

MODELOVÁNÍ CENOVÉHO VÝVOJE NA SVĚTOVÉM TRHU S KAKAOVÝMI BOBY

P. Syrovátka, S. A. Darkwah

Došlo: 15. prosince 2007

Abstract

SYROVÁTKA, P., DARKWAH, S. A.: *Models of price development on world market for cocoa beans*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2008, LVI, No. 3, pp. 201–210

This paper is focused on the modelling and simulating the development of the price of cocoa beans on the world market. The developed models were based on the dependence of the level of the world price of cocoa beans on the world stock to grindings ratio of the beans in the last crop year. The ICCO databases from 1960/1961 to 2005/2006 crop years were used for the estimation of the parameters in the investigated forms of the price model. The linear and logarithmic-linear categories of the price models were studied in this paper. Within the linear forms of the price models; the single linear construction and the linear construction with dummy time variable were specified and tested. Within the logarithmic-linear category of the price models; the error correction model and autoregressive model were examined. From the point of view of statistical verification and from the low value of deviation of the simulated world price of cocoa beans for the 2005/2006 period from the actual price level of price for this crop period, the logarithmic-linear form of model with the error correction achieved the best results. Acceptable results were also obtained by means of the modified price model with the error correction component. By using the logarithmic-linear form of error correction model, the world price of the cocoa beans for the crop period 2006/2007 will achieve the following value $1047 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$. Under the modified error correction model, the level of the world price will be $1050 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$.

world market for cocoa beans, world price of cocoa beans, dynamic price model, prediction of world price of cocoa-beans

Za velmi užitečné či dokonce za přímo nezastupitelné nástroje ekonomické analýzy tržních mechanismů jsou považovány ekonomické modely parciální tržní rovnováhy. Tato forma modelů je rovněž využívána pro simulace chování světového trhu s kakaem a výrobků z něho. S přispěním modelů parciální tržní rovnováhy můžeme v návaznosti na predikce cenového vývoje především posoudit úroveň a změny v poptávce a v nabídce na jednotlivých trzích v sektoru výroby a zpracování kakaa. Na základě relace mezi poptávkovými a nabídkovými funkcemi lze potom poměrně snadno identifikovat možnost vzniku nerovnováhy v daném sektoru, případně vyhodnotit její souvislosti. Výsledky z těchto simulací lze uplatnit jak na úrovni celosvětového trhu s kakaem (viz působení ICCO), tak také na úrovni národních trhů jednotlivých výrobců, respektive zpracovatelů kakaa (viz tvorba příslušné kapitoly národní zemědělské politiky).

Modely parciální tržní rovnováhy jsou vesměs definovány jako soubor vzájemně propojených rovnic, tj. jako simultánní modely. Pro simulace světového trhu s kakaem bylo navrženo již několik simultánních modelů Behrman, J. R. (1968), přičemž v jejich architektuře víceméně vždy objevíme tři základní stavební prvky, a to funkci cenové hladiny na světovém trhu kakaem, dále funkci poptávky zpracovatelů kakaa a konečně funkci nabídky kakaa. Funkce nabídky může být pak dále v modelu rozdělena na celosvětovou nabídku a nabídku národní, což je odvislé od předpokládaného analytického nasazení modelu parciální tržní rovnováhy. K těmto třem základním funkcím je potom většinou ještě doplněna podmínka pro „vyčištění“ celosvětového trhu, případně podmínky pro „vyčištění“ jeho národních částí. Vyčišťovací rovnice jsou v modelech vyjádřeny buď čistě na bázi dosažené výsledné úrovně zásoby kakaa, viz Weymar, F. H. (1969), nebo provázaně přes nabídkovou stranu, viz především národní aplikace

modelů parciální tržní rovnováhy, Wilson, P. R. D. (1984). Uceleně lze formální vymezení modelů parciální rovnováhy na trhu s kakaem předvést na modelu, který používá ICCO:

$$P_t = f_1(stg_{t-1}) \quad (1)$$

$$D_t = f_3(GDP_t, P_t) \quad (2)$$

$$S_t = f_2(P_t, qn_t) \quad (3)$$

$$I_t = I_{t-1} + S_t - D_t \quad (4)$$

První funkce (1) v představeném simultánním modelu zachycuje vztah mezi světovou cenou kakaových bobů v daném roce (P_t) a úrovní poměru zásoby ke zpracování v předcházejícím roce (stg_{t-1}). Druhá funkce (2) vyjadřuje úroveň poptávky zpracovatelů kakaových bobů v roce t (D_t), která je závislá na úrovni hrubého domácího produktu v zemi/ích v čase t , kde jsou produkty z kaka konzumovány (GDP_t) a dále na úrovni světové ceny kakaových bobů v tomto období (P_t). Třetí rovnice (3) simuluje velikost nabídky v čase t (S_t), kterou definuje jako funkci světové ceny kakaových bobů (P_t) a úrovně potenciální produkce kakaových bobů dosažitelná v daném roce. Poslední rovnice (4) v simultánním modelu představuje identitní rovnici zajišťující vyčišťující podmínku pro celý světový trh. Výsledná zásoba v roce t (I_t) je zde vymezena jako součet zásoby kakaových bobů z předcházejícího roku a rozdíl mezi nabídkou a poptávkou v daném roce ($S_t - D_t$). Analogický princip konstrukce modelu dílčí tržní rovnováhy pro sektor výroby a zpracování kaka je možné dohledat také v dalších pracích, např. Adams, F. G., Behrman, J. R. (1976).

Z výše představeného zápisu simultánního modelu je na první pohled zcela evidentní výchozí postavení cenové funkce (1) mezi ostatními stochastickými rovnicemi (2) a (3). Poptávková funkce (2) a nabídková funkce (3) jsou s cenovou funkcí (1) provázány. Cenová funkce (1) je naopak z pohledu vymezení funkcí (2) a (3) nezávislá. Vzhledem k naznačenému významu funkce (1) v simultánním modelu ICCO a vzhledem k určitým problémům s její statistickou verifikací při kvantifikaci daného modelu – Darkwah, S. A. (2007) si tento článek vytyčil za cíl provést hlubší ekonomickou analýzu daného vztahu tak, aby jejím výsledkem byla věcně i statisticky využitelná funkce cenového vývoje na trhu s kakaovými boby. Navíc správně definovaný cenový model lze pak využívat i samostatně, například v rámci hodnocení cenové flexibility trhu s kakaovými boby, nebo jej lze použít k predikci cenové hladiny na tomto trhu. Této druhé zmíněné možnosti aplikace modelů se pak tento článek věnoval. Na predikční schopnosti jednotlivých sestavených cenových modelů bylo ovšem v tomto článku především nahlíženo jako na určité měřítko jejich praktické využitelnosti, viz Seger, J. et al. (1998), princip pseudopředpovědí.

