

## OCENA PRZYDATNOŚCI WYBRANYCH METOD DO PROGNOZOWANIA PLONÓW ROŚLIN

*Wojciech Sroka\**, *Piotr Sulewski\*\**, *Urszula Kocielska\*\**

\*Katedra Ekonomiki i Organizacji Rolnictwa, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Kierownik: dr hab. Wiesław Musiał UR

\*\*Katedra Ekonomiki i Organizacji Przedsiębiorstw SGGW w Warszawie  
Kierownik: prof. dr hab. Wojciech Zięta

Słowa kluczowe: prognozowanie, plony roślin, ekstrapolacja trendu, metody adaptacyjne  
*Key words: forecasting, plant's yields, trend extrapolation, adaptive models*

S y n o p s i s. Metody statystyczne wykorzystywane są we wszystkich ogniach gospodarki żywnościowej, a obecnie coraz częściej w samym rolnictwie. Dotyczy to również metod prognozowania plonów roślin. W opracowaniu postawiono dwa cele badawcze: porównanie przydatności wybranych metod do sporządzenia prognoz plonów roślin zbożowych oraz wyznaczenie przewidywanych plonów tych roślin w perspektywie roku 2014.

### WSTĘP

Od najdawniejszych czasów jednym z głównych dążeń człowieka było pragnienie poznania przyszłości, która ze swej natury jest jednak nieprzewidywalna. Rozwój cywilizacji i nauki spowodował, że obok „tradycyjnych form” przewidywania przyszłości jak chociażby wróżbiarstwo, pojawiły się także metody naukowe oparte na poszukiwaniu zależności pomiędzy faktami z przeszłości mogącymi determinować przyszłość. Do metod takich należy prognozowanie, które Cieślak [2004] definiuje jako racjonalne, naukowe przewidywanie „przyszłych zdarzeń”. Potrzeba prognozowania związana jest z faktem, że ludzie planując działania i podejmując decyzje dążą do przygotowania się na różne ewentualności.

W ostatnich latach prognozowanie nabrało szczególnego znaczenia, gdyż wszystkie dziedziny życia gospodarczego podlegają bardzo dynamicznym zmianom. Powoduje to wzrost niepewności i ryzyka. Dzięki prognozom, osiągniętym przez zastosowanie odpowiednich metod badawczych, można w dużym stopniu ograniczyć ryzyko błędnych decyzji. W przypadku rolnictwa prognozowanie jest niezbędnym elementem skutecznego i sprawnego kierowania gospodarstwem. Co więcej, wczesna informacja na temat poziomu przyszłej produkcji rolniczej, popytu, czy też cen pozwala nie tylko właściwie zaplanować prace rolnikom, ale również umożliwia planowanie i organizację skupu, przechowalnictwa i przetwórstwa płodów rolnych. W skali państwa daje podstawy do podjęcia właściwych decyzji, co do przyjęcia odpowiedniej polityki rolnej czy też regulacji rynków rolnych.

Specyfika rolnictwa, polegająca na pracy z żywymi organizmami sprawia, iż prognozowanie w tym obszarze obciążone jest wieloma problemami obcymi dla innych sektorów. Jednym z kluczowych czynników determinujących wysokość uzyskiwanych plonów, a znajdujących się poza kontrolą rolnika, są warunki atmosferyczne i przebieg pogody. Szczególnie ważne jest to w produkcji roślinnej, która stanowiąc podstawę rolnictwa warunkuje sytuację całej gospodarki żywnościowej. Strategiczne znaczenie produkcji roślinnej dla całego sektora sprawia, że jednym z ważniejszych nurtów badań w zakresie ekonomiki rolnictwa są analizy związane z prognozowaniem wysokości plonów roślin w różnych okresach.

### CEL I METODYKA BADAŃ

W opracowaniu postawiono dwa podstawowe cele badawcze. Pierwszym (o charakterze poznawczym) jest porównanie trafności prognoz plonów sporządzonych różnymi metodami. Cel ten zrealizowano przez:

- wyznaczenie prognoz wygasłych dla wybranych roślin w latach 2001-2007 i porównanie uzyskanych wyników z rzeczywistą wysokością plonów odnotowaną w danym czasie,
- ocenę odchyień zmiennej prognozowanej od prognoz,
- ocenę graficznego dopasowania funkcji prognozy do danych rzeczywistych.

Celem badawczym o charakterze użytkowym jest wyznaczenie z zastosowaniem różnych metod prognoz plonów dla kilku roślin w perspektywie roku 2014. Również w tym przypadku trafność prognoz została oceniona na podstawie analizy błędów.

Prognozy zostały przygotowane z wykorzystaniem metod opartych na modelach szeregów czasowych. Użycie tego typu metod jest zalecane w sytuacji, gdy prognozowane zjawisko charakteryzuje się dużą iteracją, co pozwala na wykorzystanie zasady *status quo*, zakładającej, że w okresie, na którym budowana jest prognoza na zjawisko oddziałują takie same czynniki otoczenia jak dotychczas [Dittmann 2008]. W pracy do konstrukcji szeregów czasowych wykorzystano dane o średniej wysokości plonów w Polsce z lat 1970-2007. Oznacza to, iż zasada *status quo* nie została w pełni zachowana, gdyż na przełomie lat 80-tych i 90-tych nastąpiła w Polsce zmiana systemu gospodarczego, co spowodowało znaczące obniżenie nakładów w produkcji roślinnej (zużycie NPK i chemicznych środków ochrony roślin), które są jednym z kluczowych czynników plonotwórczych. Z drugiej strony, jednym z podstawowych parametrów, decydującym o jakości przygotowanej prognozy jest długość okresu retrospekcji, co wydaje się szczególnie istotne w przypadku zjawiska plonowania roślin, dlatego zdecydowano się wykorzystać szeregi czasowe od 1970 roku, pomimo niespełnienia formalnych wymogów, co do zasady *status quo*.

W pracy wykorzystano metody ekstrapolacyjne (ekstrapolacja trendu z wykorzystaniem różnych funkcji, tj. funkcji liniowej oraz funkcji nieliniowej dającej najlepszy stopień dopasowania mierzony współczynnikiem determinacji) i adaptacyjne (metoda wyrównywania wykładniczego Browna, metoda wyrównywania wykładniczego Holta oraz metoda trendu pelzającego z wagami harmonicznymi). Obliczenia przeprowadzono z zastosowaniem pakietu statystycznego Statgraphics oraz arkusza kalkulacyjnego Excel. Przy ocenie istotności statystycznej oszacowanych funkcji założono poziom  $\alpha = 0,05$ . Przy szacowaniu modelu Browna oraz Holta poziom wygładzania alfa oraz stałe wyrównania alfa i beta (dla modelu Holta) zostały zoptymalizowane w programie Statgraphics.

