

VYUŽITÍ LINEÁRNÍHO PROGRAMOVÁNÍ V OPTIMALIZACI OSEVNÍHO PLÁNU ZEMĚDĚLSKÉHO DRUŽSTVA V ČR

J. Janová, P. Ambrožová

Došlo: 3. září 2009

Abstract

JANOVÁ, J., AMBROŽOVÁ P.: *Optimization of production planning in Czech agricultural co-operative via linear programming*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2009, LVII, No. 6, pp. 99–104

The production planning is one of the key managerial decisions in agricultural business, which must be done periodically every year. Correct decision must cover the agriculture demands of planting the crops such as crop rotation restrictions or water resource scarcity, while the decision maker aims to plan the crop design in most profitable way in sense of maximizing the total profit from the crop yield. This decision problem represents the optimization of crop design and can be treated by the methods of linear programming which begun to be extensively used in agriculture production planning in USA during 50's. There is ongoing research of mathematical programming applications in agriculture worldwide, but the results are not easily transferable to other localities due to the specific local restrictions in each country. In Czech Republic the farmers use for production planning mainly their expert knowledge and past experience. However, the mathematical programming approach enables find the true optimal solution of the problem, which especially in the problems with a great number of constraints is not easy to find intuitively. One of the possible barriers for using the general decision support systems (which are based on mathematical programming methods) for agriculture production planning in Czech Republic is its expensiveness. The small farmer can not afford to buy the expensive software or to employ a mathematical programming specialist. The aim of this paper is to present a user friendly linear programming model of the typical agricultural production planning problem in Czech Republic which can be solved via software tools commonly available in any farm (e.g. EXCEL). The linear programming model covering the restrictions on total costs, crop rotation, thresholds for the total area sowed by particular crops, total amount of manure and the need of feed crops is developed. The model is applied in real-world problem of Czech agriculture cooperative and the results of its solution are compared to the real decision made. The applicability of the model in every day agriculture managerial practice in Czech Republic is discussed and its possible enlargement is mentioned.

production planning, optimization in agriculture, linear programming

Využití metod matematického programování pro podporu rozhodování v zemědělství má dlouhou tradici zejména v USA, kde v padesátých letech bylo silně rozšířeno lineární programování mimo jiné pro optimalizaci osevního plánu. Společně s vývojem nových metod matematického programování (nelineární, stochastické, dynamické) probíhal také výzkum možnosti zapojení těchto přístupů v řešení konkrétních zemědělských problémů (viz např. Zuo et al., 1991). V environmentálních vědách

je však aplikace matematických metod obecně méně úspěšná než v jiných odvětvích vzhledem ke složitosti řešených problémů zahrnujících složité a často obtížně matematicky vyjádřitelné vazby a omezení týkající se životního prostředí, sociologických aspektů a specifík zemědělské produkce. Pravděpodobně díky složitosti modelů, která při využívání sofistikovanějších metod matematického programování narůstá rychleji než realističnost modelů, je stále lineární programování nejrozšíře-

nější metodou na podporu rozhodování v zemědělství (viz např. (Borgis et al., 2008), (Mahapatra, 2000)). Modely lineárního programování vyžadují často značné omezující předpoklady, kvůli kterým je nutno výsledky modelu verifikovat, tj. ověřit, zda výsledky jsou skutečně aplikovatelné v praxi. Díky jednoduchosti těchto modelů a jejich dnes již softwarově dobře zvládnutému řešení představuje lineární programování rozumný kompromis mezi kvalitou a aplikovatelností výsledků a výpočetními nároky.

V České republice jsou pro rozhodování v zemědělství využívány zejména minulá zkušenost a profesní znalosti zemědělců a aplikace modelů pro podporu rozhodování (založených právě na metodách matematického programování, viz např. (Cai-xeta et al., 2002)) není běžná. Vzhledem ke vzrůstající složitosti rozhodovacích problémů by však aplikace lineárního programování mohla být dobrou pomůckou umožňující zemědělcům jak zvýšení zisků, tak zajištění jednotlivých ekologických požadavků. Modely vyvíjené celosvětově pro potřeby zemědělství však mají značně lokální charakter a bez poměrně velkých úprav je není možno přímo aplikovat do prostředí České republiky. Cílem tohoto příspěvku je sestavení uživatelsky příjemného modelu lineárního programování, který by optimalizoval osevní plán za podmínek typických pro Českou republiku ve formě řešitelné běžně dostupným software (např. EXCEL), tj. bez dodatečných nákladů na podporu rozhodování.