MATERIÁL A METODIKA

Pro modelování cenového vývoje na světovém trhu s kakaovými boby byly využity údaje ICCO za roky¹ 1960 až 2006. S ohledem na uvažované proměnné v definici funkce cenového vývoje, viz rovnice (1): $P_t = f_1(stg_{t-1})$, byly z databáze ICCO převzaty průměrné roční úrovně cen na LIFFE² a CSCE³ (p_t) a dále roční podíly zásoby kakaových bobů vzhledem k objemu jejich zpracování (stg_t). V grafické podobě jsou obě časové řady získaných údajů zachyceny na následujících spojnicových grafech, viz obr. 1 a obr. 2. Do zařazených grafů jsou rovněž zakresleny polynomicke funkce, které lze z pohledu predikce trendového vývoje považovat za využitelné. Důraz při výběru polynomicke trendové funkce (jejího stupně) je kladen na vyrovnané hodnoty p_t a stg_t v koncových obdobích.

Grafické znázornění vývoje hodnot p_t a stg_t je rovněž užitečné pro vlastní ekonometrickou analýzu, neboť na jeho základě můžeme alespoň orientačně určit odpovídající formu dynamické specifikace modelu zkoumané cenové závislosti. V tomto směru můžeme z grafů vývoje sledovaných jevů především získat představu o přiměřené matematické formulaci časové funkce u explicitně dynamických modelů nebo u implicitně dynamických modelů o časovém zpoždění v rámci uvažované závislosti.

Ekonometrická analýza závislosti světové ceny kakaových bobů na poměru jejich zásoby a zpracování byla zahájena na modelu navrženého v rámci ICCO, tedy s cenovou funkcí (1) v logaritmicke-lineárním tvaru:

$$\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_{t-1} \quad (1.1)$$

Konstrukci cenové funkce (1.1) lze pak z pohledu provedené analýzy považovat za výchozí, protože ostatní uvažované a otestované matematické formy představují víceméně pouze její určité modifikace. Mezi zkoumanými modifikacemi cenové funkce (1.1) byla jako první prověřována její čistě lineární specifikace:

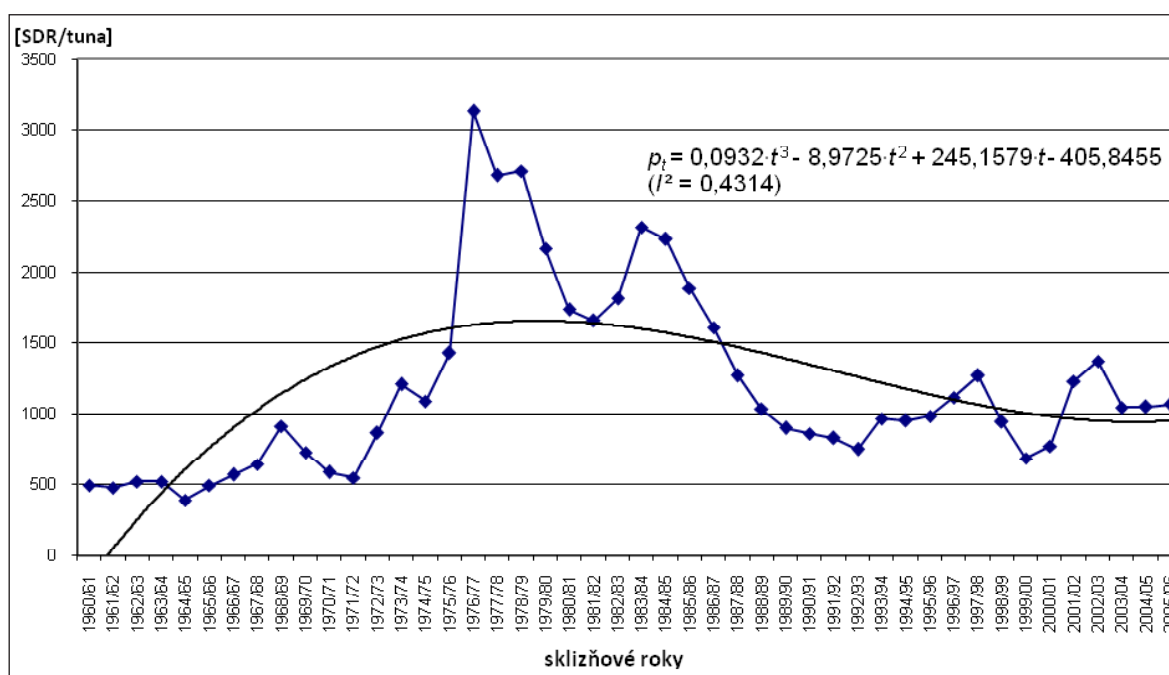
$$P_t = a + b \cdot stg_{t-1} \quad (1.2)$$

Na úrovni prosté lineární definice cenové funkce (1.2) bylo potom dále zkoumáno rozšíření cenového modelu o časovou funkci: $\tau(t)$, takže byly testovány různé formy explicitní dynamizace daného cenového vztahu. S ohledem na grafické znázornění vývoje, obr. 1 a obr. 2, byla pozornost soustředěna na polynomicke definice $\tau(t)$. V tomto směru byla jako časová funkce odrážející trendový vývoj v modelované závislosti (1.2) postupně vyzkoušena lineární funkce (1.3A), kvadratická funkce (1.3B) a kubická funkce (1.3C):