## PRZEGLĄD ZASTOSOWANYCH METOD PROGNOZOWANIA

Jednym z kluczowych elementów procesu prognozowania wpływającym na jakość tworzonych prognoz jest dobór odpowiedniej metody. Podstawowy podział metod prognostycznych wyodrębnia metody matematyczno-statystyczne i niematematyczne. Jednymi z bardziej popularnych wśród metod z pierwszej grupy są metody oparte na modelach ekonometrycznych. Wyróżnić tu można przede wszystkim klasyczne modele trendu i modele adaptacyjne. Metody te opierają się na analizie i prognozowaniu szeregów czasowych. Modele analizy szeregów czasowych nie opisują związków przyczynowo-skutkowych między badanymi zjawiskami, lecz wyjaśniają mechanizm rozwoju analizowanych zjawisk w czasie. Specyficzną cechą modeli szeregów czasowych jest brak zmiennej objaśniającej (czynnika wpływającego na kształtowanie się badanego zjawiska), która została zastąpiona przez zmienną czasową. Modele szeregów czasowych uwzględniają składową systematyczną w postaci trendu oraz składową przypadkową [Zeliaś 2005]. W przypadku metod ekstrapolacyjnych podstawowym warunkiem ich stosowania jest zachowanie przez zmienną  $Y$  (w tym przypadku jest to plon wybranych roślin) stanu dynamicznej równowagi, oznaczającego, że wpływ różnych czynników oddziałujących na  $Y$  jest stały. W takich przypadkach możliwym jest w miarę dobre opisanie zmian  $Y$  jako funkcji czasu i czynnika losowego. Najczęściej jako funkcję aproksymującą przyjmuje się funkcję liniową, potęgową, wielomianową, wykładniczą i logarytmiczną [Krasowicz, Filipiak 1996]. Podstawowym problemem związanym z zastosowaniem tej grupy metod jest fakt występowania w wieloletnich szeregach czasowych znacznych odchyłeń od linii trendu [Krasowicz, Filipiak 1996]. Znacznie większą przydatność wykazują w takiej sytuacji metody adaptacyjne. Podstawowe ich zalety to znaczna elastyczność i zdolność dostosowawcza w sytuacji zachwiania lub załamania obserwowanych wcześniej prawidłowości w rozwoju zjawiska [Błoch 1999]. Pozwala to na korygowanie modelu w miarę upływu czasu i dołączanie do niego nowych informacji [Krasowicz, Filipiak 1996]. Wśród najczęściej stosowanych metod adaptacyjnych wymienia się między innymi metodę wyrównywania wykładniczego (Browna, Holta) oraz metodę trendu pełzającego. Model Browna (pierwszego stopnia) zakłada przypisywanie wykładniczo mniejszych wag obserwacjom starszym i większych bezpośrednio poprzedzającym interesujący badacza moment. W przypadku występowania w szeregu czasowym trendu niemonotonicznego można również stosować model wyrównywania wykładniczego Browna rzędu drugiego.

Do prognozowania na podstawie szeregów czasowych, w których występują wahania przypadkowe szczególnie przydatny jest natomiast model wyrównywania wykładniczego Holta. Większa elastyczność tego modelu wynika z zastosowania dwóch stałych wygładzania. Podstawą prognozowania jest równanie liniowe, z dwoma stałymi wyrównania:  $\alpha$  i  $\beta$ . Stała  $\beta$  służy do wygładzania poziomu trendu, natomiast stała  $\alpha$  do wygładzania jego zmian.

W przypadku prognozowania zjawisk charakteryzujących się dużą nieregularnością i wieloma załamaniem trendu zalecaną procedurą jest model trendu pełzającego z wagami harmonicznymi. Model ten jest bardzo elastyczny i stosuje się go do budowy prognoz na krótki okres dla zjawisk o nieregularnych zmianach<sup>1</sup>. Podstawową słabością metod adaptacyjnych jest ich mała przydatność do prognozowania długookresowego.

<sup>1</sup> Szczegółowy opis procedury postępowania przy użyciu modelu trendu pełzającego można znaleźć m.in. na portalu [portal.wsiz.rzeszow.pl/plik.aspx?id=2418](http://portal.wsiz.rzeszow.pl/plik.aspx?id=2418).

Podstawowym kryterium przydatności prognoz w działalności gospodarczej jest ich trafność. Przez trafność sporządzanych prognoz należy rozumieć prawdopodobieństwo spełnienia się jakiegoś przewidywania. Prawdopodobieństwo to zależy od szeregu czynników, a do najważniejszych można zaliczyć horyzont prognozy, głębokość retrospekcji, metody prognostyczne i informacje prognostyczne.

W metodyce prognozowania istnieje wiele możliwości zwiększania trafności prognozy. Zeliaś [1997] zalicza do nich m.in. stosowanie kilku różnych metod, porównywanie otrzymanej prognozy z innymi podanymi wcześniej w literaturze oraz prowadzenie weryfikacji logicznej i merytorycznej. Do określenia poprawności prognoz bardzo często służy procedura, w której opracowuje się tą samą metodą zmiany zjawiska w czasie przeszłym (prognozy wygasłe). Jeśli dopasowanie danej metody do minionych zjawisk jest dobre, to prawdopodobne jest, że zastosowana metoda jest poprawna, a opracowana z jej użyciem prognoza będzie trafna.

Istotnym elementem trafności prognoz jest również analiza błędów *ex-post*. Do najczęściej używanych należą: błąd bezwzględny (MAE), średni błąd procentowy (MPE), średni bezwzględny błąd procentowy (MAPE) oraz pierwiastek średniego kwadratu błędów (RMSE). Dokładne omówienie przywołanych miar można znaleźć w literaturze przedmiotu [m.in. Cielślak 1997, Zeliaś 1997, Gajda 2001, Stańko 2006].

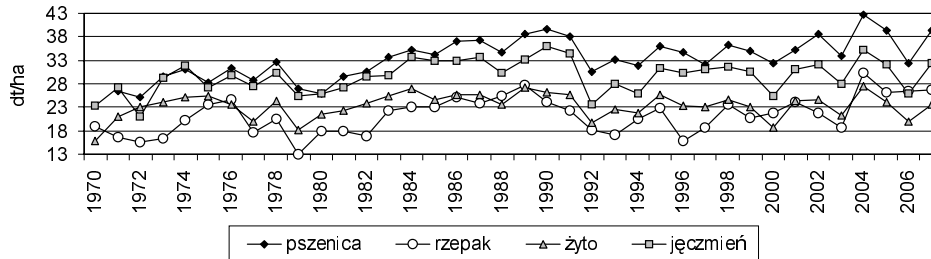
#### CHARAKTERYSTYKA PLONOWANIA ANALIZOWANYCH ROŚLIN

Wybrane do badania rośliny różnią się pod względem plonowania, wymagań klimatycznych, glebowych oraz uprawowych. W roku 2007 powierzchnia uprawy pszenicy, jęczmienia, żyta oraz rzepaku stanowiła około 47,7% ogólnej powierzchni zasiewów (tab. 1). W Polsce, struktura gatunkowa, lokalizacja uprawy oraz plony poszczególnych roślin determinowane są warunkami klimatycznymi, jakością gleb, poziomem kultury rolnej i strukturą agrarną [ARR 2008]. W zakresie struktury zasiewów w ostatnich kilkudziesięciu latach zaobserwowano przede wszystkim wzrost znaczenia roślin zbożowych i oleistych, a zmniejszenie udziału ziemniaków. Warto też zauważyć zmiany w strukturze samych zbóż – od początku lat dziewięćdziesiątych dominowała pszenica, podczas gdy wcześniej najpopularniejszą uprawą było żyto. Zmiany w strukturze warunkowane były szeregiem czynników, które także wpływają na wysokość plonów. Za podstawowy z nich należy uznać warunki pogodowe panujące w okresie wegetacji roślin. Drugim bardzo ważnym elementem wpły-