PROBLEMATIKA

Zemědělské družstvo hospodaří na 1265 hektarech orné půdy. Vzhledem k velikosti obhospodařované plochy a množství pěstovaných plodin hledá družstvo takovou strukturu osevního plánu, která mu přinese největší zisk a zároveň bude respektovat všechna omezení, která vycházejí z podstaty rostlinné výroby a ostatních potřeb družstva. Zemědělské družstvo plánuje pěstovat pšenici ozimou a jarní, ječmen ozimý a jarní, triticales, kukuřici na zrno a na siláž, řepku olejnou, brambory konzumní, jetelotravní směsi a trávy na semeno.

Zatímco z hlediska rostlinné výroby je důležité, v jakém ročním období byla plodina vyseta, v okamžiku sklizně je důležitá kvalita úrody, která se odvíjí od druhu osiva a počasí. Výsledným produktem rostlinné výroby tedy není plodina jarní nebo ozimá, ale potravinářská nebo krmná (viz zavedení rozhodovacích proměnných v Tab. I).

Hlavní omezení, která je nutno při optimalizaci osevního plánu dodržet, vyplývají z:

- biologických hledisek střídání plodin,
- potřeby vypěstování vstupních surovin pro chod bioplynové stanice,
- nutnosti hnojení orné půdy chlévským hnojem a jeho omezené produkce v rámci družstva,
- potřeby vypěstování určitého množství krmných plodin pro hospodářská zvířata,

- nutnosti nepřekročit rozpočet družstva v nákladech na setí.

a) Biologická hlediska střídání plodin

Protože každá plodina má jiné nároky na živiny, je důležité, aby se v osevním postupu plodiny vhodně střídaly. V opačném případě dochází k nadměrnému vyčerpání půdy a rozmnožení plevelů a škůdců, kteří parazitují na jednom druhu rostlin. Špatné střídání plodin v osevním plánu navíc způsobuje nutnost přihnojování vyššími dávkami průmyslových hnojiv, což způsobuje zátěž ekonomickou i ekologickou. Z tohoto důvodu zemědělské družstvo stanovilo určité hranice pro hektarové výměry každé plodiny, které by neměly být překročeny.

Všechny obiloviny vyjma kukuřice se řadí k plodinám středně snášenlivým a je vhodné je znovu vyset na stejné stanoviště s minimálně jednoletou pauzou. Z tohoto důvodu by výměra pšenice ozimé neměla překročit 290 hektarů a ječmene ozimého 22 hektarů. U jarních obilovin jsou povoleny hodnoty – pro pšenici 35 hektarů a pro ječmen 330 hektarů. Triticale nebývá pěstováno každoročně; pokud je vyseto, jeho plocha by neměla přesáhnout 40 hektarů.

Kukuřice patří k plodinám, které nemají žádné speciální nároky na zařazení do osevního postupu. Může být pěstována po ostatních obilovinách, ale i sama po sobě. Z hlediska biologického střídání plodin tedy není třeba pro ni stanovovat horní hranici. Aby však model odrážel potřeby družstva, musí být v osevním plánu místo pro kukuřici pěstovanou na zrno, která by měla být vyseta minimálně na 20 hektarech.

Řepka ozimá patří k plodinám nesnášenlivým, na stejné stanoviště může být znovu vyseta nejdříve

I: *Rozhodovací proměnné: celkové plochy oseté jednotlivými plodinami*

Rozhodovací proměnná [ha]	Osetá plodina
x_1	pšenice ozimá potravinářská,
x_2	pšenice ozimá krmná,
x_3	pšenice jarní potravinářská,
x_4	pšenice jarní krmná,
x_5	ječmen ozimý sladovnický,
x_6	ječmen ozimý krmný,
x_7	ječmen jarní sladovnický,
x_8	ječmen jarní krmný,
x_9	triticales,
x_{10}	kukuřice na zrno,
x_{11}	kukuřice na siláž,
x_{12}	řepka olejná
x_{13}	brambory konzumní,
x_{14}	jetelotravní směsi a ostatní pícniny seté na orné půdě,
x_{15}	trávy na semeno.

Zdroj: (Ambrožová, 2009)

po uplynutí čtyř až šesti let. Její celková výměra by neměla být vyšší než 240 hektarů. Brambory by se na stejném poli měly znovu pěstovat s odstupem minimálně dvou až tří let. Družstvo od jejich pěstování však ustupuje. Horní hranice pro jejich vysetí je tedy pouze 15 hektarů.

