

Souvislost výnosů zemědělských plodin a sucha

Background of crop yield and droughts

Václav Voltr, Pavel Froněk, Martin Hruška

Ústav zemědělské ekonomiky a informací Praha

Abstrakt

Výnosy zemědělských plodin jsou vyjádřeny regresními funkcemi závislosti na počasí a projevech sucha. Na základě regresních funkcí lze sestavit predikce výnosů plodin podle měsíčních průměrů srážek a teplot i detailních charakteristik sucha v charakteristických obdobích dané plodiny. Regresní funkce byly sestaveny z dlouhodobého sledování detailních charakteristik produkce na cca 500 pozemcích v zemědělském provozu. Stabilních modelů se podařilo dosáhnout u pšenice ozimé, řepky ozimé a ječmene jarního. Z výsledků vyplývá, že projev sucha se nejvíce projevuje v citlivých obdobích vývoje plodiny, vyjádřených na základě korelačních koeficientů vztahu sucha k výnosu. U pšenice ozimé každý den sucha v době od května do července představuje ztrátu 0,027 t/ha. Regresní funkce lze využít zejména pro odhady sklizně podle předchozího vývoje počasí.

Klíčová slova: Regresní funkce, výnos pšenice, počasí, predikce výnosů, sucho

Abstract

Crop yields are expressed as regression functions depending on the weather and manifestations of drought. Based on the regression functions can be constructed prediction of crop yields, according to monthly averages of rainfall and temperature as well as detailed characteristics of drought in the characteristic period of the crop. Regression functions were assembled from long-term monitoring of detailed characteristics of production at about 500 plots in the farm operation. Stable models was achieved in winter wheat, winter oilseed rape and spring barley. The results show that the manifestation of drought are most sensitive periods in the development of crops, expressed on the basis of correlation coefficients related to drought yield. For each day of winter wheat drought during May-July represents a loss of 0.027 t / ha. The regression function can be used especially for harvest forecasts by the previous development of weather.

Keywords: Regression function, yield of winter wheat, weather, yield forecast, drought

Úvod

Počasi patří k základním faktorům tvorby výnosu. Srážkové i teplotní poměry vytvářejí prostředí k tvorbě výnosu, specifické pro dané podmínky. Jednotlivé klimatické regiony v ČR jsou specifické jak velikostí, tak poměrem srážek a teplot. V rámci jejich působení je jedním z nejdůležitějších faktorů projev sucha, který působí na výnos silně negativně. V rámci příspěvku je toto působení analyzováno na základě přímého působení sucha na výnos plodin i podle produkčních funkcí plodin v závislosti na součtových charakteristikách teplot, srážek a období sucha v citlivých obdobích vývoje rostliny. Výsledek umožňuje přihlídnout ke specifickým počasí jak ve vztahu k definici klimatických regionů, tak ve vztahu k predikci vývoje počasí podle aktuálního vývoje počasí.

Komplexní vztah výrobních, ekonomických a environmentálních souvislostí pro regionální podmínky zemí EU řešil již projekt SEAMLESS (Van Ittersum a kol. 2010), který kvantifikoval vztah produkčních a ekonomických faktorů výroby na základě počítačové simulace výroby v souladu s ekologickými limity a požadavky. Výsledkem projektu je systém hodnocení dopadů zemědělské politiky na základě propojení dostupných evropských databází popisu půdních, klimatických a ekonomických podmínek. Základní vztah produkčních podmínek se opírá o řadu teoretických modelů umožňujících detailně popsat jednotlivé komponenty tvorby výnosu plodin a externalit při výrobě. Základní přístup ke stanovení produktivity půdy v podmínkách ČR je odvozen od analytického odvození efektivity technologií a environmentálních omezení daných strukturou výroby. Respektování environmentálních zásad je dané ve vztahu k výběru plodin na erozně ohrožené půdě, vláhovým poměrům a respektováním půdoochranných technologií výroby plodin. Pro vyhodnocení půdně-klimatických podmínek je použitý systém BPEJ, který popsal Klečka (1989).