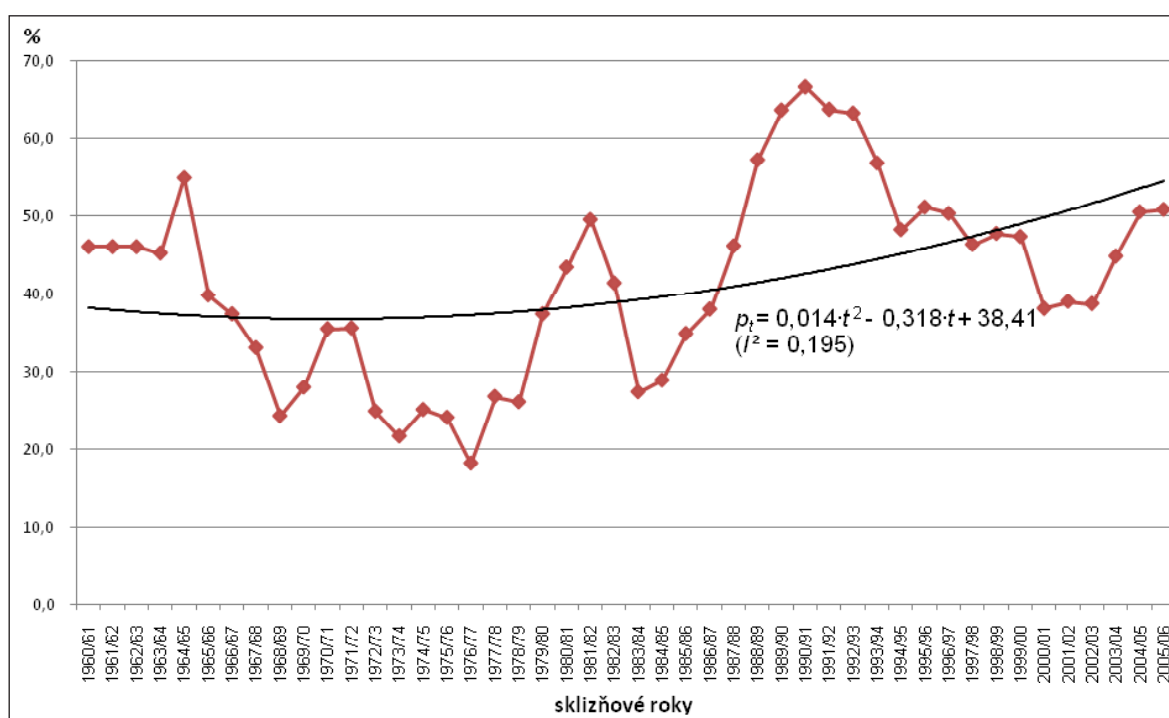
1 Přesněji řečeno v rámci databáze ICCO nejsou evidovány údaje za kalendářní roky, nýbrž za sklizňové, přičemž sklizňový rok je při pěstování kaka vymezen od 1. října do 30. září.

2 Komoditní burza v Londýně.

3 Komoditní burza v New Yorku.



1: Průměrná roční cena kakaových bobů na komoditní burze v Londýně – LIFFE a v New Yorku – CSCE (p_t)



2: Podíl zásoby kakaových bobů na objemu jejich zpracování (stg_t)

$$P_t = a + b \cdot stg_{t-1} + c \cdot t \quad (1.3A)$$

$$P_t = a + b \cdot stg_{t-1} + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 \quad (1.3B)$$

$$P_t = a + b \cdot stg_{t-1} + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + c_3 \cdot t^3 \quad (1.3C)$$

Vedle těchto explicitních dynamických modelů cenových funkcí byla v rámci provedené ekonometrické analýzy dále také studována možnost použití modelu s korekcí chybné předpovědi⁴:

$$\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_{t-1} + \psi \cdot [\ln p_{t-1} - \ln P_{t-1}] \quad (1.4)$$

4 Problematika modelů korekce chyb je po obecné stránce rozpracována například v literatuře Hušek, R. (1999).

Jako další možná forma dynamického modelu závislosti světové ceny kakaových bobů na poměru jejich zásoby a zpracování byla zkoumána konstrukce ve tvaru (1.5). V tomto případě byl výchozí vztah (1.1) zbaven uvažovaného zpoždění a vliv předchozího období na úroveň vyřešen přes autoregresivní cenovou funkci:

$$\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_t + c \cdot \ln p_{t-1} \quad (1.5)$$

Hodnoty parametrů v jednotlivých formách regresních modelů (1.1) až (1.5) byly vypočteny na základě běžné metody nejmenších čtverců. Statistická verifikace navržených forem modelů závislosti světové ceny kakaových bobů na poměru jejich zásoby a zpracování byla provedena prostřednictvím výpočtu hodnoty indexu determinace (I^2), respektive určením jeho upravené velikosti \bar{I}^2 . Statistická významnost hodnoty indexu determinace u příslušného modelu byla potom prověřena F -testem. Významnost parametrů v modelech byla ověřena prostřednictvím T -testů. Z důvodu uvažování časového zpoždění v rámci zkoumaného cenového vztahu byla u modelů (1.1) až (1.5) rovněž hodnocena DW -statistika.

VÝSLEDKY A DISKUSE K APLIKACI MODELŮ

Na základě získaných časových řad o vývoji cen na trhu s kakaovými boby (p_t) a poměru zásob ka-

kaových bobů k úrovni jejich zpracování (stg_t) byly metodou nejmenších čtverců odhadnuty parametry u uvažovaných dynamických forem modelů. Číselné hodnoty parametrů dynamických cenových modelů (1.1), (1.2), (1.3), (1.4*), (1.5) jsou pak zaznamenány v níže uvedených tabulkách, viz Tab. I., Tab. II., Tab. III., Tab. IV. a Tab. V. V rámci těchto tabulek (Tab. I. až Tab. V.) dále nalezneme výsledky statistické verifikace pro jednotlivé konstrukce modelů cenového vývoje, tj. hodnotu indexu determinace, hodnotu korigovaného indexu determinace, výsledek F -testu a hladina jeho spolehlivosti, výsledky T -testů u jednotlivých regresních parametrů, včetně hladin jejich významnosti. V neposlední řadě je v rámci těchto tabulek presentována hodnota Durbin-Watsonovy statistiky.

V souladu s pořadím zavedeném v metodické části bylo modelování cenového vývoje na trhu s kakaovými boby (p_t) podle výše poměru jejich zásoby a úrovně zpracování (stg_t) zahájeno s logaritmicko-lineární konstrukcí, kdy vliv vysvětlující proměnné byl posunut o jedno časové období dozadu: $\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_{t-1}$. Tuto implicitně dynamickou formu logaritmicko-lineárního modelu používala pro predikce cenového vývoje na trhu s kakaovými boby ICCO víceméně až do poloviny 90. let. Vypočtené hodnoty parametrů modelu (1.1) jsou spolu s výsledky jeho statistické verifikace obsaženy v Tab. I.

I: Hodnoty parametrů a statistické verifikace cenového modelu (1.1)

$\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_{t-1}$		
$\ln a = +9,7108$ $b = -0,7487$	$T \ln a = 12,0932$ $T b = 3,4384$	$\alpha_{T \ln a } = 1,9224 \cdot 10^{-15}$ $\alpha_{T b } = 1,311 \cdot 10^{-3}$
$I^2 = 0,2157$	$F(I^2) = 11,8227$	$\alpha_F = 1,311 \cdot 10^{-3}$
$\bar{I}^2 = 0,1974$	$DW = 0,3397$	

Z Tab. I je dobře patrné, že logaritmicko-lineární specifikace dynamického modelu cenového vývoje (1.1) je sice z pohledu F -testu a T -testů statisticky přijatelná, ovšem hodnota indexu determinace: $I^2 = 0,22$, resp. jeho korigovaná forma: $\bar{I}^2 = 0,20$, je velmi

nízká. V zásadě na stejný problém narazíme, když zavedeme pro zkoumaný cenový vztah čistě lineární formu, tj. model (1.2): $P_t = a + b \cdot stg_{t-1}$, jehož parametry a výsledky statistické verifikace zobrazuje Tab. II.