Jetelotavní směsi mohou být vysety po jakékoli plodině. Zpravidla se pěstují i řadu let po sobě, protože mají pozitivní vliv na strukturu půdy. Družstvo je plánuje každoročně pěstovat na maximálně 100 hektarech, přičemž minimum je 60 hektarů. Oproti směsím jsou trávy seté na semeno obvykle nesnášenlivé a vyžadují při svém pěstování větší odstupy (obvykle pět let). Podnik plánuje pěstování trav na semeno rozšířit, ovšem maximálně budou zabírat 85 hektarů.

Přehled uvedených omezení obsahuje Tab. II. Poznamenejme, že stanovení maximálních hektarových výměr pro každou plodinu odráží požadavek na prostřídání plodin. Jedná se o přibližný způsob tvorby příslušných omezení, pro podrobnější stanovení vazeb zajišťujících správné prostřídání plodin viz např. (Janová, 2009).

b) Potřeba produkce pro chod bioplynové stanice

Dále podnik předpokládá, že ročně bude potřebovat pro provoz bioplynové stanice 4 800 tun kukuřičné siláže.

c) Hnojení orné půdy chlévským hnojem

Při přepočtu z průměrných hmotností chovaných hospodářských zvířat má podnik k dispozici 7 270 tun chlévského hnoje. Toto množství stačí na pohnojení přibližně 300 hektarů půdy při dávce 20 až 25 tun na hektar. Podle plánu hnojení družstvo každoročně hnojí pod kukuřicí ve dvou třetinách případů, pod ječmenem jarním a řepkou olejnou v jedné pětině případů a pod brambory se hnojí vždy. Zave-

deme-li m_j jako podíl hnojené a celkové půdy, na níž se pěstuje plodina j , pak Tab. III přehledně uvádí výše uvedenou slovní formulaci potřeby hnojiva u jednotlivých plodin.

d) Krmné plodiny pro hospodářská zvířata

Zemědělské družstvo se věnuje také živočišné výrobě, a proto spotřebuje část své produkce na výrobu krmných směsí pro hospodářská zvířata. Pro jejich výživu podnik plánuje vypěstovat minimálně:

- 450 tun krmné pšenice,
- 370 tun krmného ječmene,
- 3 100 tun kukuřičné siláže.

e) Rozpočet družstva pro rostlinnou výrobu

Družstvo svůj celkový rozpočet člení na rozpočet pro rostlinnou výrobu a zvláště na rozpočet pro živočišnou výrobu. Pro rostlinnou výrobu má vyhrazenou částku 25 milionů Kč.

Celá oblast, pro níž je optimalizován osevní plán, je považována za stejně úrodnou.

OPTIMALIZAČNÍ MODEL

Uvedený slovní popis optimalizační úlohy vyjadřuje následující model lineárního programování:

$$z_{\max} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \text{ [Kč]}, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n N_j x_j \leq 25 \cdot 10^6 \text{ [Kč]}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq 1265 \text{ [ha]}, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n m_j x_j \leq 300 \text{ [ha]}, \quad (4)$$

$$28.920x_{11} \geq 7900 \text{ [t]}, \quad (5)$$

$$5.864x_2 + 4.408x_4 \geq 450 \text{ [t]}, \quad (6)$$

$$4.022x_6 + 4.444x_8 \geq 370 \text{ [t]}, \quad (7)$$

$$X_\alpha \leq A_\alpha, 1 \leq \alpha \leq 9 \text{ [ha]}, \quad (8)$$

$$X_\alpha \geq B_\alpha, \alpha = 9, 10 \text{ [ha]}, \quad (9)$$

$$x_j \geq 0, 1 \leq j \leq 15 \quad (10)$$

Koeficienty c_j značí zisk z jednoho hektaru pole, na němž se pěstuje plodina j . Výpočet těchto koeficientů je proveden podle vztahu: $c_j = P_j H v_j - N_j$, kde: P_j vyjadřuje odhadované tržní ceny produkce v Kč/t,

$H v_j$ vyjadřuje průměrné hektarové výnosy každé plodiny j v t/ha,

N_j vyjadřuje náklady podniku na jeden hektar osetý plodinou j v Kč/ha.

