

OPTIMALIZAČNÍ MODEL VYUŽITÍ TĚŽEBNÍHO ZAŘÍZENÍ V LESNICKÉ PRAXI

J. Janová, M. Lindnerová

Došlo: 25. června 2009

Abstract

JANOVÁ, J., LINDNEROVÁ, M.: *The optimization model of the logging machinery usage in forestry practice.* Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2009, LVII, No. 6, pp. 105–112

The decision support systems commonly used in industry and economy managerial practice for optimizing the processes are based on algorithmization of the typical decision problems. In Czech forestry business, there is a lack of developed decision support systems, which could be easily used in daily practice. This stems from the fact, that the application of optimization methods is less successful in forestry decision making than in industry or economy due to inherent complexity of the forestry decision problems. There is worldwide ongoing research on optimization models applicable in forestry decision making, but the results are not globally applicable and moreover the cost of possibly arising software tools are indispensable. Especially small and medium forestry companies in Czech Republic can not afford such additional costs, although the results of optimization could positively influence not only the business itself but also the impact of forestry business on the environment. Hence there is a need for user friendly optimization models for forestry decision making in the area of Czech Republic, which could be easily solved in commonly available software, and whose results would be both, realistic and easily applicable in the daily decision making.

The aim of this paper is to develop the optimization model for the machinery use planning in Czech logging firm in such a way, that the results can be obtained using MS EXCEL. The goal is to identify the integer number of particular machines which should be outsourced for the next period, when the total cost minimization is required. The linear programming model is designed covering the typical restrictions on available machinery and total volume of trees to be cut and transported. The model offers additional result in the form of optimal employment of particular machines. The solution procedure is described in detail and the results obtained are discussed with respect to its applicability in practical forestry decision making. The possibility of extension of suggested model by including additional requirements is mentioned and the example for the wood manipulation requirement is shown.

Linear programming, optimization in forestry, decision support system

Hledání optimalizovaných postupů a řešení je nedílnou součástí manažerského rozhodování v každém odvětví. Zatímco v průmyslové a finančníkové praxi jsou optimalizační modely ve formě systémů na podporu rozhodování již standardní součástí manažerské práce, v zemědělství a lesnictví je manažerské rozhodování komplikováno vstupujícími ekologickými a sociologickými aspekty, které jsou pravděpodobně příčinou nižší úspěšnosti aplikace matematických optimalizačních metod v praxi. Celosvětově se rozvíjí výzkum v oblasti návrhu optimalizačních modelů pro podporu rozhodování

v zemědělství a lesnictví, který má značně lokální charakter, neboť jednotlivé modely řeší typické problémy pro danou krajinu, se kterými jsou spjaty charakteristické vazby, kritéria a cíle rozhodování. V oblasti lesnických aplikací je středem zájmu zejména optimalizace těžby dřeva s ohledem na zmiňovaná lokální specifika rozhodování. Za všechny uvedme poslední výsledky dosažené v oblasti nákladového modelu strojové těžby pro podmínky eukalyptových plantáží (Spinelli, 2009) a model optimálního rozvržení těžby dřeva pro oblast Irska (Tiernan, 2005) či Španělska (Martin-Fernandez, 2005). V li-

teratuře lze najít komplexní modely optimalizující těžbu dřeva z hlediska širších ekologických faktorů, např. z hlediska redukce uhlíkových plynů v ovzduší (Olschewski, 2009, Gutierrez; 2006), z hlediska optimálního využití krajiny (Venema, 2005) či z hlediska přechodu na ekologicky optimální strukturu lesa (Torres Rojo, 2005). V literatuře jsou také vypracovány kompletní přehledy návrhů systémů na podporu rozhodování pro konkrétní lesnické aplikace (Diaz-Balteiro, 2008).