Tabela 1. Struktura zasiewów oraz plony wybranych roślin w Polsce w latach 1970-2007

| Gatunek<br>zbóż | 1970                         |                 | 1990                         |                 | 2007                         |                 |
|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
|                 | udział w<br>zasiewach<br>[%] | plon<br>[dt/ha] | udział w<br>zasiewach<br>[%] | plon<br>[dt/ha] | udział w<br>zasiewach<br>[%] | plon<br>[dt/ha] |
| Zboża ogółem    | 55,8                         | .               | 59,9                         | .               | 72,9                         | .               |
| Pszenica        | 13,3                         | 26,5            | 16,0                         | 39,6            | 18,4                         | 39,4            |
| Żyto            | 22,8                         | 19,5            | 16,2                         | 26,1            | 11,5                         | 23,7            |
| Jęczmień        | 6,2                          | 23,3            | 8,2                          | 35,9            | 10,8                         | 32,5            |
| Rzepak i rzepik | 2,0                          | 19,0            | 3,5                          | 24,1            | 7,0                          | 26,7            |

Źródło: Roczniki statystyczne GUS.



Rysunek 1. Plonowanie zbóż w latach 1970-2007 w Polsce  
Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS.

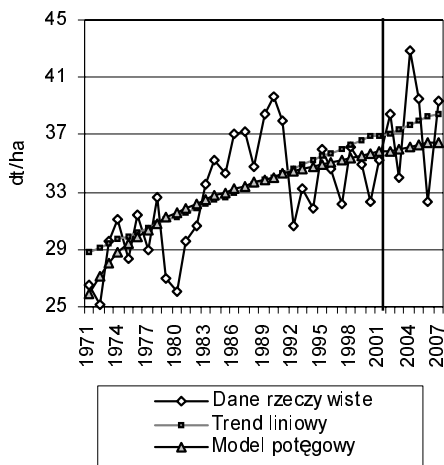
wającym na wysokość plonów roślin jest postęp w rolnictwie. Dotyczy to zarówno postępu biologicznego, czyli wprowadzania nowych i lepszych odmian, jak również postępu agrotechnicznego. Wieloletnie obserwacje wskazują, iż w okresie 1970-2007 plony roślin zbożowych oraz rzepaku wykazywały tendencję wzrostową (rys. 1).

W analizowanym okresie można zauważyć trzy charakterystyczne fazy kształtowania się plonów roślin zbożowych. Pierwszy z nich obejmuje lata 1970-1979, kiedy plony omawianych roślin wzrastały, następnie w roku 1980 zanotowano drastyczny ich spadek, po czym aż do roku 1990 następował znowu systematyczny wzrost. Zmiana plonowania była wywołana głównie zwiększonym zużyciem nawozów oraz innych plonotwórczych środków produkcji. W latach 1992-1993 średnie plony zbóż spadły do poziomu plonów uzyskiwanych w roku 1980, a następnie zaczęły ponownie stopniowo wzrastać.

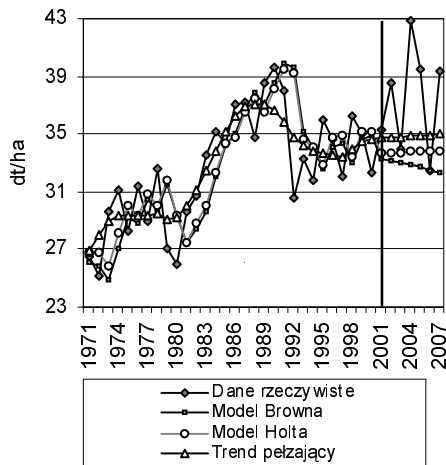
### PROGNOZY WYGASŁE PLONÓW WYBRANYCH ROŚLIN

W celu sprawdzenia przydatności poszczególnych metod prognozowania do przewidywania plonów różnych roślin uprawnych przetestowano ich trafność przez sporządzenie prognoz wygasłych na lata 2001-2007. Prognoza wygasła jest to prognoza sporządzana na moment, dla którego znana jest już wartość prognozowanej zmiennej i której trafność można zweryfikować [Guzik i in. 2005]. W opracowaniu przyjęto, iż długość przedziału weryfikacji prognoz wygasłych (7 lat) będzie taka sama jak żądany horyzont prognozy. Przyjęcie takiego założenia jest jednym z warunków umożliwiających wykorzystanie analizy błędów *ex post* do określenia dopuszczalności prognoz [Cieślak 1997]. Obliczone na lata 2001-2007 za pomocą różnych metod wartości porównano następnie z rzeczywistą wysokością plonów odnotowaną w latach 2001-2007. Prognozy zbudowano z wykorzystaniem trzydziestoletniego okresu retrospekcji (lata 1971-2000), a okres projekcji wynosił 7 lat (2001-2007). Porównanie wartości prognozowanych dla przeszłości z rzeczywistymi, obserwowanymi w tym okresie dało podstawę do sformułowania wniosku, co do przydatności poszczególnych metod w prognozowaniu plonów oraz umożliwiło określenie skali błędu między prognozami a stanem faktycznym.

Na rysunkach 2 oraz 3 przedstawiono rzeczywiste oraz teoretyczne (wynikające z dobranych funkcji) wysokości plonów dla pszenicy. Dane dla lat 2001-2007 stanowią prognozę (uzyskaną odpowiednio metodami ekstrapolacji trendu i adaptacyjnymi). Pionową, przerywaną linią oddzielono okres prognozy (lata 2001-2007) od szeregu czasowego (lata 1970-



Rysunek 2. Rzeczywiste plony pszenicy w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 uzyskana metodami ekstrapolacji trendu  
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 3. Rzeczywiste plony pszenicy w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 uzyskana metodami adaptacyjnymi  
Źródło: opracowanie własne.

2000) stanowiącego okres retrospekcji. Oceny trafności prognoz dokonano przez porównanie danych oszacowanych na lata 2001-2007 (prognoza wygasła) z danymi rzeczywistymi z tego okresu i obliczenie błędów *ex-post*.