Obecný tvar produkční funkce plodin byl naplňován řadou odborných prací. Modelování produkce popsal obecně Heady (1961) a dále řada dalších autorů, např. Ittersum et al (2010).

V zemědělském pohledu byla v tomto ohledu důležitá práce Dabberta (1994) která vyhodnocuje vazby mezi jednotlivými skupinami a faktory při definici produkčních funkcí na základě souhrnné matice výrobních faktorů. Výnos lze potom obecně popsat funkcí (2):

$$Y_t = f(W_t; S_t; Z_t; P_t; L_t; TP; K) \quad (2)$$

Kde Y: výnos, t: období sledování (rok), W: klimatické proměnné, S: typ, druh a stav půdy, Z: výživa rostlin, P: úroveň chemické ochrany rostlin, L: technologie výroby TP: technický pokrok, K: konfigurace pozemku

Vzhledem ke specifickým podmínkám klasifikace půdně-klimatických podmínek v ČR byla pro další postup zvolena cesta funkčního doložení vazby výnosů a nákladů podle fyzikálních charakteristik popisu výrobních faktorů. Pro popis produkčních vlastností půdy byla zpracována komplexní statistická metoda na základě víceúrovňové regresní analýzy (Voltr a kol. 2011), která pokrývá všechny hlavní směry tvorby výnosu. V průběhu let 2002–2010 byly na 500 homogenních pozemcích sledovány detailní základní informace o půdě, klimatických, ekonomických a technologických podmínkách pěstování plodin. Účelem bylo zjistit vzájemné chování výnosů a faktorů tvorby výnosu. Na základě zjištěných výsledků byly sestaveny produkční funkce plodin, podle kterých byly navrženy standardizované hodnoty výnosu, živin a intenzity chemické ochrany.

Za hlavní skupiny faktorů z věcně logického pohledu lze označit především klima, typ půdy, charakteristiku HPJ, technologický postup, zásoba P, K, Mg v půdě, dále pak konfigurace a zrnitostní, sorpční a humusová charakteristika půdy.

Při hodnocení projevu počasí se chová nejlépe velký, stabilní soubor sledování. Menší soubory plodin sice dosahují velmi dobrých regresních modelů, které však nelze aplikovat do širších vztahů na ostatních pozemcích, protože navržený lineární model reaguje nepříznivě na extrémní průběhy počasí.

Materiál a metody

Pro vyhodnocení vlivu sucha na výnosy zemědělských plodin byly použity vícekriteriální regresní funkce, předchozí modelové vyhodnocení výnosů podle Voltra (2011) a porovnání s navrženými normativními hodnotami výnosů. Výpočty byly provedeny v prostředí SPSS verze 17. Metodika vyhodnocení sucha vychází z databáze a podkladů ČHMÚ.

Sucho znamená v zásadě nedostatek vody v půdě, v rostlinách nebo v atmosféře. Jedná se o přírodní jev dočasný, negativní, který je charakterizován výraznými odchylkami od dlouhodobých průměrných hodnot srážek (nedostatek čili deficit srážek) v průběhu významného časového období v rozsáhlých oblastech. Hlavním důsledkem sucha je poškození rostliny v důsledku překročení bodu vadnutí.

Sucho je definováno v souladu s metodickým přístupem ČHMÚ na základě výpočtů pomocí modelu AVISO.

Vedle evaporačních, evapotranspiračních a bilančních charakteristik je jedním ze základních výstupů modelu AVISO aktuální vláhový deficit vyjádřený v mm, který charakterizuje množství využitelné vody v aktivním půdním profilu, chybějící do polní vodní kapacity. Odvozenou charakteristikou je zásoba využitelné vody v půdě v jednotkách mm nebo % využitelné vodní kapacity půdy. Rozumí se jí množství půdní vody, vyskytující se mezi základními půdními hydrolimity (polní vodní kapacita a bod vadnutí).