Všechny zmíněné modely si kladou za cíl co nejlépe vystihnout reálné rozhodovací prostředí v lesnickém průmyslu včetně ekologických, případně sociologických hledisek, což má za následek poměrně velkou složitost příslušných matematických modelů a s tím související nároky na softwarové vybavení, které je schopno dané modely řešit. Méně komplexní rozhodovací problémy lesnické rozhodovací praxe je však možno řešit nejrozšířenější metodou matematického programování – programováním lineárním, které je typicky aplikováno na dopravní problémy (Flisberg, 2009), optimalizace těžby dřeva (Gomez, 2006) a obnovy lesa (Zhou, 2004, Eid; 2002). Přes svou poměrně snadnou řešitelnost a mnoha aplikacemi ověřenou funkčnost a přínosnost pro optimální chod podniku jsou lineární optimalizační modely v běžné podnikatelské lesnické praxi v České republice v podstatě nevyužívány a nejčastěji jsou plánovací a rozhodovací problémy řešeny s využitím expertního odhadu a zkušeností. Příčinou je jednak nedostupnost předpřipravených algoritmů, které by byly schopny řešit jednotlivé typické úlohy v podmínkách ČR a dále nákladnost samotného řešení, ať již v podobě nákupní ceny specializovaného SW či zaměstnání specialisty. Vzniká tedy prostor pro budování optimalizačních modelů reálných lesnických rozhodovacích úloh, které by dodávaly v praxi využitelné výsledky snadno dosažitelné prostřednictvím běžně dostupného softwaru.

Tento článek se zabývá vytvořením uživatelsky příjemného optimalizačního modelu pro konkrétní rozhodovací problém lesnicko-dřevařského podniku plánujícího potřebu těžebního zařízení

na příštím období z hlediska minimalizace nákladů na pronájem tohoto zařízení. V další části práce je shrnuta problematika podnikatelského prostředí konkrétního podniku zabývajícího se těžbou dřeva v ČR a je zformulována jeho typická rozhodovací úloha týkající se plánování počtu kusů těžebního zařízení pro příští období. Dále je sestaven model lineárního programování řešitelný v doplňku Řešitel běžného kancelářského softwaru MS EXCEL a jsou formulovány předpoklady, za kterých model lze aplikovat. V popsaném postupu řešení modelu jsou také uvedeny konečné výsledky, jejichž diskuse je provedena společně s diskusí aplikovatelnosti modelu v reálné praxi.

PROBLEMATIKA

Lesnicko-dřevařský podnik získává zakázky na těžbu dřeva od státního podniku Lesy České republiky, který pravidelně vyhlašuje výběrová řízení na práce v lesích ve vlastnictví státu. Vyhlašovaná výběrová řízení jsou buď veřejná, vyhlašovaná zpravidla na zakázky v délce trvání tři roky, anebo zkrácená, vyhlašovaná na zakázky na dobu maximálně jednoho roku. V obou případech, kdy předmětem výběrového řízení jsou těžební práce v lesích, je kritériem pro výběr firmy celková cena za vykonané činnosti. Proto podnik usilující o dosažení minimální nabídkové ceny musí především optimalizovat své náklady. Většina firem pracujících v lesnickém průmyslu nepoužívá při těžbě vlastní zaměstnance a strojní zařízení, jejichž potřebu řeší outsourcingem. Precizní plánování potřeby jednotlivých živnostníků a strojního zařízení je tedy základním nástrojem snižování nákladů. V dalším textu budeme uvažovat pouze plánování strojního zařízení, kterým budeme rozumět také outsourcing příslušného obsluhujícího personálu.

Předmětem optimalizace je plánování strojního vybavení pro těžbu na úseku kolem řeky Budišovky a přehradní nádrže Kružberk, který je ve vlastnictví státu a spadá pod správu státního podniku Lesy České republiky. Vybraný úsek o rozloze přibližně

I: Rozdělení objemu těžby podle věkových tříd

Věková třída <i>p</i>	Stáří [rok]	Průměrná hmotnost [m ³]	Zastoupení v porostu [%]	Objem těžby <i>L_p</i> [m ³]
3	21–30	0,19	5,5	1 375
4	31–40	0,29	2,7	675
5	41–50	0,49	56,8	14 200
6	51–60	0,69	1,5	375
7	61–70	0,99	9,2	2 300
8	71–80	1,19	7,5	1 875
9	81–90	1,49	3,2	800
10	91–100	1,99	2,3	575
11	101–110	2,49	4,2	1 050
12	111–120	2,99	1,8	450
13	121–130	3+	0,8	200