II: Hodnoty parametrů a statistické verifikace cenového modelu (1.2)

$P_t = a + b \cdot stg_{t-1}$		
$a = +2289,3896$ $b = -26,3520$	$T a = 7,5016$ $T b = 3,7174$	$\alpha_{T a } = 2,4345 \cdot 10^{-9}$ $\alpha_{T b } = 5,7741 \cdot 10^{-4}$
$I^2 = 0,2432$	$F(I^2) = 13,8188$	$\alpha_F = 5,7741 \cdot 10^{-4}$
$\bar{I}^2 = 0,2256$	$DW = 0,4214$	

K vysvětlení nízké hodnoty indexu determinace u obou sestavených regresních modelů (1.1), (1.2) se víceméně nabízí jeden z tradičních argumentů, a to,

že vývoj cen na trhu s kakaovými boby formují ještě další faktory. Vzhledem k předpokládanému těžišti využití vyvíjeného cenového modelu, jakožto vý-

chozí autonomní rovnice v rámci simultánního modelu trhu s kakaem (1) – (2) – (3) – (4), ovšem není adekvátní zkoumaný vztah rozšiřovat o další vysvětlující proměnné, například o úroveň poptávky nebo nabídky apod. Z tohoto důvodu byl zmíněný problém řešen prostřednictvím zástupné umělé proměnné t ve zkoumaném vztahu: $P_t = f(stg_{t-1}, t)$, viz Garaj, V., Šujan, L. (1985). Zapojení umělé proměnné do vytvářeného modelu pomůže současně také ošetřit případnou nestacionaritu výchozí databáze, neboť takto lze vyjádřit systematický trendový vývoj v modelované cenové závislosti, Seger, J. et al. (1998). Umělá proměnná t byla pro modelování vývoje ceny

na trhu s kakaovými boby deklarována následujícím způsobem:

$t = 1$	sklizňový rok 1960/1961
$t = 2$	sklizňový rok 1961/1962
$t = 46$	sklizňový rok 2005/2006

Získané odhady parametrů lineárního cenového modelu doplněného lineárním (1.3A), kvadratickým (1.3B) respektive kubickým (1.3C) trendem vývoje daného vztahu, včetně výsledků jejich statistické verifikace, ukazuje sled tabulek, Tab. III-A, III-B a Tab. III-C.

III-A: Hodnoty parametrů a statistické verifikace cenového modelu (1.3A)

$P_t = a + b \cdot stg_{t-1} + c \cdot t$		
$a = +2164,8916$ $b = -33,7363$ $c = +17,8958$	$T a = 7,4798$ $T b = 4,6915$ $T c = 2,6626$	$\alpha_{T a } = 3,0172 \cdot 10^{-9}$ $\alpha_{T b } = 2,8800 \cdot 10^{-5}$ $\alpha_{T c } = 1,0944 \cdot 10^{-2}$
$I^2 = 0,3525$	$F(I^2) = 11,4326$	$\alpha_F = 1,0864 \cdot 10^{-4}$
$\bar{I}^2 = 0,3217$	$DW = 0,5077$	

III-B: Hodnoty parametrů a statistické verifikace cenového modelu (1.3B)

$P_t = a + b \cdot stg_{t-1} + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2$		
$a = +1134,0299$ $b = -27,8409$ $c_1 = +114,5628$ $c_2 = -2,0582$	$T a = 3,4544$ $T b = 4,5916$ $T c_1 = 5,2382$ $T c_2 = 4,5688$	$\alpha_{T a } = 1,2952 \cdot 10^{-3}$ $\alpha_{T b } = 4,1278 \cdot 10^{-5}$ $\alpha_{T c_1 } = 5,1962 \cdot 10^{-6}$ $\alpha_{T c_2 } = 4,4352 \cdot 10^{-5}$
$I^2 = 0,5709$	$F(I^2) = 18,1864$	$\alpha_F = 1,1704 \cdot 10^{-7}$
$\bar{I}^2 = 0,5396$	$DW = 0,7328$	

III-C: Hodnoty parametrů a statistické verifikace cenového modelu (1.3C)

$P_t = a + b \cdot stg_{t-1} + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + c_3 \cdot t^3$		
$a = +1195,5549$ $b = -28,4578$ $c_1 = +106,1708$ $c_2 = -1,6367$ $c_3 = -5,7183 \cdot 10^{-3}$	$T a = 3,4544$ $T b = 4,5916$ $T c_1 = 5,2382$ $T c_2 = 4,5688$ $T c_3 = 4,5688$	$\alpha_{T a } = 8,1328 \cdot 10^{-2}$ $\alpha_{T b } = 1,6974 \cdot 10^{-3}$ $\alpha_{T c_1 } = 0,2038$ $\alpha_{T c_2 } = 0,6846$ $\alpha_{T c_3 } = 0,9161$
$I^2 = 0,5711$	$F(I^2) = 13,3137$	$\alpha_F = 1,1704 \cdot 10^{-7}$
$\bar{I}^2 = 0,5282$	$DW = 0,7363$	

Z pohledu výsledků statistické verifikace provedené u třech zkoumaných forem explicitně dynamických cenových modelů (1.3A), (1.3B), (1.3C) je v podstatě bez výhrad přijatelný cenový model s kvadratickým trendem (1.3B): $P_t = 1134,0299 - 27,8409 \cdot stg_{t-1} + 114,5628 \cdot t + 2,0582 \cdot t^2$. Tento model úspěšně také naplnil předpoklad o zvýšení hodnoty determinace, která na úrovni korigované podoby indexu determinace vzrostla na 0,54. Toto zvýšení pak může ve srovnání s hodnotou 0,23 dosaženou u lineárního modelu bez explicitní časové funkce (1.2) vyvolat

dojem poměrně efektivního postupu. Při srovnání velikostí reziduí: $p_t - P_t$ v posledních sedmi sklizňových letech (1999/2000–2005/2006), což je z pohledu využití modelu pro předpovědi budoucího vývoje cen na trhu s kakaem významnější než v rámci celého modelovaného období (1960/1961–2005/2006), však zjistíme, že prostý lineární model (1.2) je v daném směru účinnější. Tento princip je v rámci statistických metod analýzy časového vývoje jevů znám

jako adaptivní přístup k modelování a je podle okolností využíván v několika formách, viz Pindyck, R. S., Rubinfeld, D. L. (1998). Pro účely našeho příspěvku zmíněný princip použijeme poněkud jiným způsobem a to tak, že výchozí časovou řadu zkrátíme na polovinu (1983/1984–2005/2006), čímž mimo neaktuálních údajů také zbavíme extrémního vývoje cen kakaových bobů ve sklizňových letech 1975/1976–1979/1980. Po uvedení zkrácení ve výchozí databázi získal lineární model (1.2) následující kvantitativní vyjádření: $P_t = 2377,8978 - 26,2070 \cdot stg_{t-1}$, (1.2*). Index determinace byl v tomto případě roven: $I^2 = 0,6023$ a jeho upravená forma: $\bar{I}^2 = 0,5824$. Testové kritérium F dosáhlo u modelu (1.2*) hodnoty: $F(I^2) = 30,2931$ a hladina významnosti F -testu indexu determinace byla rovna: $\alpha_F = 2,1830 \cdot 10^{-5}$. Rovněž T -testy u obou parametrů daného lineárního modelu byly statisticky signifikantní: $T|a| = 10,2193 \Leftrightarrow \alpha_{T|a|} = 2,1942 \cdot 10^{-9}$; $T|b| = 5,5039 \Leftrightarrow \alpha_{T|b|} = 2,1830 \cdot 10^{-5}$. Hodnota DW -statistiky byly v případě kvantifikace lineárního cenového modelu (1.2*) rovna 1,0418.