Na podstawie rysunku 2 można stwierdzić, iż postacie analityczne funkcji w przypadku metod ekstrapolacji trendu (model liniowy  $Y = ax+b$  oraz model potęgowy  $Y = ax^b$ ) są zgodne pod względem merytorycznym oraz dają dość dobre dopasowanie do danych rzeczywistych. Mniejsze dopasowanie w okresie projekcji (2001-2007) można natomiast zauważyć w przypadku modeli adaptacyjnych. Zastosowanie tych ostatnich wskazywałoby na trend malejący w analizowanym zjawisku, co pomimo widocznych wahań w poziomie plonowania byłoby wnioskiem błędnym. Sytuacja taka wynika z faktu, iż metody adaptacyjne z większą wagą uwzględniają obserwacje bliższe okresowi prognozy (w przypadku pszenicy w latach poprzedzających rok 2001 wystąpiły znaczące spadki plonów – szczególnie na początku lat 90-tych). W okresie poprzedzającym prognozę (1970-2000) najlepsze dopasowanie danych rzeczywistych do wartości teoretycznych uzyskano w przypadku modelu trendu pełzającego, modelu potęgowego i trendu liniowego. Wskazują na to najniższe odchylenia standardowe błędów prognoz (RMSE), jak również pozostałe miary (MAE i

Tabela 2. Porównanie błędów prognoz pszenicy w Polsce dla wybranych metod

| Rodzaj funkcji  | Błędy <i>ex-post</i> (lata 1970-2000) |      |          | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|-----------------|---------------------------------------|------|----------|---------------------------------------|------|----------|
|                 | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy   | 2,97                                  | 2,55 | 7,97     | 3,36                                  | 2,82 | 7,73     |
| Model potęgowy  | 2,77                                  | 2,36 | 7,32     | 3,58                                  | 3,12 | 8,20     |
| Model Browna    | 3,00                                  | 2,42 | 7,62     | 5,73                                  | 4,63 | 11,64    |
| Model Holta     | 3,30                                  | 2,63 | 8,22     | 4,97                                  | 4,07 | 10,30    |
| Trend pełzający | 1,88                                  | 1,58 | 4,95     | 4,23                                  | 3,52 | 9,00     |

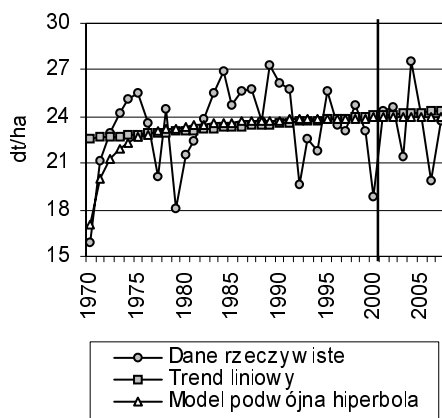
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Porównanie błędów prognoz żyta w Polsce dla wybranych metod

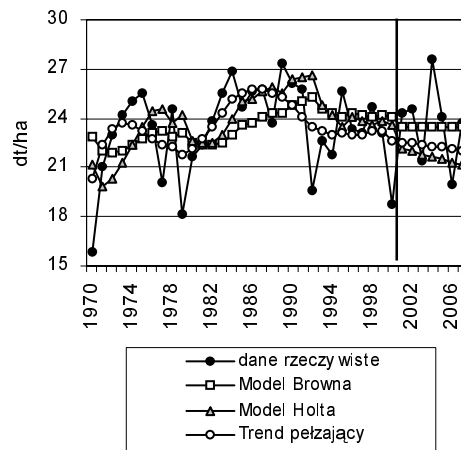
| Rodzaj funkcji            | Błędy <i>ex-post</i> (lata 1970-2000) |      |          | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|---------------------------|---------------------------------------|------|----------|---------------------------------------|------|----------|
|                           | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy             | 2,61                                  | 2,11 | 9,69     | 2,38                                  | 1,73 | 7,70     |
| Model: podwójna hiperbola | 2,34                                  | 1,96 | 8,70     | 2,30                                  | 1,67 | 7,36     |
| Model Browna              | 2,74                                  | 2,18 | 10,08    | 2,29                                  | 1,80 | 7,76     |
| Model Holta               | 2,74                                  | 2,09 | 9,78     | 2,98                                  | 2,53 | 10,24    |
| Trend pełzający           | 1,89                                  | 1,47 | 6,80     | 2,62                                  | 2,28 | 9,39     |

Źródło: opracowanie własne.

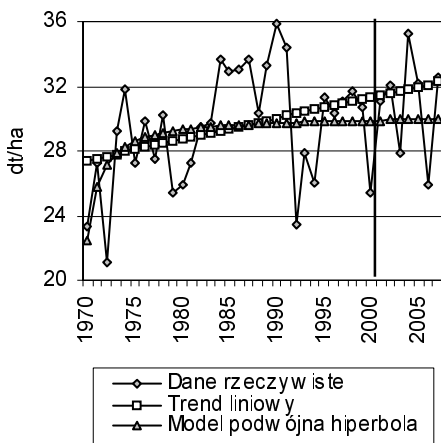
MAPE) zestawione w tabeli 2. Metody te powinny również w przyszłości zapewnić najbardziej trafne prognozy. Konfrontując jednak przygotowaną na lata 2001-2007 prognozę z danymi rzeczywistymi i obliczając na tej podstawie błędy *ex-post* należy stwierdzić, iż metody adaptacyjne w tym przypadku dały bardzo słabe rezultaty. Najmniejsze błędy uzyskano dla modelu liniowego, nieco większe natomiast dla funkcji potęgowej. W przypadku żyta najmniejszymi odchyleniami od rzeczywistego rozkładu plonów w okresie retrospekcji charakteryzował się trend pełzający (tab. 3). Nieznacznie wyższymi błędami odznaczał się trend o postaci funkcji podwójnej hiperboli. Ta funkcja okazała się również najlepiej dopasowaną w okresie prognozowania (dwa spośród trzech branych pod uwagę błędów między plonami prognozowanymi na lata 2001-2007 a rzeczywistymi osiągniętymi były w przypadku tej funkcji najniższe). Nieco większe rozbieżności zaobserwowano w przypadku modelu trendu liniowego i modelu Browna. Oceny dopasowania poszczególnych rodzajów funkcji można dokonać analizując wykresy ich rozkładu. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono teoretyczne (wynikające z dobranych funkcji) i faktycznie odnotowane plony żyta. Pionowymi liniami oddzielono okres prognozy od danych szeregów czasowych użytych do jej sporządzenia. Okres weryfikacji prognozy to lata 2001-2007.



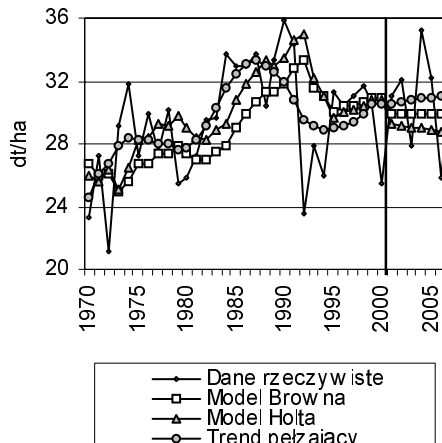
Rysunek 4. Rzeczywiste plony żyta w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 uzyskana metodami ekstrapolacji trendu  
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 5. Rzeczywiste plony żyta w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 uzyskana metodami adaptacyjnymi  
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 6. Rzeczywiste plony jęczmienia w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 uzyskana metodami ekstrapolacji trendu  
 Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 7. Rzeczywiste plony jęczmienia w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 uzyskana metodami ekstrapolacji trendu  
 Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Porównanie błędów prognoz jęczmienia w Polsce dla wybranych metod

| Rodzaj funkcji           | Błędy <i>ex-post</i> (lata 1970-2000) |      |          | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|--------------------------|---------------------------------------|------|----------|---------------------------------------|------|----------|
|                          | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy            | 3,31                                  | 2,64 | 9,38     | 3,05                                  | 2,10 | 7,34     |
| Model podwójna hiperbola | 3,14                                  | 2,59 | 9,05     | 3,07                                  | 2,79 | 9,06     |
| Model Browna             | 3,56                                  | 2,82 | 10,03    | 3,07                                  | 2,79 | 9,06     |
| Model Holta              | 3,47                                  | 2,59 | 9,52     | 3,51                                  | 3,17 | 10,01    |
| Trend pełzający          | 2,50                                  | 1,95 | 7,05     | 2,91                                  | 2,41 | 8,08     |