II: Souhrn maximálních a minimálních rozloh orné půdy osetých jednotlivými plodinami

α	Plodina	X_α	min B_α [ha]	Max A_α [ha]
1	pšenice ozimá	$x_1 + x_2$	-	290
2	pšenice jarní	$x_3 + x_4$	-	35
3	ječmen ozimý	$x_5 + x_6$	-	22
4	ječmen jarní	$x_7 + x_8$	-	330
5	triticale	x_9	-	40
6	řepka olejná	x_{12}	-	240
7	brambory	x_{13}	-	15
8	tr. na semeno	x_{15}	-	85
9	jetelotr. směsi	x_{14}	60	100
10	kukuřice na zrno	x_{10}	20	-

Zdroj: (Ambrožová, 2009)

III: Hodnoty koeficientů m_j

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
m_j	0	0	0	0	0	0	0,20	0,20	0	0,67	0,67	0,20	1,00	0	0

IV: Parametry modelu

Hled. výměra	Odhad. zisk	Odhad. ceny	Podnik. nákl.	Podnik. nákl.	Pr. výnos
x_j [ha]	c_j [Kč/ha]	P_j [Kč/t]	N_{ij} [Kč/t]	N_j [Kč/ha]	Hv_j [t/ha]
x_1	2 346	3 900	3 500	20 524	5,864
x_2	1 173	3 200	3 000	17 592	5,864
x_3	1 763	3 900	3 500	15 428	4,408
x_4	882	3 200	3 000	13 224	4,408
x_5	5 229	5 300	4 000	16 088	4,022
x_6	1 207	3 300	3 000	12 066	4,022
x_7	5 777	5 300	4 000	17 776	4,444
x_8	1 333	3 300	3 000	13 332	4,444
x_9	499	3 200	3 100	15 457	4,986
x_{10}	2 227	4 800	4 500	33 408	7,424
x_{11}	1 446	600	550	15 906	28,920
x_{12}	2 426	8 800	8 000	24 256	3,032
x_{13}	957	2 740	2 700	64 589	23,922
x_{14}	956	485	450	12 933	27,320
x_{15}	3 641	26 500	18 500	8 420	0,455

Zdroj: (Ambrožová, 2009)

Výše koeficientů účelové funkce c_j , je spolu s dalšími parametry modelu uvedena v Tab. IV, kde parametry Hv_j byly určeny jako průměrné výnosy plodin v daném zemědělském družstvu z let 1997–2008 a prodejní ceny plodin P_j (neznámé v době řešení osevnického plánu) byly určeny expertním odhadem managementu zemědělského družstva. Podnikové náklady na jednu tunu produkce N_{ij} družstvo vyčísľuje v účetní závěrce. Tato data jsou tedy převzata z účetní závěrky roku 2008, zahrnují následující položky: přímý materiál a přímé mzdy, vlastní a naku-pované služby a podíl výrobní režie. Součin $N_{ij} \cdot Hv_j$ udává náklady podniku na jeden hektar N_j .

Rozhodovací proměnné x_j mají význam rozlohy v hektarech, na níž bude pěstována plodina j . Podmínka (2) zaručuje splnění požadavku nepřekročení celkových nákladů vyhrazených podnikovým rozpočtem pro pěstování plodin. Podmínka (3) zajišťuje, že součet výsledných hektarových výměr všech plodin nepřekročí celkovou plochu orné půdy, kterou má družstvo k dispozici. Požadavek hnojení některých plodin chlévským hnojem a omezená dostupnost chlévského hnoje je vyjádřena nerovnicí (4), kde m_i udává, jak velký podíl z celkové výměry pro danou plodinu má být hnojen (viz Tab. III).

Podmínky (5–7) odrážejí požadavky na pěstování krmných plodin a plodin pro potřeby chodu bioplynové stanice a podmínky (8–9) udávají minimální a maximální velikost hektarové výměry, na které může být pěstována plodina j (mezí hodnoty A_w, B_w viz Tab. II.)

VÝSLEDKY ŘEŠENÍ MODELU A DISKUSE

Model (1–10) byl vyřešen v doplňku Řešitel programu EXCEL. Výsledky optimalizace vidíme

v Tab. V společně se skutečným osevnickým plánem, který aplikovalo zemědělské družstvo. Velmi podobné hodnoty osevnických ploch u jednotlivých plodin verifikují sestavený model. Bylo dosaženo vyšší hodnoty účelové funkce při velmi malé změně přípustného řešení reprezentovaného skutečným rozhodnutím zemědělského družstva. Kromě zvýšení celkového očekávaného zisku o 73 000 Kč při optimalizovaném osetí bylo dosaženo řešení, které má nižší nároky na náklady spjaté s pěstováním plodin o 196 000 Kč oproti skutečnému řešení. Tato pro družstvo užitečná úspora v nákladech je vedlejším produktem optimalizace, který nebyl vyžadován. Stávající model by však bylo možno pozměnit na úlohu vícekriteriálního programování, v níž bychom kromě maximalizace zisku vyžadovali minimalizaci nákladů a výše zmíněná úspora v nákladech by pak byla hledána v libovolném plánování osevnických ploch. Také takto pozměněná úloha by byla řešitelná v programu EXCEL.

