGis and daily migration distances were calculated with its extension Network Analyst.

We have tested the models with two software tools Open Solver 2.7.1. and Analytic Solver Platform by Frontline Systems Inc. They both run in Excel environment.

In the first model (with no time restrictions), three working groups were needed to execute the annual plan. Each group was used to its full capacity. In the second model, 50% of the HUA had time restrictions, and this resulted in 16.9% decrease in available workplace time. Group one was used to full capacity, group 2 was 88.86% utilized and group 3 99.43%. To achieve the annual plan an additional work group had to be implemented.

Allocation and sequencing of the work groups differed between models. Time restrictions due to disturbance-free areas significantly affect sequencing of working groups. In model 1, where there are no time restrictions, the planner can freely sequence work assignments inside individual working group.

In general, both models enable AHO planning in a way that enables continued work without interruptions. This enables stable wood production.

Using BILP, the minimum total annual production costs where harvesting can be planned and executed freely throughout the year (no disturbance-free areas) in all HUA, taking into consideration three working groups (example 1), amounted to 441,705.84 EUR (28.02 EUR/m³). And, for the model, where scheduling was subject to time restrictions due to disturbance-free areas (model 2), the same costs were 451,168.03 EUR (29.72 EUR/m³). The difference 9,462.19 EUR resulted from decreased capacity to harvest wood in harvest unit area 68, because of penalty costs in model 2. When penalty costs are introduced in the model, there must be caution in interpretation of the result. If we want to compare different solutions of the models, the average penalty costs must be realistic. On the other hand, the penalty costs must be high enough, otherwise the model can't find the solution. The penalty costs can be explained by increased costs of workforce as result of lower productivity, higher amortization costs of machines and by decreased capacity to harvest wood, thus the annual profit shrinks.

By introducing an additional, fourth working group (example 2), we removed the influence of penalty costs in the model. The minimum annual production costs where harvesting can be planned and executed freely throughout the year (no disturbance-free areas) in all HUA were 439,809.54 EUR (27.89 EUR/m³). And in the model 2, where scheduling was subject to time restrictions due to disturbance-free areas, the costs were 439,923.07 EUR (27.90 EUR/m³). The difference 113.53 EUR resulted from differences in utilization of working time of working groups and their transportation costs from home to the company headquarters. In both models (example 2), most of the total costs were production costs (95.34 and 95.32%, respectively). Introduction of additional working groups is the case that is most often used in practice. The workforce deficits can be compensated by recruiting subcontractors. Available workplace time shortage due to time restrictions can be dealt with moving their own workers to other tasks or HUA.

The introduced model 2 has a theoretical value. To our knowledge there are no similar case studies in existing literature. The impact of disturbance-free areas to annual production costs depends on duration of time restrictions, the size of restricted area and company's ability to adapt. The presented study can help in the search for optimal solutions.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je nastal kot del raziskave v okviru magistrskega dela prvega avtorja prispevka. Avtorji se zahvaljujemo zaposlenim na družbi Snežnik d.d., Kočevska Reka in Zavodu za gozdove Slovenije, OE Kočevje za informacije in podatke, ki so bili potrebni za preizkus modelov.