Obě výše uvedené agroklimatické charakteristiky reprezentující vlhkost půdy ve svrchním půdním profilu byl pomocí modelu AVISO spočítán pro půdu pokrytou travním porostem. Ostatním souvislostem – hladina podzemní vody, druh plodiny, konfigurace pozemku, nebyly při výpočtu uvažovány.

Model může být zpracován v obecné podobě (standardním povrchem je travní porost) nebo pro vybrané zemědělské plodiny. Výsledky výpočtu modelu Aviso zpracované pro odpovídající využitelnou vodní kapacitu (VVK) půd na jednotlivých pozemcích byly použity pro vyhodnocení vlivu sucha na základě pentád (sledu 5 dnů za sebou), ve kterých byl hodnocený výskyt počtu dní s výskytem vlhkosti pod stanovenou hranici bodu vadnutí.

Výsledky

Vliv sucha byl stanoven pro vývojově citlivé období, které je pro každou plodinu specifické (Voltr 2011). Ze vzorku dat výnosů na 500 pozemcích v období 2002 -2010 byla korelační analýzou doplněna charakteristická období k jednotlivým plodinám a výsledky jsou uvedeny v tabulce 1.

Na základě počítačového zpracování regresních funkcí byla zjištěna vazba těchto citlivých období na celkovou charakteristiku počasí a výnosů jednotlivých plodin. Z charakteristiky modelu vyplývá, že jednotlivé modely plodin mají nízký koeficient determinace (R Square), který odpovídá heterogenním podmínkám na stanovišti, avšak kromě brambor a jetele jsou všechny modely signifikantní.

V tabulce 3 jsou uvedeny koeficienty pro výpočet odhadovaného výnosu plodin podle regresní funkce závislosti na intenzitě sucha. Uvedené modely jsou tvořeny výhradně pomocí dosaženého výnosu plodin a intenzitou sucha, které je udávané pomocí počtu dní sucha v jednotlivých pentádách v průběhu vegetačního období, pro proměnné uvedené v tabulce 1.

Výpočet je proveden podle sumarizační funkce 1:

$$Výnos = Const + \sum_{i=1}^{i=n} B * P \quad (1)$$

Kde i je počet proměnných v modelu, $Const$ je zjištěná konstanta modelu, B je stanovený regresní koeficient a P je databázová hodnota dané proměnné.

Tabulka 1 Vymezení citlivých období na sucho u plodin

25.7. - 29.7.	28.10.-1.11.	součet počtu dní sucha na začátku vegetace - pšenice	suma suchých dní při setí pšenice
26. 5. - 30.5.	30.6.. - 4.7.	součet počtů dnů sucha - průběh vegetačního období - pšenice ozimá	suma suchých dní vegetace pšenice ozimá
25.7.-29.7.	28.10.-1.11.	součet počtu dní sucha na začátku vegetace - řepka	suma suchých dní při setí řepky
25.7.-29.7.	28.10.-1.11.	součet počtu dní v období sucha na začátku vegetace - ječmen ozimý	suma suchých dní při setí ječmene ozimého
20.6.-24.6.	20.7.-24.7.	součet počtu dní sucha začátek vegetace kukuřice	suma suchých dní při setí kukuřice
20.6.-24.6.	14.8.-18.8	součet počtu dní sucha začátek vegetace kukuřice	suma suchých dní při setí kukuřice na zrno
25.7.-29.7	24.8.-28.8.	součet počtu dní sucha při sklizni máku	suma suchých dní při sklizni máku
5.6.-9.6.	29.8.-2.9.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - oves	suma suchých dní - léto - oves
1.5.-5.5.	31.5.-4.6.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období -jarní ječmen	suma suchých dní - jarní ječmen
26.5.-30.5.	5.7.-9.7.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - cukrovka	suma suchých dní - cukrovka
15.6.-19.6.	25.6.-29.6	součet počtů dnů sucha - začátek vegetačního období - pšenice jarní	suma suchých dní pšenice jarní
20.6.-24.6.	10.7.-14.7.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - vojtěška 1	suma suchých dní vojtěška 1
30.7.-3.8.	4.8.-8.8.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - vojtěška 2	suma suchých dní vojtěška 2
3.9.-7.9.	18.9.-22.9.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - jetel	suma suchých dní jetel
25.6.-29.6.	15.7.-19.7.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - žito	suma suchých dní žito
1.5.-5.5.	31..5.-4.6.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - triticales 1	suma suchých dní triticales 1
15.7.-19.7.	4.8.-8.8.	součet počtu dnů sucha - začátek vegetačního období - triticales 2	suma suchých dní triticales 2