Zdroj: (Lindnerová, 2009)

II: Náklady na těžbu a přibližování dřeva (v Kč/m³) podle věkové třídy stromů

Věková třída p	JMP	Harvestor	Koňský potah	UKT	Lanovka	Vyvážecí souprava
3	160	465	138	208	900	200
4	127	355	130	190	850	190
5	114	325	125	181	800	175
6	105	280	117	173	750	170
7	94	250	110	165	700	160
8	83	240	107	158	650	150
9	83	240	107	158	650	150
10	83	240	107	158	650	150
11	83	240	107	158	650	150
12	83	240	107	158	650	150
13	83	240	107	158	650	150

Zdroj: (Lindnerová, 2009)

1 300 ha ležící v nadmořské výšce od 440 m n. m. do 560 m n. m. je zalesněn převážně smrkovými porosty, jiné dřeviny zde nepřesahují 1 % těžného dřeva. Na úseku se bude těžit průběžně celý rok, neboť se jedná o těžbu nahodilou, která je závislá například na dopadu kůrovcové kalamity či přírodních katastrof. Rozdělení věkových tříd porostů, jejich průměrná hmotnost, procentní zastoupení v úseku a odpovídající objem těžby jsou uvedeny v tabulce I. Objemem těžby L_p pro věkovou třídu p rozumíme předpokládaný objem stromů, které bude v dané věkové třídě na daném úseku během období jednoho roku potřeba vytěžit.

Součástí těžby je také přibližování dřeva na odvozní místo, odkud je pak dále převezeno pomocí nákladních aut do manipulačního skladu. Přibližování je možno provádět pomocí univerzálního kolového traktoru (UKT), koňského potahu, lanových přibližovacích systémů nebo vyvážecích souprav. Náklady na přibližování jsou uvedeny v tabulce II. V nákladech na těžbu a přibližování uvedených v tabulce II je již zahrnuta přírážka související s hornatostí vybraného úseku.

U přibližovacích zařízení je však také potřeba uvažovat přírážky související s celkovou vzdáleností, kterou je třeba se dřevem urazit. V tabulce III stanovujeme tři vzdálenostní pásma r a přírážky pro přibližovací zařízení. V tabulce je také uveden odhad procentuálního zastoupení stromů v jednotlivých věkových třídách a vzdálenostních pásmech ρ_{pr} , přičemž předpokládáme, že prostorové rozdělení stromů je pro všechny věkové třídy stejné.

III: Přírážky k cenám za přibližovací zařízení vzhledem k přibližovací vzdálenosti

Pásmo r	ρ_{pr} [%]	Koňský potah [%]	Ostatní [%]
1	25	0	0
2	35	30	10
3	40	50	20

Zdroj: (Lindnerová, 2009)

V tabulce IV vidíme průměrný objem vytěženého, resp. přibližného dřeva jednotlivými zařízeními za 1 pracovní den.

IV: Průměrný objem vytěženého, resp. přibližného dřeva jednotlivými zařízeními za 1 den

i	Zařízení	a_i [m ³]
1	JMP	12,9
2	Harvestor	47,0
3	Koňský potah	14,4
4	UKT	38,0
5	Lanovka	32,0
6	Vyvážecí souprava	38,0

Zdroj: (Lindnerová, 2009)

OPTIMALIZAČNÍ MODEL

Předmětem optimalizace je stanovení počtu jednotlivých zařízení, která mají být v následujícím období jednoho roku outsourcována tak, aby náklady na pronájem zařízení byly minimální. Je třeba dodržet následující omezení:

- Maximální množství jednotlivých druhů pronájemných zařízení je omezeno (viz tabulka V).
- Je třeba vytěžit a přiblížit očekávané objemy dřeva (viz tabulka I).
- Výsledkem budou celočíselné počty jednotlivých zařízení.