Poznamenejme, že hodnota účelové funkce v Tab. V má význam očekávaného zisku z rostlinné produkce, přičemž je třeba vzít úvahu, že tento zisk je závislý na náhodných veličinách, kterými jsou úroda jednotlivých plodin a jejich prodejní cena. Očekávanou hodnotu zisku tedy bude družstvo při daném osevnickém plánu realizovat pouze v případě, že úroda plodin bude průměrná (tj. nenastanou silné výkyvy v počasí či výskytu škůdců a nemocí) a že odhad managementu týkající se prodejních cen rostlinné produkce byl správný. Z hlediska matematického programování je možno do modelu zahrnout nejistotu a vzít v úvahu náhodnost některých proměnných. Takové úlohy je možno řešit metodami stochastického programování (Birge, Louveaux; 2002), které uvažuje zejména náhodnost

V: Srovnání výsledků řešení modelu lineárního programování a skutečného osevního plánu zemědělského družstva

Hledaná neznámá	Plodina zastoupená v modelu hl. nez.	Hodnota hl. nez. dle modelu [ha]	Hodnota hl. nez. dle OP ZD [ha]
x_1	pšenice ozimá potravinářská	158,09	188,00
x_2	pšenice ozimá krmná	76,74	78,00
x_3	pšenice jarní potravinářská	0,00	0,00
x_4	pšenice jarní krmná	0,00	13,88
x_5	ječmen ozimý sladovnický	0,00	0,00
x_6	ječmen ozimý krmný	22,00	16,97
x_7	ječmen jarní sladovnický	266,65	260,00
x_8	ječmen jarní krmný	63,35	73,57
x_9	triticale	0,00	0,00
x_{10}	kukuřice na zrno	20,00	28,34
x_{11}	kukuřice na siláž	273,17	230,00
x_{12}	řepka olejná	240,00	230,67
x_{13}	brambory konzumní	0,00	0,00
x_{14}	jetelotrav. směsi na or. půdě	60,00	78,98
x_{15}	trávy na semeno	85,00	63,62
Hodnota účelové funkce (HUF):			
modelovaná úloha		3 500 874 Kč	
osevní plán zemědělského družstva		3 427 656 Kč	
Celkové náklady:			
modelovaná úloha		22 732 673 Kč	
osevní plán zemědělského družstva		22 928 347 Kč	

Zdroj: (Ambrožová, 2009)

ve výnosech plodin (jako jeden z prvních řešil úlohu Freund, 1956).

Vzhledem k jednoduchosti modelu a jeho snadné řešitelnosti v EXCELU je možné jej považovat za reálnou pomůcku při rozhodování týkajícím se osevního plánu. Manažer v zemědělském družstvu může výsledky modelu využít pro porovnání s intuitivním návrhem a zvážit úpravu ve prospěch osevního plánu s vyšší očekávanou hodnotou zisku.

Poznamenejme, že model neřeší rozmístění plodin v rámci orné půdy a jeho řešení není tedy přímo aplikovatelné. Rozhodovatel musí podle osevní historie rozmístit plodiny na jednotlivá pole, jejichž

celková rozloha pro danou plodinu je výsledkem optimalizace.

Závěrem poznamenejme, že navržený model optimalizuje osevní plán na příští období. Pro případ optimalizace na více let dopředu by bylo nutné sestavit nový model využívající metod dynamického programování, které umožňuje optimalizovat rozhodnutí v několika po sobě následujících fázích rozhodovacího procesu. Takový model by bylo možné sestavit na základě výsledků tohoto příspěvku, nebylo by jej však již možné řešit v běžně dostupném softwaru.