Z představených výsledků lineárního cenového modelu (1.2*) určeného na základě zkrácené databáze je dobře patrný nárůst hodnoty indexu determinace, respektive její korigované úrovně oproti původní kvantifikaci tohoto modelu, viz Tab. II. Stabilita hodnot parametrů lineárního cenového modelu (1.2*) vzhledem k jeho kvantifikaci (1.2) naznačuje, že lineární model je využitelný k predikci cenového vývoje na trhu s kakaovými boby i přes nízkou hodnotu indexu determinace v rámci celého rozsahu databáze.

V souvislosti s úplnou statistickou verifikací navržených regresních modelů cenového vývoje na trhu

s kakaovými boby je třeba ještě vyhodnotit výsledky u DW -statistiky, která zatím zůstala stranou našeho zájmu. Tato statistika je z pohledu uvažovaného časového zpoždění vysvětlující proměnné právě o jedno období nesmírně významná, ne-li přímo rozhodující. Na základě vypočtených hodnot DW -statistiky však musíme bohužel konstatovat, že všechny doposud představené regresní modely cenového vývoje na daném trhu (1.1), (1.2), (1.2*), (1.3A), (1.3B), (1.3C) nejsou statisticky vyhovující. Nejlepší hodnotu DW -kriteria vykazala lineární specifikace cenového modelu (1.2*). Problém s možným výskytem autokorelace prvního řádu v rámci získaných reziduí byl potom důvod pro testování cenového modelu s korekcí chyby (1.4) a dále cenového modelu obohaceného o autoregresní složku (1.5).

Model cenového vývoje na trhu s kakaovými boby doplněný o korekci chybné v předpovědi (1.4): $\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_{t-1} + \psi \cdot [\ln p_{t-1} - \ln P_{t-1}]$ je ovšem z pohledu kvantifikace jeho parametrů metodou nejmenších čtverců poněkud komplikovanější. V podstatě se nabízí dvě možnosti odhadu jejich hodnot. V prvním případě využijeme již sestavený logaritmicko-lineární model (1.1): $\ln P_t = 9,7108 + 0,7487 \cdot \ln stg_{t-1}$, na jehož základě provedeme předpovědi cenového vývoje na trhu s kakaovými boby. Načež určíme chyby v předpovědích ceny kakaových bobů oproti její skutečné úrovni v daném období: $\ln p_t - \ln P_t$. Po těchto předchozích krocích je již možné provést odhad parametrů uvažovaného cenového modelu (1.4) prostřednictvím metody nejmenších čtverců. Dosažené výsledky včetně statistické verifikace daného modelu jsou obsaženy v Tab. IV-A.

IV-A: Hodnoty parametrů a statistické verifikace cenového modelu (1.4)

$\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_{t-1} + \psi \cdot [\ln p_{t-1} - \ln P_{t-1}]$		
$\ln a = +9,4915$ $b = -0,6838$ $\psi = +0,8336$	$T \ln a = 22,7099$ $T b = 6,0275$ $T \psi = 10,4979$	$\alpha_{T \ln a } = 7,671 \cdot 10^{-25}$ $\alpha_{T b } = 3,9538 \cdot 10^{-7}$ $\alpha_{T \psi } = 3,4578 \cdot 10^{-13}$
$I^2 = 0,7865$	$F(I^2) = 75,5224$	$\alpha_F = 1,7878 \cdot 10^{-14}$
$\bar{I}^2 = 0,7761$	$DW = 2,0571$	

Jak je vidět z Tab. IV-A, model cenového vývoje na trhu s kakaovými boby ve tvaru (1.4) je ve všech sledovaných statistických aspektech vysoce průkazný. Hodnota indexu determinace se při nasazení cenového modelu s korekcí chybné předpovědi dokonce oproti předchozím zkoumaným formám cenového modelu výrazně zvýšila a dosáhla téměř 80 %. Navíc z pohledu DW -testu je takto formulovaný model cenového vývoje na trhu s kakaovými boby v podstatě téměř ideální.

Parametry cenového modelu (1.4) lze ovšem také odhadnout druhým způsobem. V tomto druhém případě vypočteme pomocí metody nejmenších

čtverců parametry u sekundárního modelu cenového vývoje na trhu s kakaovými boby (1.4*): $\ln P_t = \ln A + B \cdot \ln stg_{t-1} + C \cdot \ln stg_{t-2} + D \cdot \ln p_{t-1}$. Tvar tohoto sekundárního modelu je přitom odvozen prostřednictvím substituce: $\ln P_{t-1} = \ln a + b \cdot \ln stg_{t-2}$ do rovnice modelu (1.4). Pro hodnotu korekčního parametru v modelu (1.4) vzhledem k (1.4*) pak přibližně platí: $\psi \approx D$. Parametr cenové flexibility výchozího modelu (1.4) je na základě sekundárního modelu (1.4*) přibližně roven: $b \approx B$. Dosažené parametry sekundárního cenového modelu (1.4*) jsou spolu s výsledky jeho statistické verifikace zaneseny do Tab. IV-B.