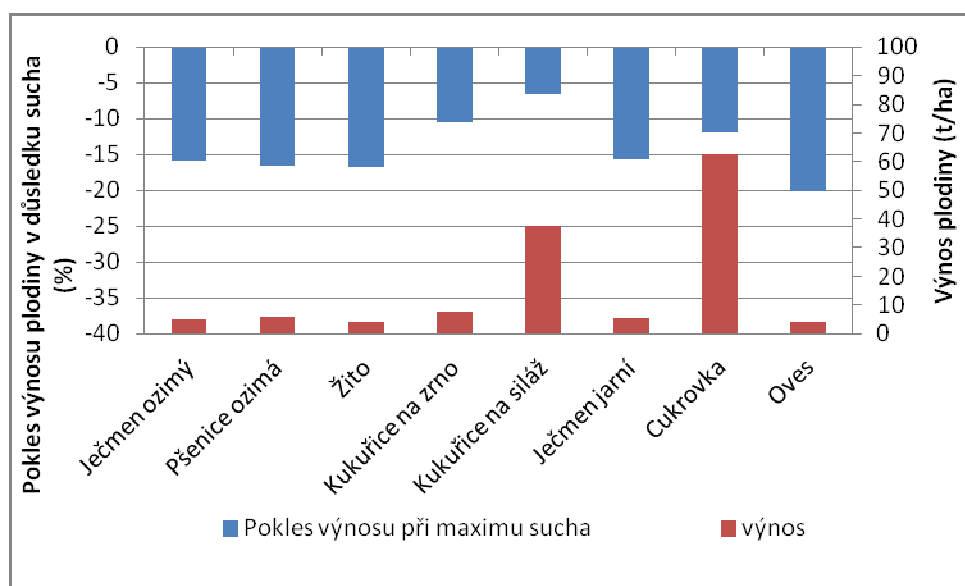
Výsledek funkce se zjistí pomocí konstanty udávané ve výpočtu a regresními koeficienty (coeficient) ke každé plodině. Na základě signifikance jednotlivých proměnných je možné odvodit, nakolik je daná proměnná ve výpočtu významná a stanovit tak míru spolehlivosti výsledků jednotlivých proměnných. Z uvedeného přehledu vyplývá, že nedostatečnou významnost mají proměnné sucha u máku, brambor, vojtěška, jetele, řepky.

Při stanovení dopadu sucha na výnosy byly zvoleny dva výpočty. První odpovídá průměrnému počtu dní sucha, ke kterému je vztažen rovněž výnos na obr. 1. Druhý výpočet odpovídá počtu dní sucha, který byl u každé plodiny zjištěn v maximální míře. Tento výpočet

je založený na výpočtu průměrných koeficientů, výchylky jsou dány rozptylem modelu. V důsledku se tedy finální výsledky v jednotlivých případech mohou lišit. Rozdíl obou výpočtů byl převeden na procenta a výsledky pro průměrné hodnoty za ČR spolu s uvedeným základním výnosem jsou uvedeny na obr. 1.

