

O DŁUGOTERMINOWYCH PROGNOZACH PRODUKCJI FARMY WIATROWEJ

Autor: Tomasz Szuster

Warszawa, 25 listopada 2013



1. WPROWADZENIE

Przez pojęcie „prognoza długoterminowa produkcji” (dalej „prognoza produkcji”) rozumie się prognozę wielkości produkcji średniej rocznej w określonym przedziale czasu (horyzoncie czasowym) nie mniejszym niż rok. Prognoza taka jest potrzebna przede wszystkim:

- na etapie projektowania farmy,
- w okresie eksploatacji, bo odbiorca energii wymaga deklaracji produkcji w różnym horyzoncie czasowym.

W niniejszej notatce wyjaśniono niektóre elementy standardowej procedury prognozowania, przytoczono wyniki pozwalające ocenić znaczenie horyzontu czasowego prognozy i prawdopodobieństwa jej przewyższenia na produkcję.

2. KILKA UWAG NA POCZĄTEK

2.1.1. PROGNOZA NIGDY NIE JEST PEWNA – JEST PRAWDOPODOBNA

Wszystkie elementy składające się na procedurę prognozowania produkcji są obciążone niepewnościami (*niepewnościami cząstkowymi*). Niepewnością obciążone są zarówno pomiary, jak i dane referencyjne, modele obliczeniowe i krzywe mocy, a także przyjmowane założenia. Znaczy to, że wartość żadnej wielkości, wyznaczana z największą nawet starannością, nie jest wartością ścisłą, lecz jedynie prawdopodobną. Niepewności cząstkowe, przy założeniu, że są wzajemnie niezależne i są skutkiem błędów przypadkowych, po zsumowaniu dają niepewność całkowitą, z jaką wyznaczono wartość wielkości prognozowanej.

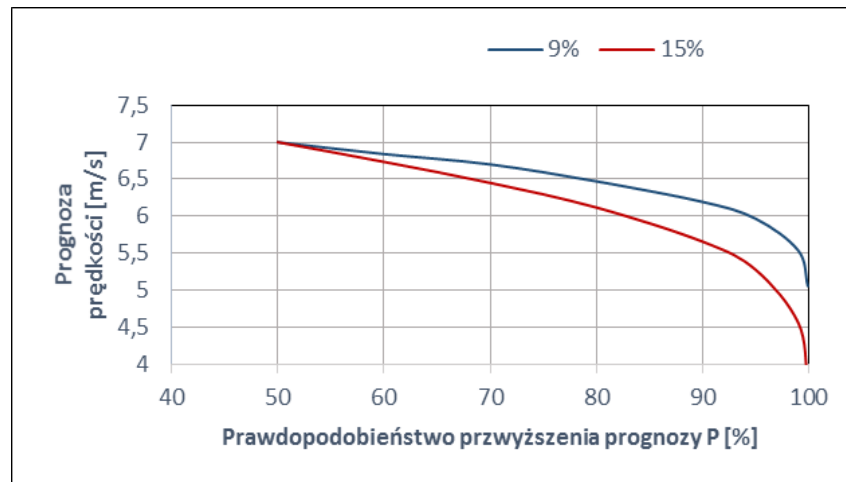
Przyjmuje się, że nominalna wartość prognozy jest wyznaczana z 50% prawdopodobieństwem jej przewyższenia w rzeczywistości. Jest to prognoza wieloletnia o horyzoncie wykraczającym poza projektowy okres eksploatacji elektrowni¹.

Przykład: jeśli wyznaczono prędkość średnią długoterminową równą 7m/s to znaczy, że istnieje 50% prawdopodobieństwo tego, że prędkość rzeczywista wynosi nie mniej niż 7m/s. Taką prognozę zapisujemy: $V=7\text{m/s}$ przy $P(50)$. $P(xx)$ jest standardowym oznaczeniem prawdopodobieństwa przewyższenia prognozy, w którym xx jest prawdopodobieństwem wyrażonym w procentach. Równoległe z prognozą wyznaczana jest jej niepewność standardowa wyrażana w procentach. Mówimy więc, że niepewność standardowa j prędkości wynosi np. 9%.