IV-B: Hodnoty parametrů a statistické verifikace sekundárního cenového modelu (1.4*)

$\ln P_t = \ln A + B \cdot \ln stg_{t-1} + C \cdot \ln stg_{t-2} + D \cdot \ln p_{t-1}$		
$\ln A = +1,5986$ $B = -0,3014$ $C = +0,1739$ $D = +0,8402$	$T \ln A = 1,8745$ $T B = 1,4968$ $T C = 0,8370$ $T D = 11,0858$	$\alpha_{T \ln A } = 6,8171 \cdot 10^{-2}$ $\alpha_{T B } = 0,1423$ $\alpha_{T C } = 0,4076$ $\alpha_{T D } = 9,1025 \cdot 10^{-14}$
$I^2 = 0,8105$	$F(I^2) = 57,0386$	$\alpha_F = 1,6541 \cdot 10^{-14}$
$\bar{I}^2 = 0,7963$	$DW = 1,8199$	

Výsledky předvedené v Tab. IV-B jasně ukazují, že sekundární cenový model (1.4*) vykazuje ještě nepatrně vyšší hodnotu determinace vzhledem k výchozím údajům než cenový model (1.4), viz Tab. IV-A. Index determinace je u tohoto sekundárního cenového modelu roven 0,81, respektive v korigované podobě 0,80. Vypočtená hodnota indexu determinace je pak statisticky vysoce průkazná, neboť: $F(I^2) = 57,0386 \Leftrightarrow \alpha_F = 1,6541 \cdot 10^{-14}$. K těmto uspokojivým výsledkům je nutné dále dodat, že sekundární cenový model (1.4*) vykazuje statisticky průkaznou hodnotu DW-testu. Určité problémy při statistické verifikaci se u sekundárního modelu cenového vývoje na trhu s kakaovými boby (1.4*) objevily na úrovni T-testů parametru B a C. Při kvantifikaci parametru b v modelu s korekcí chybné předpovědi (1.4) budeme tedy raději respektovat 95 % intervalu spolehlivosti, podle

něhož se tento parametr nachází s 95% pravděpodobností mezi hodnotami -0,7083 a +0,1056.

Na závěr analýzy různých modelů cenového vývoje na trhu s kakaovými boby byla pozornost obrácena na model s autoregresní složkou (1.5): $\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_t + c \cdot \ln p_{t-1}$. Jak naznačuje jeho zápis, je tento cenový model poněkud konstrukčně odlišný od předchozích, neboť v něm nefiguruje zpožděný vliv poměru zásoby kakaových bobů a jejich zpracování na tržní cenu. Vliv předchozího období na úroveň aktuální cenu na trhu s kakaovými boby je v modelu (1.5) naopak vyjádřen autoregresní cenovou funkcí. Číselné hodnoty parametrů cenového modelu s autoregresní složkou a výsledky jeho statistické verifikace jsou obsaženy v Tab. V.

V: Hodnoty parametrů a statistické verifikace cenového modelu (1.5)

$\ln P_t = \ln a + b \cdot \ln stg_t + c \cdot \ln p_{t-1}$		
$\ln a = +2,6824$ $b = -0,4041$ $c = +0,8301$	$T \ln a = 4,7900$ $T b = 4,4148$ $T c = 14,9071$	$\alpha_{T \ln a } = 2,5472 \cdot 10^{-4}$ $\alpha_{T b } = 1,3446 \cdot 10^{-3}$ $\alpha_{T c } = 6,0733 \cdot 10^{-14}$
$I^2 = 0,8685$	$F(I^2) = 138,6708$	$\alpha_F = 3,0687 \cdot 10^{-15}$
$\bar{I}^2 = 0,8622$	$DW = 1,5779$	

Z Tab. V je patrné, že poslední ze zkoumaných modelů cenového vývoje na trhu s kakaovými boby dosáhl ve všech směrech nejlepší výsledky testů statistické významnosti. Index determinace byl u modelu (1.5) větší než 0,85 a to i v případě jeho korigované formy. DW-test u tohoto cenového modelu rovněž vykázal uspokojivý výsledek: $DW = 1,60$.

V poslední části příspěvku přistoupíme k ověření praktické využitelnosti vytvořených modelů cenového vývoje (1.1), (1.2), (1.2*), (1.3A), (1.3B), (1.3C), (1.4), (1.4*), (1.5). V této pozici nejprve určíme na základě všech sestavených regresních modelů teo-

retické ceny kakaových bobů na světovém trhu ve sklizňovém roce 2005/2006. Takto získané teoretické hodnoty světové ceny pak srovnáme se skutečnou cenou kakaových bobů na světovém trhu pro toto období: $p_{2005/06} = 1068 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$. Aplikací možnosti vytvořených regresních modelů pak ještě dále vyzkoušíme při predikci ceny kakaových bobů na světovém trhu pro sklizňový rok 2006/2007. Vypočtené teoretické úrovně cen kakaových bobů na světovém trhu pro sklizňový rok 2005/2006 a předpovědi ceny pro sklizňový rok 2006/2007 podle jednotlivých modelů obsahuje Tab. VI.

VI: Teoretická cena kakaových bobů na světovém trhu ($SDR \cdot t^{-1}$)

model cenový vývoje		sklizňový rok	
		2005/2006	2006/2007
(1.1)	$\ln P_t = 9,7108 - 0,7487 \cdot \ln stg_{t-1}$	875	871
(1.2)	$P_t = +2289,3896 - 26,352 \cdot stg_{t-1}$	959	951
(1.2*)	$P_t = 2377,8978 - 26,2070 \cdot stg_{t-1}$	1054	1047
(1.3A)	$P_t = 2164,8916 - 33,7363 \cdot stg_{t-1} + 17,8958 \cdot t$	1284	1292
(1.3B)	$P_t = 1134,0299 - 27,8409 \cdot stg_{t-1} + 114,5628 \cdot t - 2,0582 \cdot t^2$	643	558
(1.3C)	$P_t = 1195,5549 - 28,4578 \cdot stg_{t-1} + 106,1708 \cdot t - 1,6367 \cdot t^2 - 5,7183 \cdot t^3$	622	531
(1.4)	$\ln P_t = 9,4915 - 0,6838 \cdot \ln stg_{t-1} + 0,8336 \cdot [\ln p_{t-1} - \ln P_{t-1}]$	979	1066
(1.4*)	$\ln P_t = 1,5986 - 0,3014 \cdot \ln stg_{t-1} + 0,1739 \cdot \ln stg_{t-2} + 0,8402 \cdot \ln p_{t-1}$	1014	1050
(1.5)	$\ln P_t = 2,6824 - 0,4041 \cdot \ln stg_t + 0,8301 \cdot \ln p_{t-1}$	962	976*

* predikce ceny byla provedena za předpokladu, že: $stg_{2006/07} = stg_{2005/06}$