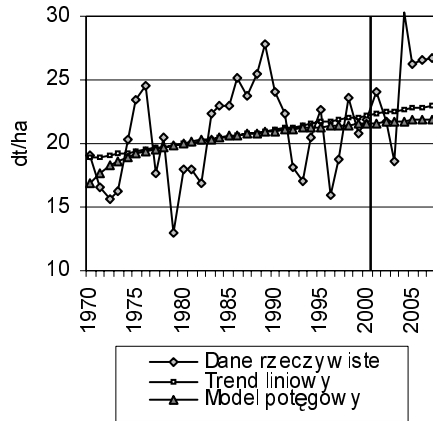
Źródło: opracowanie własne.

Podobną procedurę, jak w przypadku poprzednich roślin, przeprowadzono również dla plonów jęczmienia. Z analizy graficznej wynika, iż średni plon jęczmienia podlegał w analizowanym czasie dość wyraźnym wahaniom, przy czym od roku 1994 zaznaczała się wyraźna tendencja wzrostowa (rys. 6 i 7). Jest więc uzasadnione stosowanie zarówno metod ekstrapolacyjnych, jak również adaptacyjnych, które przy mało regularnym zachowaniu zjawiska w czasie powinny lepiej wyeliminować wpływ czynników losowych.

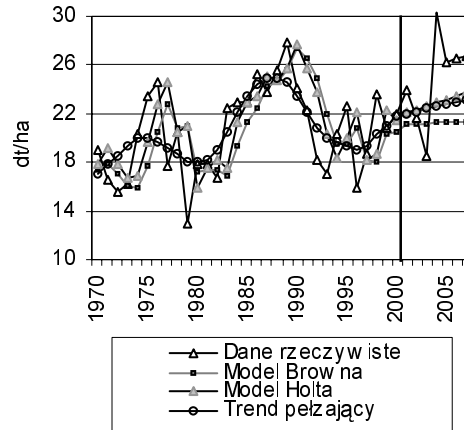
W przypadku jęczmienia, podobnie jak dla plonów żyta, najlepszym dopasowaniem w okresie poprzedzającym prognozę cechował się model podwójnej hiperboli oraz trendu pełzającego (tab. 4). Ten ostatni, obok modelu liniowego pozwolił na uzyskanie najlepiej dopasowanej prognozy. Model podwójnej hiperboli, pomimo dobrego dopasowania do danych rzeczywistych z lat 1970-2000 dawał prognozę o dość dużych błędach, co oznacza, że zastosowanie tej metody na podstawie danych z przeszłości wcale nie zapewnia przygotowania możliwie najlepszej prognozy.

Rozkład plonów rzepaku w latach 1971-2007 (rys. 8, 9), podobnie jak w przypadku niektórych zbóż cechowała duża nieregularność. Powoduje to trudności w doborze funkcji trendu, jak również niekorzystnie wpływa na dopasowanie funkcji do danych rzeczywistych.





Rysunek 8. Rzeczywiste plony rzepaku w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 wykonana metodą ekstrapolacji trendu liniowego i modelu potęgowego. Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 9. Rzeczywiste plony rzepaku w latach 1970-2007 oraz prognoza wygasła na lata 2001-2007 wykonana metodami adaptacyjnymi: modelem Browna, modelem Holta i trendem pelzającym. Źródło: opracowanie własne.

stych. Zastosowanie w takiej sytuacji prostych metod ekstrapolacyjnych nie przynosi zazwyczaj oczekiwanych rezultatów. Uzyskanie najmniejszych błędów gwarantowały w tym przypadku metody adaptacyjne: równania wykładniczego Holta oraz trendu pelzającego (tab. 5). Poza weryfikacją matematyczną, skonstruowaną prognozę należy poddać także weryfikacji merytorycznej. Rozważenia wymaga przede wszystkim pytanie: czy wyniki prognozy spełniają oczekiwania, co do kierunku zmian, wynikające z wiedzy eksperckiej lub analizy mechanizmów kształtowania się modelowanego zjawiska. Analiza graficzna szeregu czasowego dla żyta (rys. 4, 5) wskazuje na znaczne wahania plonów tej rośliny w analizowanym okresie czasu. Do początku lat dziewięćdziesiątych można obserwować dość wyraźny trend rosnący, podczas gdy w następnych latach zjawisko to uległo zahamowaniu, a plony znacząco obniżyły się w stosunku do drugiej połowy lat osiemdziesiątych. Mając na uwadze niski poziom plonowania zbóż w Polsce i wynikające z tego znaczące rezerwy podnoszenia wydajności produkcji roślinnej można by przypuszczać, iż plony żyta, podobnie jak innych zbóż powinny rosnąć. Grontkowska [2005] podaje, że średnie plony żyta w latach 2000-2003 kształtowały się zaledwie na poziomie 35% wysokości plonów uzyskiwanych w doświadczeniach polowych. Również [Kuś, Krasowicz 2004] podkreślają, że potencjał glebowy oraz klimatyczny Polski pozwala na znaczne zwiększenie plonów. Prognozy plonów żyta na lata 2001-2007 z wykorzystaniem metody trendu pelzającego oraz modelu Holta

Tabela 5. Porównanie błędów prognoz rzepaku w Polsce dla wybranych metod

| Rodzaj funkcji  | Błędy <i>ex-post</i> (lata 1970-2000) |      |          | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|-----------------|---------------------------------------|------|----------|---------------------------------------|------|----------|
|                 | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy   | 3,35                                  | 2,86 | 14,61    | 4,08                                  | 3,55 | 13,97    |
| Model potęgowy  | 3,29                                  | 2,83 | 14,35    | 4,67                                  | 4,00 | 15,36    |
| Model Browna    | 3,56                                  | 2,81 | 14,40    | 5,03                                  | 4,37 | 16,68    |
| Model Holta     | 3,31                                  | 2,61 | 13,79    | 3,85                                  | 3,32 | 13,13    |
| Trend pelzający | 2,27                                  | 1,79 | 9,36     | 4,07                                  | 3,52 | 13,79    |

Źródło: opracowanie własne.

zakładają dość wyraźny spadek plonów, należałoby więc uznać je za niezgodne z oczekiwaniami oraz wiedzą fachową. Mając jednak na uwadze malejące znaczenie żyta w strukturze zasiewów oraz ogólne tendencje związane z wykorzystaniem tej rośliny można by oczekiwać, iż prognozy na lata 2000-2007 nie powinny zakładać istotnego wzrostu plonów. Zarówno z analizy graficznej, jak również analizy błędów prognozy (tab. 2), wynika, iż najlepsze wyniki zapewnił model funkcji podwójnej paraboli oraz nieco gorsze funkcja trendu liniowego. Modele te wskazywały jedynie na nieznaczny wzrost poziomu plonowania, co należałoby uznać za zgodne z merytorycznymi oczekiwaniami.