Tabulka 2 ANOVA a R Square modelů plodin

Model pro plodinu	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.	R Square
Pšenice	172,040	86,020	48,113	,000	0,078
Žito	6,440	6,440	12,134	,001	0,228
Ječmen ozimý	11,141	11,141	6,271	,013	0,037
Ječmen jarní	18,286	18,286	11,347	,001	0,025
Kukuřice na siláž	731,835	731,835	6,796	,010	0,020
Kukuřice na zrna	48,206	48,206	11,119	,001	0,070
Mák	,606	,303	5,197	,007	0,092
Brambor	21,951	21,951	,847	,367	0,036
Cukrovka	1964,542	1964,542	14,712	,000	0,076
Vojtěška	237,809	118,904	3,342	,042	0,102
Jetel	38,796	38,796	1,599	,219	0,068
Oves	10,871	10,871	11,264	,001	0,170
Tritikale	18,167	9,084	6,653	,002	0,179
Řepka	21,142	7,047	16,838	,000	0,101



Obr. 1. Úbytek výnosu jednotlivých plodin při maximálním zjištěném suchu

Tabulka 3 Regresní modely pro plodiny

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		Coefficient	Std. Error	Beta		
Pšenice ozimá	konstanta	6,956	,106		65,931	,000
	suma suchých dní setí pšenice	-,002	,000	-,248	-8,708	,000
	suma suchých dní pšenice	-,027	,007	-,147	-5,148	,000
Žito	konstanta	4,458	,136		32,857	,000
	suma suchých dní žito	-,043	,012	-,478	-3,483	,001
Ječmen ozimý	konstanta	7,022	,278		25,246	,000
	Suma suchých dní setí ječmen ozimý	-,003	,001	-,438	-6,370	,000
	Počet suchých dní ječmen ozimý	-,121	,049	-,170	-2,478	,014
Ječmen jarní	konstanta	4,933	,065		76,235	,000
	suma suchých dní ječmen jarní	-,025	,007	-,157	-3,369	,001
Kukuřice na siláž	konstanta	39,640	,750		52,877	,000
	suma suchých dní setí kukuřice siláž	-,108	,042	-,143	-2,607	,010
Kukuřice na zrno	konstanta	8,718	,234		37,194	,000
	suma suchých dní setí kukuřice zrno	-,024	,007	-,265	-3,334	,001
Mák	konstanta	,828	,036		23,018	,000
	Suma suchých dní mák	-,001	,001	-,094	-,697	,487
	suma suchých dní sklizeň máku	,006	,002	,364	2,699	,008
Brambory	konstanta	26,013	1,694		15,360	,000
	Suma suchých dní brambor	,030	,033	,189	,921	,367
Cukrovka	konstanta	67,154	1,042		64,462	,000
	suma suchých dní cukrovka	-,229	,060	-,276	-3,836	,000
Vojtěška	konstanta	35,821	1,097		32,641	,000
	suma suchých dní vojtěška 1	-,149	,096	-,246	-1,555	,125
	suma suchých dní vojtěška 2	-,137	,216	-,100	-,633	,529
Jetel	konstanta	30,089	1,171		25,705	,000
	suma suchých dní jetel	-,149	,118	-,260	-1,264	,219
Oves	konstanta	4,161	,162		25,720	,000
	suma suchých dní oves	-,014	,004	-,412	-3,356	,001
Tritikale	konstanta	4,788	,246		19,438	,000
	suma suchých dní tritikale1	-,033	,012	-,319	-2,734	,008
	suma suchých dní tritikale2	,028	,013	,248	2,124	,038
Řepka	konstanta	2,705	,299		9,033	,000
	suma suchých dní setí řepka	,001	,000	,242	2,101	,036
	suma suchých dní řepka1	-,016	,004	-,176	-3,851	,000
	suma suchých dní řepka2	,008	,002	,481	4,210	,000

a. Závislá proměnná: skutečný výnos

Předcházející případ byl sestaven pro stanovení obecného dopadu sucha na výnosy plodin. V další části výnosu jsme se zaměřili na stanovení dopadu sucha pro konkrétní stanoviště. K výpočtu jsme použili dostupné informace na zemědělských podnicích, tedy normativní výnos pro odpovídající BPEJ a průměrné hodnoty srážek a teplot v jednotlivých měsících v době od zasetí do sklizně. K těmto hodnotám lze získat rovněž údaj o počtu suchých dní uvedených v tabulce 1. Počet dní sucha vychází z metodiky ČHMU, modelu AVISO pro konkrétní půdní druhy. Výsledky jsou zpracované pro všechny plodiny, v této práci je

vyhodnocený výnos pšenice ozimé. Koeficient determinace tohoto modelu je R Square = 0,424. Rovnice výpočtu vychází ze součtu konstant a výpočtu jednotlivých hodnot výnosu pro proměnné uvedené v modelu, na základě konceptu výpočtu ze vztahu 1.