Tab. VI. jasně vypovídá, že nejnížší odchylka na simulované světové ceny kakaových bobů pro sklizňový rok 2005/2006 od její skutečné výše pro toto časové období byla docílena po aplikaci prostého lineárního modelu (1.2*), tedy lineárního modelu s hodnotami parametrů, které byly určeny pouze z číselných hodnot druhé poloviny shromážděné databáze. V tomto případě činila absolutní hodnota dané odchylky jen 14 $SDR \cdot t^{-1}$. Téměř čtyřikrát vyšší hodnoty ($54 SDR \cdot t^{-1}$) dosáhla tato odchylka, jestliže byl pro simulaci cenového vývoje nasazen model s korekcí chyby, u něhož byl výpočet parametrů proveden v souladu s druhým postupem, viz cenový model (1.4*). Třetí nejnížší velikost odchylky teoretické světové ceny kakaových bobů ve sklizňovém období 2005/2006 od její skutečné výše v tomto období byla dosažena po simulaci cenového vývoje kakaových bobů prostřednictvím modelu s korekcí určeného prvním způsobem (1.4). Při použití tohoto modelu cenového vývoje byla sledovaná odchylka v absolutním vyjádření rovna 89 $SDR \cdot t^{-1}$. Další konstrukce cenových modelů již vykazovaly odchylky přesahující $\pm 100 SDR \cdot t^{-1}$. Nejvíce se k uvedené hodnotě sledované odchylky přiblížil lineární model cenového vývoje (1.2) a dále logaritmicko-lineární model s autoregresní složkou (1.5). U obou těchto cenových modelů byla zjištěna v podstatě stejná absolutní výše odchylky teoretické ceny od skutečné, a sice 106 $SDR \cdot t^{-1}$ a 109 $SDR \cdot t^{-1}$. Při zavedení logaritmicko-lineárního cenového modelu (1.1) a lineárního cenového modelu s lineárním trendem (1.3A) se absolutně vyjádřená odchylka teoretické ceny od její skutečné úrovně ve zkoumaném sklizňovém období už dokonce pohybovala okolo 200 $SDR \cdot t^{-1}$. Po simulaci vývoje světové ceny kakaových bobů na základě logaritmicko-lineárního modelu (1.1) měla daná odchylka hodnotu 193 $SDR \cdot t^{-1}$. Při nasazení lineární konstrukce cenového modelu dynamizovaného lineární trendovou funkcí (1.3A) pak nabyla hodnocená odchylka v absolutním vyjádření úroveň 216 $SDR \cdot t^{-1}$. Nevyšších odchylek teoretické ceny kakaových bobů na světovém trhu ve sklizňovém

roce 2005/2006 od její skutečné výše v tomto časovém období bylo dosaženo u modelů cenového vývoje s kvadratickou a kubickou trendovou složkou, viz modely (1.3B) a (1.3C). Tyto cenové modely dosáhly v absolutním vyjádření odchylek 425 $SDR \cdot t^{-1}$ a 446 $SDR \cdot t^{-1}$, tedy úrovně blízké se téměř k polovině skutečné světové ceny kakaových bobů.

Z výše uvedeného pořadí se celkem jasně rýsují predikční možnosti sestavených cenových modelů. V této souvislosti pak pro předpověď světové ceny kakaových bobů v následujícím sklizňovém období nelze v žádném případě doporučit explicitně dynamické formy modelů s kvadratickou a kubickou trendovou funkcí, tj. modely (1.3B) a (1.3C). Z pohledu velikosti hodnocené odchylky nelze považovat za příliš vhodný ani explicitně dynamický cenový model s lineární trendovou funkcí (1.3A) a stejně tak logaritmicko-lineární cenový model ve tvaru (1.1). Na první pohled trochu překvapivě byly oproti předchozím cenovým modelům shledány lepší předpoklady pro predikce cenového vývoje na světovém trhu s kakaovými boby u lineárního modelu (1.2). Lineární konstrukce (1.2) sice vykazovala výrazně nižší hodnotu celkové determinace k výchozím údajům, ale na druhé straně také výrazně nižší odchylky teoretických cen od jejich skutečné výše v posledních sedmi sklizňových obdobích. Z tohoto důvodu byl proveden „aktualizovaný“ odhad parametrů lineárního modelu na základě číselných hodnot z druhé poloviny nashromážděné databáze. Nově odhadnutý lineární model (1.2*) potom vykázal mnohem vyšší hodnotu indexu determinace a navíc také dosáhl mezi testovanými cenovými modely zcela nejnížší odchylku simulované ceny od její skutečné výše v posledním známém období. Vedle získání vhodného predikčního nástroje také aktualizovaný odhad parametrů v lineárním modelu (1.2*) zdůrazňuje význam alternativních přístupů k tvorbě dynamických modelů, viz adaptivní principy dynamického modelování. Velkou nevýhodu všech výše zmíněných konstrukcí cenových modelů, včetně modelu (1.2*), ale zůstává možný výskyt autoregrese

reziduí prvního řádu, což je bohužel z pohledu uvažovaného zpoždění ve zkoumané cenové závislosti poměrně zásadní otázka. Problém s autoregresí reziduí prvního řádu byl při testování vhodné formy cenového modelu úspěšně potlačen korekční složkou, viz konstrukce (1.4) a (1.4*), respektive ošetřen autoregresní cenovou funkcí (1.5). Tato skupina cenových modelů (1.4), (1.4*), (1.5) pak dosáhla kromě předpokládaného zlepšení DW-statistiky také poměrně uspokojivých výsledků na úrovni hodnocené cenové odchylky, zvláště model s korekcí chybné předpovědi (1.4*).

V návaznosti na zjištěné pořadí cenových modelů podle vykazované velikosti odchylky v posledním známém období se nyní můžeme pokusit předpovědět úroveň ceny na světovém trhu s kakaovými boby pro sklizňové období 2006/2007. Na základě lineárního modelu (1.2*) lze očekávat, že v příštím skliz-

ňovém období bude cena na světovém trhu s kakaovými boby o $21 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$ nižší než v předcházejícím období ($1047 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$). Podle druhého nejlepšího modelu cenového vývoje (1.4*) bude cena na světovém trhu rovněž klesat, ale pouze o $18 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$. Úroveň světové ceny na trhu s kakaovými boby bude tedy ve sklizňovém roce 2006/2007 podle cenového modelu (1.4*) rovna $1050 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$. Víceméně cenovou stagnaci na světovém trhu s kakaovými boby pro nadcházející období 2006/2007 předpovídá model s korekcí chybné předpovědi ve tvaru (1.4). Při simulaci cenového vývoje dle modelu (1.4) byla pro sklizňové období 2006/2007 předpovězena cena kakaových bobů na světovém trhu ve výši $1066 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$. Nárůst světové ceny kakaových bobů ($1292 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$) je simulován pouze prostřednictvím explicitně dynamického modelu s lineární trendovou funkcí.