Model je sestaven za následujících předpokladů:

- Rozložení stromů jednotlivých hmotností do vzdálenostních pásem je možno považovat za shodné.
- Očekávaná těžba bude rovnoměrně rozložena mezi všechny věkové třídy stromů, tj. celkovou očekávanou těžbu lze rozdělit mezi jednotlivé věkové třídy podle zastoupení stromů jednotlivých věkových tříd ve vybraném úseku.

V: Dostupná množství jednotlivých zařízení

	JMP	Harvestor	Koňský potah	UKT	Lanovka	Vyvážecí souprava
<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
X_i [ks]	20	2	10	6	1	2

Zdroj: (Lindnerová, 2009)

- Neuvažujeme zásadní nepříznivé povětrnostní podmínky (sněhové závěje, přívalové deště), které by náklady na zařízení mohly dále měnit.
- Těžba bude probíhat během d dní.
- Na celém území lze pracovníky s motorovou pilou a harvestory substituovat.

Za výše uvedených předpokladů a omezení můžeme optimalizační model zapsat pomocí lineárního programování

$$z^* = \min \left\{ \sum_{i=1}^2 \sum_{p=3}^{13} x_{ip} a_i c_{ip} + \sum_{i=3}^6 \sum_{p=3}^{13} x_{ip} a_i \left(c_{ip} + \sum_{r=1}^3 \rho_{pr} Q_{ri} \right) \right\},$$

$$x_{ip} \geq 0,$$

$$y_i \geq 0,$$

$$\sum_{p=3}^{13} x_{ip} \leq X_i,$$

$$d \sum_{i=1}^2 a_i x_{ip} \geq L_p,$$

$$d \sum_{i=3}^6 a_i x_{ip} \geq L_p,$$

$$y_i = \sum_{p=3}^{13} x_{ip},$$

$$y_i : \text{integer},$$

kde dosud nepoužité symboly, mají tento význam:

z^* ... jednodenní náklady na těžbu,

c_{ip} ... náklady na těžbu (přibližování) 1 m³ dřeva, pomocí i -tého způsobu s hmotností odpovídající věkové třídě p (viz tabulka II),

a_i ... průměrný objem (v m³) vytěženého (přibližného) dřeva i -tým způsobem za 1 den (viz tabulka IV),

x_{ip} ... počet i -tých zařízení těžících stromy s hmotností odpovídající věkové třídě p ,

y_i ... umělá proměnná, která zajišťuje celočíselné celkové počty těžebních zařízení, má význam počtu kusů jednotlivých zařízení,

Q_{ri} ... přírážka pro stroj i přibližující z pásma r (viz tabulka III),

X_i ... celkový počet dostupných zařízení typu i .

Kromě podmínek nezápornosti model postihuje omezení na dostupná množství jednotlivých zařízení, podmínku, že požadovaný objem dřeva v jednotlivých hmotnostech bude jak vytěžen, tak přiblížen během d dní, a konečně zavedením umělých proměnných y_i je zajištěna celočíselnost výsledných počtů jednotlivých zařízení. Poznamenejme, že nejde přímo o úlohu celočíselného programování, neboť samotné rozhodovací proměnné nemusejí být celočíselné.

Uvedený model je řešitelný v doplňku Řešitel v programu MS EXCEL.

VÝSLEDKY ŘEŠENÍ MODELU

Parametr d je možno zvolit libovolně, podle očekávaného počtu dní, po které bude probíhat těžba. Řešením modelu dostáváme dvě sady výsledků: celkové počty zařízení minimalizujících náklady na těžbu a dále rozdělení pracovního času zařízení mezi jednotlivé typy stromů (podle věkových tříd). V tabulce VI jsou zaznamenány celkové počty zařízení, které je doporučeno pronajmout pro různé délky trvání těžby (jde o hodnoty umělých proměnných y_i). Je zřejmé, že pro daný podnik se jeví nejvhodnější přibližování pomocí koní a ruční těžba.

Hodnoty rozhodovacích proměnných x_{ip} udávají procentuální vytížení jednotlivých typů zařízení při těžbě (přibližování) stromů v jednotlivých věkových třídách. Například pro těžbu trvající 80 dní je toto rozložení zapsané v tabulce VII. Z výsledků je patrné, že pro minimalizaci nákladů je třeba harvestor využívat ke kácení stromů především v určitých věkových třídách.