W przypadku pozostałych roślin, tj. pszenicy, jęczmienia i rzepaku większość prognoz wskazywała na dość wyraźny trend rosnący, co wobec zwiększającego się znaczenia tych upraw w strukturze zasiewów i niewykorzystanego potencjału plonotwórczego można uznać za prawidłowe odzwierciedlanie kierunku zmian.

#### PROGNOZY PLONÓW WYBRANYCH ROŚLIN NA LATA 2008-2014

Drugim celem opracowania jest sporządzenie oraz porównanie wyników prognoz plonowania kilku roślin na lata 2008-2014 otrzymanych różnymi metodami. W prognozowaniu bardzo istotnym zagadnieniem jest dopuszczalność prognoz. „Prognozę należy uznać za dopuszczalną jeżeli jest obdarzona przez jej odbiorcę stopniem zaufania wystarczającym do tego aby mogła być wykorzystana do tego celu, dla którego została ustalona” [Cieślak 1997]. Przy ocenie dopuszczalności prognoz wykorzystano analizę błędów *ex-post*, zaś prognozę uznano za dopuszczalną, gdy wartość średniego bezwzględnego błędu procentowego (MAPE) była mniejsza niż 15%. W prognozowaniu zjawisk gospodarczych często zakłada się pięcioprocentowy błąd prognoz, jednak przy prognozowaniu plonów roślin, ze względów na dużą zmienność tego zjawiska, prognozy można uznać za dopuszczalne przy wyższym poziomie błędów. Przyjęcie granicznej wielkości błędu MAPE równej 15% wydaje się uzasadnione, gdyż plony badanych zbóż w okresie retrospekcji cechowały się stosunkowo dużą zmiennością. Współczynnik zmienności wahał się od około 11% dla jęczmienia i żyta do ponad 18% dla rzepaku. W opracowaniu wykorzystano również analizę błędów prognoz wygasłych, przyjmując założenie, iż metody dające dobre wyniki w odniesieniu do prognoz wygasłych powinny dać również zadawalające wyniki dla nowych prognoz.

Na rysunku 10 przedstawiono rzeczywiste (lata 1970 -2007) i teoretyczne plony pszenicy oraz prognozę na lata 2008-2014. Z merytorycznego punktu widzenia wszystkie metody dają akceptowalne wyniki. Przedstawione modele, z wyjątkiem funkcji potęgowej zakładają bardzo podobny przebieg zjawiska.

Tabela 6. Wyniki prognoz plonów pszenicy oraz ich błędów przy użyciu różnych metod

| Rodzaj funkcji  | Prognoza 2014 [dt/ha] | Przyrost w stosunku do roku 2007 [%] | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------|----------|
|                 |                       |                                      | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy   | 40,2                  | 4,92                                 | 3,04                                  | 2,60 | 7,85     |
| Model potęgowej | 37,4                  | 1,89                                 | 2,93                                  | 2,51 | 7,57     |
| Model Holta     | 39,7                  | 7,27                                 | 3,21                                  | 2,56 | 7,80     |
| Model Browna    | 39,7                  | 7,73                                 | 3,34                                  | 2,69 | 8,11     |
| Trend pełzający | 40,4                  | 4,85                                 | 2,17                                  | 1,75 | 5,31     |

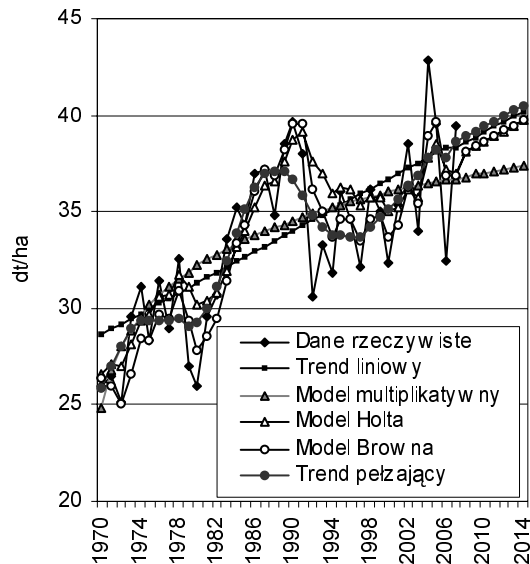
Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 6 przedstawiono średnie błędy prognoz *ex-post* (wynikające z rzeczywistych i teoretycznych wysokości plonów z lat 1970-2007), które potwierdzają dość dobre dopasowanie wybranych metod. Wyniki wskazują, iż w badanym okresie prognostycznym plony pszenicy powinny wzrosnąć w granicach 5-7%. Prognozę taką można uznać za dopuszczalną. Najmniejszy przyrost (1,89%) zakłada model funkcji potęgowej, jednak mając na uwadze względy merytoryczne (zmiany w rolnictwie, tendencje na rynku zbóż itd.) można zakładać, iż tak nieznaczna zmiana jest mało realna.

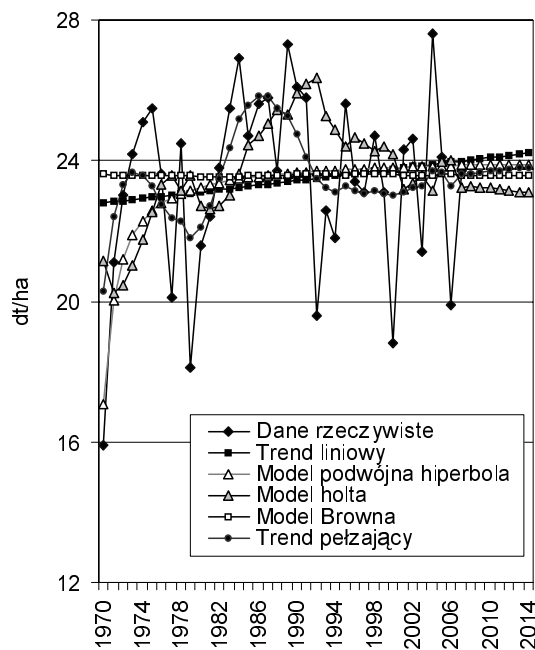
Plony żyta w ostatnim trzydziestolecu cechowały się stosunkowo dużą amplitudą wahań, co wpływa na słabą jakość dopasowania modeli prognostycznych do danych rzeczywistych (rys. 11).

Na podstawie analizy merytorycznej badanych funkcji można wnioskować, iż ich przebieg jest prawidłowy, a uzyskane prognozy są dopuszczalne. Najmniejszymi błędami *ex-post* charakteryzuje się funkcja trendu pełzającego (tab. 7), nieco gorsze dopasowanie daje model podwójnej hiperboli.