SOUHRN

Článek je zaměřen na modelování cenového vývoje na světovém trhu s kakaovými boby. Při konstrukci jednotlivých forem modelů vychází tento příspěvek z předpokládané závislosti mezi světovou cenou kakaových bobů a poměrem zásoby kakaových bobů vzhledem k jejich zpracování: $P_t = f(stg_{t-1})$. Při modelování cenového vývoje na světovém trhu s kakaovými boby byla využita databáze ICCO – sklizňové roky 1960/1961 až 2005/2006. Mezi zkoumané konstrukce byl zařazen logaritmicko-lineární model, lineární model, lineární model s lineární, s kvadratickou a s kubickou trendovou funkcí, dále logaritmicko-lineární model s korekcí chyby a logaritmicko-lineární model s autoregresní složkou. Z pohledu statistické verifikace a dále z pohledu nejnižší odchylky teoretické ceny od její skutečné úrovně v posledním známém časovém období byl shledán jako přijatelný logaritmicko-lineární model s korekcí chyby, tedy model (1.4): $\ln P_t = 9,4915 - 0,6838 \cdot \ln stg_{t-1} + 0,8336 \cdot [\ln p_{t-1} - \ln P_{t-1}]$. Podobně uspokojivé výsledky nabízí rovněž také druhá možnost odhadu modelu s korekcí chyby, tj. sekundárně odvozený cenový model (1.4*): $\ln P_t = 1,5986 - 0,3014 \cdot \ln stg_{t-1} + 0,1739 \cdot \ln stg_{t-2} + 0,8402 \cdot \ln p_{t-1}$. Zcela nejnižší hodnotu odchylky teoretické světové ceny kakaových bobů pro sklizňový rok 2005/2006 od její skutečné výše v daném období ale dosáhla prostá lineární formulace cenového vztahu, viz model (1.2*): $P_t = 2377,8978 - 26,2070 \cdot stg_{t-1}$, jehož parametry byly určeny pouze z údajů druhé poloviny nashromážděné databáze. Tato lineární forma cenového modelu ovšem vykazují určité problémy při základní statistické verifikaci (DW-test), a proto ji nelze příliš doporučit k analýze citlivosti cenových vztahů na trhu s kakaovými boby, tj. například k vyhodnocení dynamické cenové flexibility. Na základě simulace cenového vývoje prostřednictvím všech třech výše uvedených modelů lze očekávat v nadcházejícím sklizňovém období mírný pokles ceny na světovém trhu s kakaovými boby. Podle cenového modelu (1.2*) bude světová cena kakaových bobů ve sklizňovém roce 2006/2007 rovna $1047 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$ podle modelu s korekcí chyby (1.4*) $1050 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$ a konečně podle „přímého“ odhadu modelu s korekcí chyby (1.4) bude daná cena rovna $1066 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$.

světový trh s kakaovými boby, světová cena kakaových bobů, dynamický cenový model, predikce ceny kakaových bobů

SUMMARY

This paper deals with the estimation of the world price of cocoa beans by the use of econometric model. The models were based on the assumption, that the world price of cocoa beans depends on the world stock to grindings ratio of cocoa beans in the last crop year: $P_t = f(stg_{t-1})$. The parameters of the developed models were estimated using ICCO data from 1960/1961 to 2005/2006. The logarithmic-linear forms of the model, the single linear form, the linear form with the time function, the logarithmic-linear model with the error correction and the logarithmic-linear model with the autoregressive function were studied. From the point of view of the statistical verification and from the low value of the deviation of the simulated world price for 2005/2006 period from the actual price level for this crop year, the logarithmic-linear form of error correction model (1.4): $\ln P_t = 9,4915 - 0,6838 \cdot \ln stg_{t-1} + 0,8336 \cdot [\ln p_{t-1} - \ln P_{t-1}]$ achieved the best results. Acceptable results were also obtained by modifying the error correction model (1.4*): $\ln P_t = 1,5986 - 0,3014 \cdot \ln stg_{t-1} + 0,1739 \cdot \ln stg_{t-2} + 0,8402 \cdot \ln p_{t-1}$. During the estimation of the model parameters from the second half of the time series, the simple li-

near definition of the price model (1.2*): $P_t = 2377,8978 - 26,2070 \cdot stg_{t-1}$ obtained absolutely, the lowest value of the examined deviation, on other hand this linear model had a problem with DW-test. In accordance with the simulation of the price development, it is possible to expect a slight fall of the price level on the world market for the cocoa beans. Under simulation Model (1.4), the level of the world price of cocoa beans for the crop year 2006/2007 will be $1047 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$. By applying Model (1.4*), the level of the world price will be $1050 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$ and under Linear model (1.2*) it will be $1066 \text{ SDR} \cdot t^{-1}$.

Příspěvek byl zpracován v rámci Výzkumného záměru PEF MZLU MSM 6215648904 "Česká ekonomika v procesech integrace a globalizace a vývoj agrárního sektoru a sektoru služeb v nových podmínkách integrovaného agrárního trhu" jako součást řešení tematického směru 4 „Vývojové tendence agrobusinessu, formování segmentovaných trhů v rámci komoditních řetězců a potravinových sítí v procesech integrace a globalizace a změny agrární politiky“.

LITERATURA

- ADAMS, F. G., BEHRMAN, J. R., 1976: Econometric models of world agricultural commodity markets. Cocoa, coffee, tea, wool, cotton, sugar, wheat, rice. Ballinger. Cambridge, MA, USA: 160 p. ISBN 0-88410-290-4.
- BEHRMAN, J. R., 1968: Monopolistic Cocoa Pricing. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 50, No. 3: p. 702–719. ISSN: 00029092.
- DARKWAH, S. A.: The Impact of Cocoa Industry Development on the Economy of Ghana. Brno: PEF-MZLU v Brně, 2007, 174 p.
- DUFEK, J., 1993: Ekonometrie. 1. vyd. Brno: PEF-MZLU v Brně, 132 s. ISBN 80-7157-80-X.
- GARAJ, V., ŠUJAN, L., 1980: Ekonometria. 1. vyd. Bratislava: SNTL/Alfa, 284 s.
- HUŠEK, R., 1999: Ekonometrická analýza. 1. vyd. Praha: Ekopress, 303 s. ISBN 80-86119-19-X.
- PINDYCK, R. S., RUBINFELD, D. L., 1998: Econometric Models and Economic Forecasting. 4th edition. Irwin/McGraw-Hill International Edition, 634 p. ISBN 0-07-115836-7.
- SEGER, J., HINDLS, R., HRONOVÁ, S., 1998: Statistika v hospodářství. 1. vyd. Praha: ETC Publishing, edice Manager/Podnikatel, 636 s. ISBN 80-86006-56-5.
- TVRDOŇ, J., 1999: Ekonometrie. Praha: PEF ČZU, 222 s. ISBN 80-213-04282-0.
- WEYMAR, F. H., 1969: The Dynamics of the World Cocoa Market. Journal of Economic Literature, Vol. 7, No. 2: p. 468–469. ISSN: 00220515.
- WILSON, P. R. D., 1984: Ghana and the International Cocoa Market, 1956–1969: a simulation model. North-Holland, Vol. 1, Issue 3: p. 327–344. ISSN: 0264-9993.

Adresa

doc. Ing. Pavel Syrovátka, Ph.D., Ing. Samuel A. Darkwah, Ph.D., Ústav podnikové ekonomiky, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: pavels@mendelu.cz, darkwah@mendelu.cz