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- Andalajt N., Andalajt P., Guignard M., Magendzo A., Wainer A., Weintraub A. 2003. A problem of forest harvesting and road building solved through model strengthening and Lagrangean relaxation. *Operations Research* 51(4), 613–628.
- Balachandran V. 1976. An integer generalized transportation model for optimal job assignment in computer networks. *Operations Research*, 24(4), 742–759.
- Bredström D., Jönsson P., Rönnqvist M. 2010. Annual planning of harvesting resources in the forest industry. *International Transactions in Operational Research*, 17, (2): 155–177
- Eker M., Acar H. H. 2006. Developing an AHO Planning Model for Turkish State Forest. The 29th Council on Forest Engineering Conference. Coeur d'Alene, Idaho, July 30-August 2, 2006. W. Chung and H.S. Han, editors. pp. 363-374.
- Epstein R., Weintraub A., Sapunar P., Nieto E., Sessions J. B., Sessions J., Musante H. 2006. A combinatorial heuristic approach for solving real-size machinery location and road design problems in forestry planning. *Operations Research*, 54(6), 1017-1027.
- Gottlieb E. S., Rao M. R. 1990. The generalized assignment problem: Valid inequalities and facets. *Mathematical Programming*, 46(1-3), 31-52.
- GGN GGE Gotenica, 2012. Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Gotenica (2012-2021). 2012. Kočevje. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Kočevje.
- GGN GGE Ravne, 2015. Gozdnogospodarski načrt gozdnogospodarske enote Ravne (2016-2025). Kočevje. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Kočevje.
- Gozdnogojitveni načrti za oddelke 7, 9, 17, 29, 63, 65, 68, 69, 88, 89, 90, 94, 95B, 123. Kočevje. Zavod za gozdove Slovenije, Območna enota Kočevje.
- Karlsson J., Rönnqvist M., Bergström J. 2003. Short-term harvest planning including scheduling of harvest crews. *Int. Trans. Oper. Res.* 10(5): 413–431.
- Karlsson J., Rönnqvist M., Bergström J. 2004. An optimization model for annual harvest planning. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(8), 1747-1754.
- Klun J., Poje A. 2000. Spravilo lesa z zgibnim traktorjem IWA FUJI-41 in poškodbe pri sečnji in spravilu. *Diplomsko delo*, Ljubljana, BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vire: 151 str.
- Ljubič T. 2000. Planiranje in vodenje proizvodnje: modeli, metode, podatki. Založba moderna organizacija, Kranj: 443 str
- Marques A. F., Rönnqvist M., D'Amours S., Weintraub A., Gonçalves J., Borges J. G., Flisberg P. 2012. Solving the Raw Materials Reception Problem Using Revenue Management Principles: An Application to a Portuguese Pulp. *CIRRELT*: 27 str
- Mason A., Dunning I. 2010. OpenSolver: open source optimisation for Excel. V: *Proceedings of the 45th Annual Conference of the ORSNZ. Operations Research Society of New Zealand*, November, 2010: 181-190. https://secure.orsnz.org.nz/conf45/program/Papers/ORSNZ2010_Mason.pdf OpenSolver: Open Source Optimisation for Excel (10.11.2015)
- Mason A. J. 2012. OpenSolver-An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel. V: *Operations Research Proceedings 2011*. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 401-406.
- Mitchell S. A. 2004. Operational forest harvest scheduling optimisation: A mathematical model and solution strategy. *Doktorska disertacija*. The University of Auckland: 252 str <https://researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/1761>
- Moura A. V., Scaraficci R. A. 2008. Hybrid heuristic strategies for planning and scheduling forest harvest and transportation activities. V: *Computational Science and Engineering, 2008. CSE'08. 11th IEEE International Conference on IEEE*: 447-454.
- Network Analyst Tutorial. 2015. Esri.com. <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/network-analyst-tutorial.pdf> (25.4.2015)
- Newham R.M. 1991. LOGPLAN II: a model for planning logging and regeneration activities. *Can. For. Serv. Petawawa Natl. For. Inst. Inf. Rep. PI-X-102*, 38 str
- Pasalodos-Tato M., Mäkinen A., Garcia-Gonzalo J., Borges J. G., Lämäs T., Eriksson L. O. 2013. Review. Assessing uncertainty and risk in forest planning and decision support systems: review of classical methods and introduction of new approaches. *Forest Systems*, 22(2), 282-303.
- Poje A., Pokorn J., Potočnik I. 2008. Hrup v gozdnem prostoru zaradi gozdne proizvodnje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 34 str.
- Pravilnik o varstvu ..., 2009. Pravilnik o varstvu gozdov. 2009. Ur. l. RS št.114/09.

- Pravilnik o izvajanju ..., 1994. Pravilnik o izvajanju sečnje, ravnanju s sečnimi ostanki, spravilu in zlaganju gozdnih lesnih sortimentov (Ur. l. RS, št. 55/94, 95/04, 110/08 in 83/13)
- Program dela ..., 2014. Program dela in finančni načrt Sklada kmetijskih zemljišč in gozdov RS za leto 2014. 88 str. <http://www.s-kzg.si/si/zakoni-in-drugi-pomembni-pravnoformalni-dokumenti/> (10.11.2015)
- Radle A. L. 2007. The effect of noise on wildlife: A literature review. In World Forum for Acoustic Ecology Online Reader: 16 str.
- Rix G., Rousseau L. M., Pesant G. 2014. A transportation-driven approach to annual harvest planning. Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks Logistics and Transportation (CIRRELT). <https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2014-24.pdf>
- Richardson C.T., Miller C.K. 1997. Recommendations for protecting raptors from human disturbance: a review. Wildlife Society Bulletin 25, 634–638
- Ross G. T., & Soland R. M. 1975. A branch and bound algorithm for the generalized assignment problem. Mathematical programming, 8(1), 91-103.
- Uredba o zavarovanih ..., 2004. Uredba o zavarovanih prosto živčih živalskih vrstah. Ur. l. RS št. 46/04, 109/04, 84/05, 115/07, 32/08 – odl. US, 96/08, 36/09, 102/11 in 15/14.
- Uredba o koncesiji ..., 2010. Uredba o koncesiji za izkoriščanje gozdov v lasti Republike Slovenije. Ur. l. RS št. 98/10, 98/12, 62/13, 90/13 in 108/13.
- Uredba o višini ..., 2006. Uredba o višini povračil stroškov v zvezi z delom in drugih dohodkov, ki se ne všttevajo v davčno osnovo. Ur. l. RS št. 140/06, dop. 76/08.
- Zakon o divjadi ..., 2004. Zakon o divjadi in lovstvu (Uradni list RS, št. 16/04, 120/06 – odl. US, 17/08 in 46/14 – ZON-C)