Tabulka 4. Model predikce výnosů pšenice ozimé podle počasí

Proměnná	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-2,249	1,384		-1,625	,104
výn Pšenice ozimá (nepotravinářská)	,636	,060	,364	10,572	,000
Srážky 01	,000	,003	,004	,087	,931
Teplota 01	-,011	,054	-,025	-,212	,832
Srážky 02	,001	,003	,021	,495	,621
Teplota 02	,108	,056	,220	1,941	,052
Srážky 03	,001	,003	,012	,278	,781
Teplota 03	-,034	,115	-,040	-,292	,770
Srážky 04	-,005	,003	-,082	-1,862	,063
Teplota 04	,294	,076	,349	3,875	,000
Srážky 05	,001	,002	,016	,447	,655
Teplota 05	-,215	,087	-,246	-2,486	,013
Srážky 06	-,002	,002	-,050	-1,391	,164
Teplota 06	-,026	,124	-,028	-,210	,834
Srážky 07	-,003	,002	-,078	-1,928	,054
Teplota 07	-,033	,088	-,035	-,373	,709
Srážky 08	-,001	,001	-,040	-,993	,321
Teplota 08	,090	,116	,105	,776	,438
Srážky předchozí rok 08	,000	,002	,016	,272	,786
Srážky předchozí rok 09	,008	,002	,163	3,725	,000
Srážky předchozí rok 10	,001	,002	,009	,221	,825
Srážky předchozí rok 11	,011	,003	,171	3,810	,000
Srážky předchozí rok 12	-,002	,004	-,032	-,677	,498
Teplota předchozí rok 08	,070	,057	,086	1,214	,225
Teplota předchozí rok 09	,276	,098	,298	2,828	,005
Teplota předchozí rok 10	-,105	,089	-,123	-1,190	,234
Teplota předchozí rok 11	-,137	,093	-,147	-1,481	,139
Teplota předchozí rok 12	-,117	,091	-,121	-1,290	,197
Celkový přívod dusíku	,003	,001	,142	5,579	,000
Obsah humusu (%)	-,151	,064	-,059	-2,359	,019
Suma suchých dní setí pšenice	,000	,000	,036	,926	,354
suma suchých dní vegetace pšenice ozimá	-,019	,008	-,098	-3,082	,002