Możliwe jest wyznaczenie prognozy prędkości przy innym niż owe $P(50)$ prawdopodobieństwie jej przewyższenia $P(XX)$ ². Ilustruje to **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**, gdzie pokazano zależność między wartością prognozowanej prędkości a poziomem prawdopodobieństwa przewyższenia tej prognozy, przy dwóch wartościach niepewności prognozy: 9% i 15%. Taki zakres niepewności prognoz prędkości średniej długoterminowej można uznać za typowy dla większości projektów w energetyce wiatrowej.

¹Jest to okres uwzględniany w prognozie prędkości średniej długoterminowej; a więc wieloletnie dane referencyjne, tendencji o charakterze globalnym itd.

² Przy założeniu, że rozkład gęstości prawdopodobieństwa prędkości jest normalny (gaussowski), lub generalnie - znany



Rys. 1 Prognoza prędkości wiatru przy różnym prawdopodobieństwie jej przewyższenia i różnych niepewnościach standardowych – 9 i 15% (przykład).

Żądanie prognozy przy wysokim $P(XX)$ wyraża zapotrzebowanie na prognozę, której sprawdzalność ma być dostatecznie wysoka.

2.1.2. OD PROGNOZY PRĘDKOŚCI DO PROGNOZY PRODUKCJI

Kluczem do prognozowania produkcji jest prognoza warunków wiatrowych, zredukowana w tu omawianym zadaniu do prognozy prędkości średniej długoterminowej w referencyjnym punkcie farmy. Do jej wykonania służą zazwyczaj pomiary na miejscu oraz wieloletnie dane referencyjne i statystyczne odnośnie do tendencji wieloletnich o charakterze globalnym. Opracowuje się także statystyczne charakterystyki wiatru, w tym jego rozkłady i charakterystyki kierunkowe. Pole prędkości wiatru na terenie farmy, wyznaczane za pomocą wyspecjalizowanych narzędzi jest „przekładane” za pośrednictwem krzywych mocy elektrowni, przy znanej konfiguracji farmy, na długoterminową prognozę produkcji średniej rocznej farmy przy $P(50)$. Uwzględnia się przy tym straty aerodynamiczne w farmie i inne straty wynikające z warunków eksploatacyjnych.

Wyznaczane są niepewności cząstkowe każdego z elementów procedury i niepewność całkowita prognozy. W Tab.1 przedstawiono bilans niepewności cząstkowych i ich sumę – niepewność całkowitą prognozy długoterminowej. O niepewności prognozy w krótszym horyzoncie – w następnym punkcie.

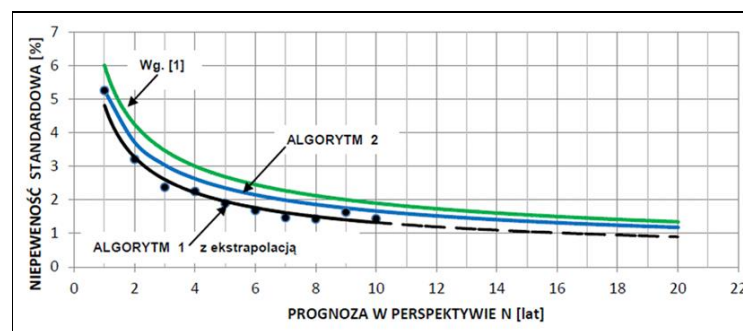
Table 1. Energy yield prediction uncertainty

Uncertainty source	Caused Uncertainty in Wind Speed, [%]	Caused Uncertainty in Energy, [%]
Wind measurements		
Anemometer calibration	0.7	1.3
Anemometer dynamic characteristics	0.8	1.5
Data availability	0.0	0.0
Data acquisition system	0.0	0.0
Representativeness of wind data	3.5	6.4
Long-term Correlation	2.8	5.1
Vertical extrapolation	4.0	7.4

Mean wind speed distribution over wind farm		
Wind flow model, area size	3.0	5.5
Terrain relief and roughness	1.5	2.8
Wind farm performance		
Power curve uncertainty	-	7.0
Wake loss modeling	-	3.0
Air density difference	-	1.0
Overall uncertainty:	-	14.9