VI: Vliv počtu pracovních dní na počet využitých zařízení

		počet dní				
		254	150	100	80	70
počet využitých zařízení	motorová pila	8	13	19	20	20
	harvestor	0	0	0	1	2
	kůň	7	9	9	8	8
	traktor	0	0	1	3	4
	lanový přibližovací systém	0	0	0	0	0
	vyvážecí souprava	0	1	2	2	2

VII: Rozložení zařízení v jednotlivých věkových třídách při 80 pracovních dnech

počet dní 80		věková třída										
		3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
použité strojn zařízení	motorová pila	1,33	0,65	13,76	0,36	0,00	1,42	0,78	0,56	0,00	0,94	0,19
	harvestor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,11	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00
	kůň	1,19	0,59	5,89	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	traktor	0,00	0,00	2,24	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	lanový přibližovací systém	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	vyvážecí souprava	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,62	0,26	0,19	0,35	0,33	0,07

Jednodenní náklady na těžbu pro různé celkové délky trvání těžby vidíme v tabulce VIII.

VIII: Hodnota z^* (jednodenní náklady na těžbu) pro jednotlivé počty dní těžby

počet dní těžby d	254	150	100	80	70
náklady na 1 den z^*	26 102	44 101	66 534	92 367	111 907

DISKUSE

Navržený model řeší optimalizační úlohu plánování potřeby těžebních zařízení za zjednodušujících předpokladů, které reálně pravděpodobně nebudou všechny splněny vzhledem ke komplexnosti rozhodovacího problému a množství vlivů, které optimalizovanou činnost a náklady na ni ovlivňují. Z těchto důvodů řešení modelu nejsou optimálními z hlediska finálního řešení problému, ale nabízejí kvalitní dodatečné informace pro manažerské rozhodování. V našem příkladě identifikují výsledky řešení modelu nejvýhodnější zařízení (motorová pila, koňský potah), jejichž kapacitu je třeba zcela vyčerpát, a teprve poté je vhodné zařazovat další zařízení. Navíc dostáváme návod na z hlediska nákladů optimální využití kapacit pronajatých strojů v podobě intenzity zapojení zařízení při těžbě stromů z různých věkových tříd. Kromě využitelnosti přímo výsledků navrženého modelu lze tento základní model rozšiřovat o další reálné vazby, nicméně s ro-

stoucí reálností modelu vzrůstá také jeho složitost a snižuje se pravděpodobnost, že výsledný model bude snadno řešitelný s využitím běžně dostupného software. Zmíňme např. reálný požadavek na manipulaci¹ 30% dřeva na místě těžby. Vzhledem k tomu, že harvestory manipulují strom již při jeho kácení, je cena manipulace již v základní ceně za těžbu na rozdíl od těžby motorovou pilou, u které požadavek na manipulaci na místě zvyšuje náklady o 30 Kč na 1 m³ u všech typů stromů. Tento dodatečný požadavek lze zahrnout do modelu zavedením nových rozhodovacích proměnných M_{ip} do účelové funkce:

$$\tilde{z}^* = \min \left\{ \sum_{i=1}^2 \sum_{p=3}^{13} x_{ip} a_i (c_{ip} + M_{ip} P_i) + \sum_{i=3}^6 \sum_{p=3}^{13} x_{ip} a_i \left(c_{ip} + \sum_{r=1}^3 p_r Q_r \right) \right\},$$

kde M_{ip} značí podíl dřeva věkové třídy p , manipulovalého na místě, které bylo skáceno strojem i , P_i pak značí jednotkovou cenu za manipulaci na místě, $P_1 = 30$ Kč, $P_2 = 0,0000001$ Kč. Navíc musí být (kromě všech omezení uvedených v původním modelu) splněna dodatečná podmínka toho, aby manipulováno bylo právě 30% vytěženého dřeva:

$$d \sum_{i=1}^2 \sum_{p=3}^{13} x_{ip} a_i M_{ip} = 0,3 \sum_{p=3}^{13} L_p.$$

Nový model představuje funkční rozšíření původního modelu, nejde však již o problém lineárního programování, nýbrž programování konvexního, jehož obecné řešení v EXCELU není možné.