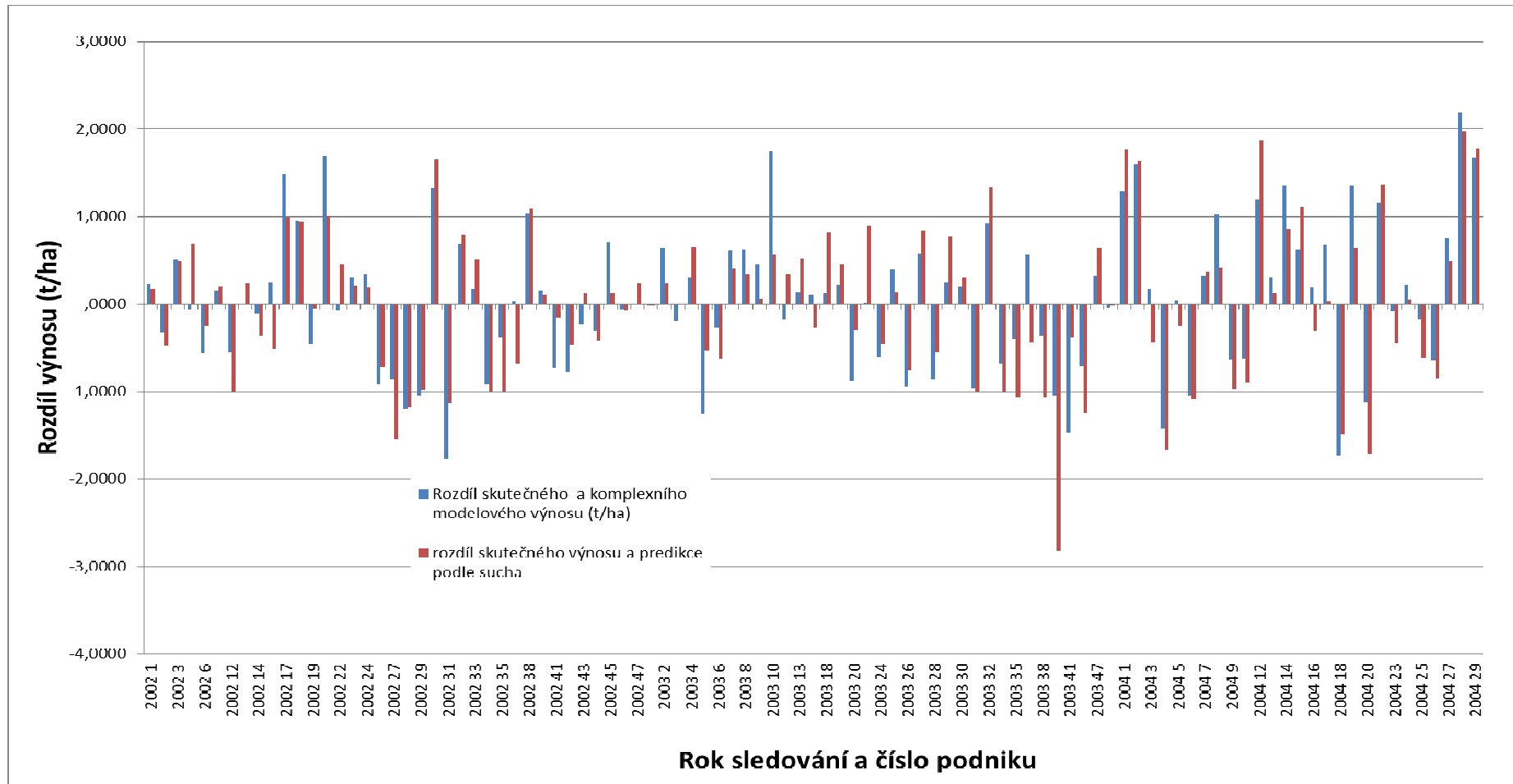
Výsledky uvedené v tabulce 4 byly zpracovány pro jednotlivé půdní bloky a podniky na základě identifikace BPEJ v půdních blocích. Základem výpočtu jsou údaje o srážkách, teplotách a suchu v místě odvozené ze čtvercové sítě v ČR z ČHMÚ. Výpočet byl provedený pro období 2002 – 2010. Na grafu 2 je uvedeno porovnání výsledků predikce a skutečného výnosu. Vzhledem k tomu, že se výnos v místě může lišit od normativního výpočtu pro BPEJ z mnoha důvodů, ne jen z důvodu chyby v regresním vztahu, ale i v souvislosti s dalšími specifickými podmínkami provozu, je v grafu uveden rovněž rozdíl modelového výpočtu výnosu pomocí komplexních produkčních funkcí (Voltr 2011) a skutečného výnosu. Z obou rozdílů lze vycházet při porovnávání dosažené přesnosti výnosů podle počasí.

Diskuze

Výsledky z regresních funkcí odpovídají statistickému trendu ve vztahu výnosu a průběhu počasí. Jednoduché regrese plodin ve vztahu k projevům sucha vypovídají o celkovém dopadu sucha na velkém počtu sledování. Z uvedené tabulky výsledků modelů vyplývá, že vliv sucha byl zjištěn jako významný u většiny plodin, s výjimkou vojtěšky, jetele, brambor a máku. Sucho bylo odvozeno ze statisticky doložených projevů počasí v letech 2002 – 2010 a představuje maximální dosaženou hranici počtu suchých dnů pro jednotlivé plodiny v senzitivních obdobích vývoje plodiny.