Wyniki prognoz plonów żyta na rok 2014 we wszystkich modelach są bardzo zbliżone. Z badań wynika, iż mogą one w okresie 2008-2014 wzrosnąć maksymalnie o 0,94%, jednak możliwe jest również zmniejszenie średnich plonów o 0,57% (wg modelu Holta). Eliminując metody wykazujące najwyższe błędy *ex-post* należy spodziewać się nieznacznego przyrostu plonów na poziomie od 0,17% (model podwójnej hiperboli) do 0,94% (trend liniowy) w stosunku do roku 2007, co oznacza praktycz-



Rysunek 10. Rzeczywiste oraz oszacowane na lata 2008-2014 plony pszenicy w Polsce  
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 11. Rzeczywiste oraz oszacowane na lata 2008-2014 plony żyta w Polsce  
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Wyniki prognoz plonów żyta oraz ich błędów przy użyciu różnych metod

| Rodzaj funkcji           | Prognoza 2014 [dt/ha] | Przyrost w stosunku do roku 2007 [%] | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------|----------|
|                          |                       |                                      | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy            | 24,2                  | 0,94                                 | 2,56                                  | 2,03 | 9,22     |
| Model podwójna hiperbola | 23,9                  | 0,17                                 | 2,34                                  | 1,92 | 8,50     |
| Model Holta              | 23,1                  | - 0,57                               | 2,71                                  | 2,12 | 9,73     |
| Model Browna             | 23,6                  | 0,00                                 | 2,60                                  | 1,99 | 9,18     |
| Trend pełzający          | 23,8                  | 0,85                                 | 1,97                                  | 1,52 | 7,0      |

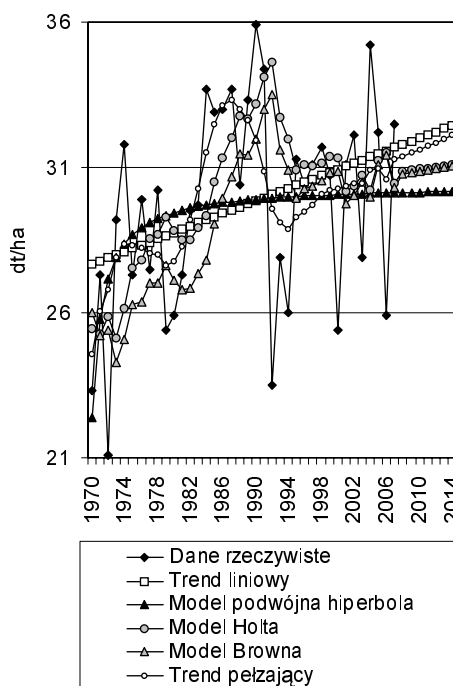
Źródło: opracowanie własne.

nie brak zmian w wysokości plonów tej rośliny.

Odnosnie plonów jęczmienia należy stwierdzić, iż przebieg oszacowanych funkcji prognostycznych jest zgodny z wiedzą zdroworoządkową (rys. 12). W zależności od zastosowanej metody prognozowany wzrost plonów waha się od 0,15 do 2,63%.

Najmniejszymi błędami prognoz *ex-post* charakteryzują się modele trendu pełzającego oraz podwójnej hiperboli, można więc przypuszczać, iż dadzą one najdokładniejsze prognozy (tab. 8). Na uwagę zasługuje również model trendu liniowego, który bardzo dobrze sprawdził się w szacowaniu prognoz wygasłych na lata 2000-2007. Również w tym przypadku prognozy należy uznać za dopuszczalne. Można więc spodziewać się w roku 2014 średnich plonów jęczmienia na poziomie około 32 dt/ha.

W plonach rzepaku w okresie 1970-2007 obserwowano dość duże wahania. Począwszy od roku 1996 plony charakteryzują się jednak wyraźnym trendem wzrostowym (rys.



Rysunek 12. Rzeczywiste oraz oszacowane na lata 2008-2014 plony jęczmienia w Polsce

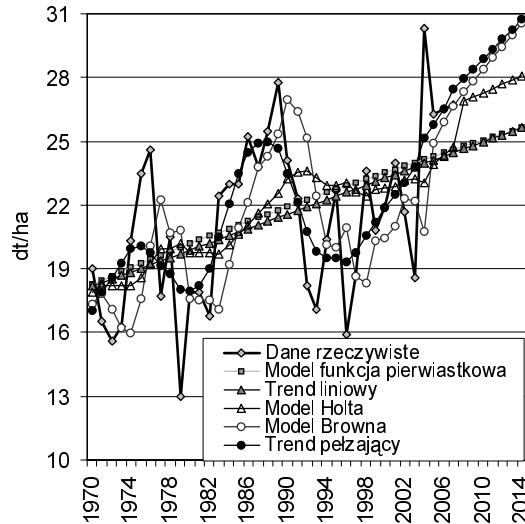
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8. Wyniki prognoz plonów jęczmienia oraz ich błędów przy użyciu różnych metod

| Rodzaj funkcji           | Prognoza 2014 [dt/ha] | Przyrost w stosunku do roku 2007 [%] | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------|----------|
|                          |                       |                                      | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy            | 32,43                 | 2,39                                 | 3,25                                  | 2,58 | 9,09     |
| Model podwójna hiperbola | 30,17                 | 0,15                                 | 3,10                                  | 2,58 | 8,95     |
| Model Holta              | 31,08                 | 2,12                                 | 3,44                                  | 2,60 | 9,36     |
| Model Browna             | 31,02                 | 2,37                                 | 3,56                                  | 2,89 | 10,10    |
| Trend pełzający          | 32,09                 | 2,63                                 | 2,52                                  | 2,00 | 7,1      |

Źródło: opracowanie własne.

13). Analiza błędów *ex-post* potwierdza wskazywaną w literaturze prawidłowość, iż przy dużych wahaniami przypadkowych większą przydatnością cechują się metody adaptacyjne. Metody Browna oraz trendu pełzającego w większym stopniu uwzględniają zmiany wielkości ostatnich obserwacji, co przy dłuższych szeregach czasowych jest bardzo pożądane. Wziąwszy pod uwagę, iż metody te cechują stosunkowo niskie błędy *ex-post* (tab. 9) można przypuszczać, iż dadzą one dość trafne prognozy. Błędy prognoz MAPE są na poziomie pozwalającym uznać prognozę za dopuszczalną. Na tej podstawie można wnioskować, iż plony rzepaku w roku 2014 powinny wynieść około 30 dt/ha.



Rysunek 13. Rzeczywiste oraz oszacowane na lata 2008-2014 plony rzepaku w Polsce  
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Wyniki prognoz plonów rzepaku oraz ich błędów przy użyciu różnych metod

| Rodzaj funkcji              | Prognoza 2014 [dt/ha] | Przyrost w stosunku do roku 2007 [%] | Błędy <i>ex-post</i> (lata 2001-2007) |      |          |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------|----------|
|                             |                       |                                      | RMSE                                  | MAE  | MAPE [%] |
| Trend liniowy               | 25,64                 | 4,16                                 | 3,41                                  | 2,90 | 14,36    |
| Model funkcja pierwiastkowa | 25,65                 | 4,86                                 | 3,42                                  | 2,87 | 14,42    |
| Model Holta                 | 28,08                 | 13,57                                | 3,51                                  | 2,94 | 14,67    |
| Model Browna                | 30,54                 | 14,64                                | 3,66                                  | 2,76 | 13,49    |
| Trend pełzający             | 30,72                 | 11,87                                | 2,39                                  | 1,85 | 9,32     |