SOUHRN

Cílem práce byla studie možnosti využití metod matematického programování jako praktického optimalizačního nástroje v manažerské lesnické praxi. Studie byla provedena formou řešení konkrétního typického rozhodovacího problému lesnicko-dřevařského podniku. V příspěvku byl navržen model lineárního programování řešící optimalizaci pronájmu těžebního zařízení pro těžbu plánovanou na příští období v konkrétní oblasti. Kritériem sestavení modelu byla jeho snadná řešitelnost s využitím např. doplňku Řešitel v MS EXCEL, který nepředstavuje žádné dodatečné náklady pro realizaci optimalizačních výpočtů a jeho prostředí je uživatelsky známé. Stejně důležitým dalším kritériem byla smysluplnost dosažených výsledků optimalizace a jejich aplikovatelnost v manažerské rozhodovací praxi lesnicko-dřevařského podniku. Z tohoto důvodu byl model formulován jako úloha lineárního programování, která zajišťuje minimalizaci nákladů na pronájem zařízení při splnění po-

1 Vytěžené kmeny musejí být rozřezány do délky 2 nebo 4 metry ihned po uřezání stromu od pařezu.

žadavků na dostatečnou kapacitu zařízení na pokácení a přiblížení požadovaného objemu dřeva, a požadavek na celočíselnost plánovaných počtů jednotlivých těžebních zařízení. Rozhodovací proměnné modelu, které nejsou celočíselné, mají význam počtu jednotlivých zařízení těžících (přibližujících) stromy jisté věkové třídy. Pro splnění výše zmíněného požadavku celočíselnosti celkových počtů pronajatých zařízení byly v modelu navrženy dodatečné proměnné a s nimi související vazby celočíselnosti ve formě řešitelné v EXCELU.

Model byl vyřešen pro konkrétní reálné údaje získané z lesnicko-dřevařského podniku v ČR pro různé délky těžby d . Výsledky jednak navrhují skladbu pronajatých zařízení pro jednotlivé volby parametru d a mohou být využity k identifikaci pořadí výhodnosti pronájmu jednotlivých zařízení (v případě, že předpokládáme jejich substituovatelnost). Navíc umožňují výsledky modelu optimalizovat rozmístění zařízení k těžbě jednotlivých typů stromů z hlediska minimalizace nákladů. Dalším výstupem příspěvku je rozšíření modelu o zahrnutí požadavku na manipulaci 30% dřeva na místě těžby, který převádí úlohu do oblasti obtížněji řešitelného konvexního programování.

Navržený model představuje flexibilní nástroj, který je možno využít jak v jeho základní podobě jako nástroj manažerského rozhodování v běžné lesnické praxi, tak je možné jej dále upravovat zohledněním nových požadavků a vazeb. Nutno ale poznamenat, že rozšířené modely již vyžadují specializované řešiče.

lineární programování, systémy na podporu rozhodování, optimalizace v lesnictví

SUMMARY

The aim of this paper was to study the possibilities of the mathematical programming usage in the every-day practical decision making in forestry business. The concrete machinery use planning problem typically arising in the logging companies was formulated and the effectiveness of the mathematical programming for its solution was tested. The linear programming model was designed covering the demands on the model solvability via EXCEL (which represents no additional costs of mathematical optimization) and the demand on the verity together with applicability of the results obtained. The objective of suggested optimization model is the minimizing the outsourcing costs when several typical restrictions must hold (restrictions on the total volume of the wood to be cut and transported, restriction on the total number of machinery available, integer total numbers of particular machines to be outsourced). The non-integer decision variables defined in the model represent the numbers of individual machines used to cut/transport particular tree type. To ensure both, the solvability of the model via EXCEL and the integer total numbers of individual machines, additional decision variables and constraints were developed.