Největší dopad sucha na výnosy plodin se významným modelem byl zjištěn u ovsa (pokles až 20 % výnosu), pšenice a žita (až 16 % výnosu). Cukrovka vykázala pokles o 11 % výnosu, kukuřice na siláž 7 % a kukuřice na zrno 10 % poklesu základního výnosu. Uvedené základní výnosy jsou přitom ovlivněny průběhem počasí také. Podrobné modely predikce počasí v kontextu dispozic měsíčních hodnot srážek počasí a dalších proměnných ovlivňujících specifikaci normativního výnosu umožňují lokální predikci výnosu podle počasí včetně sucha, charakterizující i vliv druhu půdy. Vliv sucha v rámci jednotlivých koeficientů u plodin je v jednotlivých modelech odlišný a je způsoben dalšími faktory, zejména zápočtem konkrétního průběhu teplot a srážek v průběhu roku, který význam sucha v modelu snižuje. Z porovnání výsledků podle obr. 2 pro jednotlivé podniky vyplývá, že ve většině případů podniků je zjištěn trend vývoje výnosů podle počasí správný a rozdíly predikce ke skutečnému výnosu jsou způsobeny celým komplexem dalších jevů stanovených pomocí produkčních funkcí půdy.

Obr. 2 Vyhodnocení predikce výnosů podle počasí a jednotlivých podniků



Výsledky výnosů nelze nikdy stanovit zcela přesně, avšak zjištěné hodnoty se pohybují v přijatelném rozsahu vzhledem ke komplexním hodnotám výsledku modelu. Výsledky regresních modelů lze použít i pro predikci výnosů na základě předcházejícího průběhu počasí v hospodářském roce. Na základě podrobných rozborů bylo zatím dosaženo uspokojivých predikčních výsledků u pšenice ozimé, řepky ozimé a ječmene jarního. Pokles výnosů je charakterizován na základě podkladů podniků k dokončené sklizni. Případy, které vedly k zaorání plodiny nebo zásadnímu snížení výnosů vlivem sucha, hrazené pojišťovny, pro výpočet uvažovány nebyly.

Závěr

Působení sucha bylo v článku popsáno na základě jednoduché závislosti dosaženého výnosu základních plodin a počtu dní sucha, který je charakterizován bodem vadnutí podle metodiky ČHMÚ. Efekt sucha lze odvodit podle těchto regresních funkcí v reálném rozsahu sucha v daném období 2002 – 2010. Použití pro další období bude možné po aktualizaci výnosových řad. Pokles výnosů v projevech sucha se pohybuje v rozsahu 7 – 20% z výnosů bez projevů sucha. U pšenice byla zjištěna regresní funkce, podle které každý den sucha v jarním období od konce května do začátku července znamená ztrátu výnosu 0,027 t/ha. Z detailní produkční funkce je možno odvodit návrh změny výnosu v důsledku předcházejícího průběhu počasí; index determinace u modelu pšenice je 0,424. Stabilních výsledků modelů pro místní podmínky se zatím podařilo namodelovat u pšenice ozimé, řepky ozimé a ječmene jarního.

Literatura

Heady, E.O., Dillon, J.L.: *Agricultural production functions*. Iowa State University Press, 1961, p. 599

Dabbert, S.: *Ökonomik der Fruchtbarkeit*. Stuttgart, Ulmer 1994, 201 s. ISBN 3-8001-4092-6

Voltr V. a kol.: *Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí*. ÚZEI, 480 s. ISBN 978-80-86671-86-4

Voltr V.: Concept of soil fertility and soil productivity evaluation of agricultural sites in the Czech Republic. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2012, 58, S1, ISSN 0365-0340, p. 243-251

Pracovní podklady ČHMÚ a projektu QH72257

Poděkování

Autoři tímto děkují agentuře NAZV za podporu projektu QH72257.

Kontakt:

Ing. Václav Voltr, CSc.

ÚZEI

Mánesova 75

222000390, 607737414

voltr.vaclav@uzei.cz