SOUHRN

Je řešen problém optimalizace osevního plánu zemědělského družstva v České republice s využitím lineárního programování. Cílem optimalizace je maximalizace zisku z nadcházející sklizně. Je sestaven uživatelsky příjemný model, který zahrnuje všechna typická omezení týkající se nákladů, následného pěstování jednotlivých plodin, dostupného množství hnojiv a potřeby krmných plodin. Model je řešitelný v EXCELU a nevyžaduje tedy dodatečné náklady na rozhodovací proces. Model je aplikován na konkrétní situaci zemědělského družstva plánujícího osetí na příští období a je provedena verifikace navrženého modelu porovnáním jeho řešení v daném případě a skutečného rozhodnutí zemědělského družstva. Je ukázáno, že při mírné změně skutečně realizovaného osevního plánu lze dosáhnout vyššího očekávaného zisku z budoucí úrody. Model je tak možno použít jako snadno aplikovatelnou pomůcku rozhodování o osevním plánu. Rozhodovatel může porovnat svůj osevní plán navržený na základě zkušeností s výsledkem optimalizace a zvážit jejich zanesení do finálního osevního plánu. Model neurčí prostorové rozložení plodin na celkové ploše orné půdy. Roz-

hodovatel plánuje rozložení plodin na orné půdě na základě optimálních celkových ploch, které je třeba osít jednotlivými plodinami. Model je možno rozšířit do podoby stochastického programování, které uvažuje náhodnost některých proměnných a dále je možno zahrnout přesnější vazby týkající se následného pěstování plodin na jednom poli.

lineární programování, optimalizace v zemědělství, osevní plán

SUMMARY

The problem of the optimization of the production plan in Czech agriculture cooperative using linear programming approach was treated. The aim of the optimization was to maximize the expected profit from the upcoming harvests. The simple user-friendly model covering all typical restrictions on costs, thresholds for the total area sowed by particular crops, total amount of manure and the need of feed crops arising in the Czech agricultural business was suggested. The model is solvable in EXCEL, i.e. without any additional software costs for user. The model was applied on the real-world example of Czech agriculture cooperative planning the production for the next period and the verification was done by comparing the results of the model to the real decision of the agricultural cooperative. It was shown, that the goal function value increased when using the model suggested while the values of decision variables were not strongly changed compared to real decision of agriculture cooperative. In this way, the model offers user friendly help in the decision process concerning the production planning in agriculture. The decision maker can compare his/her intuitive decision based on expert knowledge and past experience to the results of the model and possibly he/she could incorporate the results of the model into the final decision. The model does not define the "pattern" of the arable land. The farmer himself must decide where the particular crops will be sowed using the information about the total area of arable land which should be sowed by particular crops. There are possibilities of the model enlargement by considering stochastic nature of the parameters and using stochastic programming approach or by adopting more realistic rotation constraints.

Výsledky vznikly za podpory projektu MŠMT č. MSM6215648904.

LITERATURA

- AMBROŽOVÁ, P., 2009: *Optimalizace osevního plánu zemědělského družstva s ohledem na plánovanou agroturistiku*. Brno, 2009. 50 s. Bakalářská práce, Provozně ekonomická fakulta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně.
- BIRGE, J. R., LOUVEAUX, F., 1997: *Introduction to Stochastic Programming*. 1. vyd. Springer, 448 s. ISBN 0387982175.
- BORGES, J. C. F., FERREIRA, P. A., ANDRADE, C. L. T., HEDDEN-DUNKHORST, B., 2008: Computational Modeling for Irrigated Agriculture Planning. Part I: General Description and Linear Programming. *Engenharia Agricola*, 28, 3: 471–482. ISSN 1809-4430.
- CAIXETA, J. V., VAN SWAAY-NETO, J. M., WAGEMAKER, A. D., 2002: Optimization of the production planning and trade of lily flowers at Jan de Wit Copany. *Interfaces*, 32,1: 35–46. ISSN 0092-2102.
- JANOVÁ, J., 2009: On treating the general constraints in agricultural and forestry optimization problems, *Mathematical methods in economics 2009*, Czech university of Life sciences Prague. ISBN 978-80-213-1963-9, 165–169.
- FREUND, P. J., 1956: The introduction of risk into a programming mode. *Econometrica*, 24: 253–263. ISSN 0012–9682.
- MAHAPATRA, A. K., 2000: Planning economic land-use models for dryland farm forestry in India. *International Journal of Sustainable development and World Ecology*, 7, 1: 25–40. ISSN 1350-4509.
- ZUO, M. J., KUO, W., McROBERTS, K. L., 1991: Application of mathematical programming to a large scale agricultural production and distribution system. *Journal of the Operational Research Society*, 42, 8: 639–648. ISSN 0160-5682.

Adresa

Mgr. Ing. Jitka Janová, Ph.D., Bc. Pavla Ambrožová, Ústav statistiky a operačního výzkumu, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: janova@men-delu.cz, ambrozova.pavla@gmail.com