The model was solved via EXCEL using the real data of the Czech logging company. The solution represents two sets of information. First of them identifies the least-cost combination of machines for the upcoming logging period and the second describes, how should be the logging machine employed, i.e. which tree type should the individual machine cut/ transport, to optimize its usage. Moreover, the initial model can be extended by incorporating additional restrictions and constraints arising in the practical situations. In the paper, the extension of the model was developed when manipulation (cutting to pieces in place) of 30% of cut trees is demanded. The resulting model represents a convex programming problem.

The suggested linear programming model represents a flexible tool, which may be both, applied in daily decision making of logging company and upgraded concerning additional constraints. Note, that upgraded models probably will not meet the requirement on its solvability via EXCEL.

Výsledky vznikly za podpory projektu Ministerstva školství mládeže a tělovýchovy č. MSM6215648904.

LITERATURA

- DIAZ-BALTEIRO, L., ROMERO, C., 2008: *Making forestry decisions with multiple criteria: A review and an assessment*, Forest Ecology and Management, 255, 8–9: 3222–3241. ISSN 0378-1127.
- EID, T., HOEN, H. F., OKSETER, P., 2002: *Timber production possibilities of the Norwegian forest area and measures for a sustainable forestry*, Forest Policy and Economics, 4, 3: 187–200. ISSN 1389-9341.
- FLISBERG, P., LIDEN, B., RONNQVIST, M., 2009: *A hybrid method based on linear programming and tabu search for routing of logging trucks*, Computers & Operations Research, 36, 4: 1122–1144. ISSN 0305-0548.
- GOMEZ, T., HERNANDEZ, M., LEON, M. A., CABALLERO, R., 2006: *A forest planning problem solved via a linear fractional goal programming model*, Forest Ecology and Management, 227, 1–2: 79–88. ISSN 0378-1127.
- GUTIERREZ, V. H., ZAPATA, M., SIERRA, C., LA-GUADO, W., SANTACRUZ, A., 2006: *Maximizing the profitability of forestry projects under the Clean Deve-*

- lopment Mechanism using a forest management optimization model, *Forest Ecology and Management*, 226, 1–3: 341–350. ISSN 0378-1127.
- LINDNEROVÁ, M., 2009: *Optimalizace využití strojního zařízení lesnicko-dřevařského podniku při těžbě dřeva*. Brno. 50 s. Bakalářská práce, Provozně ekonomická fakulta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně.
- MARTIN-FERNANDEZ, S., GARCIA-ABRIL, A., 2005: *Optimisation of spatial allocation of forestry activities within a forest stand*, *Computers and Electronics in Agriculture*, 49, 1: 159–174. ISSN 0168-1699.
- OLSCHEWSKI, R., BENITEZ, P. C., 2009: *Optimizing joint production of timber and carbon sequestration of afforestation projects*, *Journal of Forest Economics*, In Press, ISSN 1104-6899, DOI: 10.1016/j.jfe.2009.03.002.
- SPINELLI, R., WARD, S. M., OWENDE, P. M., 2009: *A harvest and transport cost model for Eucalyptus spp. fast-growing short rotation plantations*, *Biomass and Bioenergy*, In press, ISSN 0961-9534, DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.05.010.
- TIERNAN, D., NIEUWENHUIS, M., 2005: *Financial optimisation of forest-level harvest scheduling in Ireland – A case study*, *Journal of Forest Economics*, 11, 1: 21–43. ISSN 1104-6899.
- TORRES ROJO, J. M., SANCHEZ OROIS, S., 2005: *A decision support system for optimizing the conversion of rotation forest stands to continuous cover forest stands*, *Forest Ecology and Management*, 207, 1–2: 109–120. ISSN 0378-1127.
- VENEMA, H. D., CALAMAI, P. H., FIEGUTH, P., 2005: *Forest structure optimization using evolutionary programming and landscape ecology metrics*, *European Journal of Operational Research*, 164, 2: 423–439. ISSN 0377-2217.
- ZHOU, W., GONG, P., 2004: *Economic effects of environmental concerns in forest management: an analysis of the cost of achieving environmental goals*, *Journal of Forest Economics*, 10, 2: 97–113. ISSN 1104-6899.

Adresa

Mgr. Ing. Jitka Janová, Ph.D., Ústav statistiky a operačního výzkumu, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: janova@mendelu.cz