Źródło: opracowanie własne.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Prognozowanie procesów gospodarczych jest jednym ze sposobów poznawania przyszłości. Jego podstawową rolą jest ułatwienie podejmowania decyzji, a ich jakość (trafność) w bezpośredni sposób zależy od przygotowanej prognozy. Przeprowadzone badania wykazały, że nie istnieje jedna, uniwersalna metoda prognozowania, nawet dla zjawisk charakteryzujących się dużym podobieństwem (jak np. plonowanie podobnych gatunków roślin). Dobór odpowiedniej metody prognozowania opartej na szeregach czasowych musi być poprzedzony fazą poszukiwania postaci analitycznej funkcji w możliwie najlepszy sposób opisującej dopasowanie rzeczywistych danych do modelu. Kryterium jakości dopasowania mogą być zarówno różne rodzaje błędów, jak również ocena graficzna przebiegu funkcji prognozy. Jednak nawet dobre dopasowanie funkcji do danych rzeczywistych w przeszłości nie gwarantuje, że prognoza będzie prawdziwa. Niezbędne jest skonfrontowanie wyników rozwiązań matematycznych z wiedzą zdroworozsądkową i opiniami eksperckimi.

Jednym ze sposobów oceny trafności różnych metod prognozowania jest (mające formę eksperymentu) stworzenie prognozy *ex-post* i porównanie informacji rzeczywistych z danymi pochodzącymi z tej prognozy. W przeprowadzonych analizach okazało się, że najmniejsze różnice między danymi rzeczywistymi a prognozowanymi w przypadku plonów pszenicy dały metody ekstrapolacyjne (model liniowy i potęgowy), a także model trendu pełzającego z wagami harmonicznymi (z grupy metod adaptacyjnych). Podobnie było w przypadku jęczmienia – najmniejsze różnice między rzeczywistymi danymi a teoretycznymi gwarantowały metody ekstrapolacji trendu oraz metoda trendu pełzającego. Ta ostatnia okazała się najlepsza również w przypadku prognozy żyta. Metody adaptacyjne (trendu pełzającego oraz Holta) okazały się natomiast najbardziej trafne w prognozowaniu plonów rzepaku, chociaż błędy były tu dość znaczne. Podkreślenia wymaga fakt, iż w większości przeprowadzonych analiz jedną z najlepszych okazywała się metoda trendu pełzającego z wagami harmonicznymi, jednak ten sposób prognozowania według literatury zalecany jest głównie do tworzenia prognoz krótkoterminowych (np. 3-letnich). Uzyskanie wyników wskazuje jednak, że metoda ta może być również przydatna w prognozach o nieco dłuższym okresie projekcji. Decyzja o zastosowaniu danej metody, zarówno w tym, jak i w innych przypadkach powinna być poparta merytoryczną znajomością zagadnienia i weryfikacją otrzymanych wyników.

Zbudowane przy pomocy różnych metod prognozy plonów pszenicy, żyta, jęczmienia wskazują na względnie niewielki ich przyrost w perspektywie roku 2014. Nieco większe zmiany prognozuje się w przypadku rzepaku (do kilkunastu procent). Należy podkreślić, że skonstruowane prognozy, oparte o szeregi czasowe, nie uwzględniają możliwych do zaistnienia w przyszłości zmian różnych czynników otoczenia, które mogą w znacznym stopniu modyfikować przewidywane wielkości.

## LITERATURA

- Agencja Rynku Rolnego. 2008: Rynek zbóż w Polsce. Materiały dostępne on-line: [[http://www.arr.gov.pl/data/00321/rynek\\_zboz\\_pl.pdf](http://www.arr.gov.pl/data/00321/rynek_zboz_pl.pdf). Dostęp z dnia 20 lipca 2008].
- Błoch Z. 1999: Prognozowanie plonów zbóż metodami adaptacyjnymi. *Pamiętnik Pulawski* – Materiały konferencyjne, z. 114.
- Cieślak M. 2004: Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. PWN, Warszawa.
- Cieślak M. (red.) 1997: Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. PWN, Warszawa.
- Gajda J.B. 2001: Prognozowanie i symulacja a decyzje gospodarcze. Wydawnictwo C.H.Beck, Warszawa.
- Dittmann P. 2008: [[http://www.wiedza.info.pl/wyklady/111/prognozowanie\\_w\\_przedsiębiorstwie.html](http://www.wiedza.info.pl/wyklady/111/prognozowanie_w_przedsiębiorstwie.html). Dostęp z 4.11.2008].
- Guzik B., Appenzeller D., Jurek W. 2005: Prognozowanie i symulacje. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- Kuś J., Krasowicz S. 2004: Stan aktualny i perspektywy produkcji zbóż w Polsce w świetle badań środowiskowych i technologicznych. *Zag. Ek. Rol.*, z. 3, 25-43.
- Krasowicz S., Filipiak K. 1996: Ekonometryczne metody oceny trendów czynników produkcji i plonów. Zeszyt 339. IUNG, Puławy.
- Grontkowska A. 2005: Plonowanie zbóż w doświadczeniach polowych i w praktyce gospodarczej w latach 1970-2003. *Roczniki Naukowe SERiA*, tom VII, z. 1.
- Stańko S. 2006: Prognozowanie. Materiały do zajęć MBA. Zarządzanie w agrobiznesie. SGGW, Warszawa.
- Zeliaś A. (red.) 1997: Przestrzenno-czasowe modelowanie i prognozowanie zjawisk gospodarczych. Materiały z XVIII Ogólnopolskiego Seminarium Naukowego zorganizowanego przez Zakład Teorii Prognoz Katedry Statystyki Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Akademia Ekonomiczna w Krakowie.

Zeliaś A. (red.) 2005: Przestrzenno-czasowe modelowanie i prognozowanie zjawisk gospodarczych. Materiały z XXVI Ogólnopolskiego Seminarium Naukowego zorganizowanego przez Zakład Teorii Prognoz Katedry Statystyki Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Akademia Ekonomiczna w Krakowie. Zakopane 20-23 IV 2004.

*Wojciech Sroka, Piotr Sulewski, Urszula Kocielska*

#### EVALUATION OF SELECTED METHODS FOR PLANT'S FORECASTING

##### Summary

The aim of this study was a comparison of different forecasting methods of wheat, rye, barley and oilseed rape yields and a construction of a forecast for Poland. The prediction period includes the 2008-2014 years. The forecasts were generated on a set of the yearly time series of the yields of mentioned plants in the 1970-2007 period. The forecasting methods which were used in this research are: trend extrapolation methods and adaptative methods. The accuracy of forecasts was verified in retrospect by forecasting errors, graphical analysis and by preparing „forecast in the past”.

Adres do korespondencji:

mgr inż. Wojciech Sroka

Wydział Rolniczo-Ekonomiczny Uniwersytetu Rolniczego

Al. Mickiewicza 21

31-120 Kraków

tel. (0 12) 662 43 54

e-mail: [wsroka@ar.krakow.pl](mailto:wsroka@ar.krakow.pl)

dr inż. Piotr Sulewski

Wydział Nauk Ekonomicznych SGGW

ul. Nowoursynowska 166

02-787 Warszawa

e-mail: [piotr\\_sulewski@sggw.pl](mailto:piotr_sulewski@sggw.pl)