2.1.3. DLACZEGO PROGNOZA NA KRÓTSZY OKRES JEST GORSZA NIŻ DŁUGOTERMINOWA?

Prognoza produkcji wyznaczona na podstawie prędkości średniej długoterminowej – to średnia produkcja roczna w okresie nie krótszym niż ten, z którego wyznaczono tę prędkość. Prędkość średnia w dowolnej części tego okresu jest nieznaną. Najprawdopodobniej będzie ona różna od średniej długoterminowej, i to tym wyraźniej, im okres ten jest krótszy. Ilustruje to rys. 2, na którym pokazano realny rozkład prędkości średnich rocznych w okresie 20 lat oraz prędkość średnią z tego okresu (średnia długoterminowa). Produkcję w okresie dowolnie ulokowanym w przyszłości (np. rocznym, trzy- czy pięcioletnim) należałoby wyznaczyć na podstawie średniej prędkości w tym okresie. Nie ma jednak metody na jej wyznaczenie, dlatego przyjęto podejście następujące: wprawdzie stosuje się prędkość średnią długoterminową, ale z korektą w postaci dodatkowej niepewności prognozy prędkości (*ang.*: „*inter-annual variability uncertainty*”). Poziom tej niepewności zależy od długości okresu, dla którego wykonuje się prognozę.



Rys.2 Niepewność prognozy średniej prędkości wiatru w okresie N lat, z uwzględnieniem zmienności prędkości wiatru „z roku na rok”

Niepewność tę wyznaczaną różnymi metodami statystycznymi pokazano na rys. 2: linią zieloną wyróżniono powszechnie stosowany model³.

Konsekwencja stosowania opisanego podejścia jest następująca: przyjmijmy, że jest wyznaczona produkcja średnia długoterminowa z prawdopodobieństwem P(50); prognoza jest obciążona niepewnością, skutkiem czego jej wartość będzie różna przy różnych poziomach przewyższenia P(XX) (por. p.2.1.1). Jest to prognoza długoterminowa bez określonego/ograniczonego horyzontu czasowego.

³ Jest to związek: $niepewność = \frac{6}{\sqrt{N}}$ [%]; Pozostałe krzywe odnoszą się do algorytmów opracowanych w ENERPARK-u, a nawiązujących do realnych, lokalnych warunków wiatrowych.

W celu wyznaczenia produkcji w arbitralnie wybranym okresie/horyzoncie czasowym⁴ do niepewności produkcji długoterminowej należy dodać niepewność prognozy produkcji wynikającą z ograniczonego horyzontu czasowego. Oblicza się ją z niepewności prędkości średniej w tym okresie (por. rys. 2) zgodnie z procedurą przejścia od niepewności prędkości do niepewności produkcji (por. P. 2.1.2).

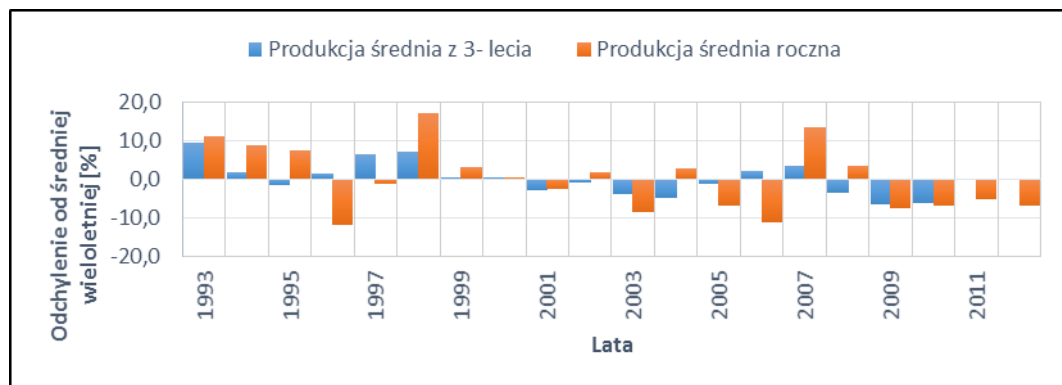
Uwaga: Nie ma znaczenia ulokowanie w przyszłości przedziału czasu, dla którego chcemy wyznaczyć prognozę; ważna jest jedynie jego długość (horyzont czasowy). Prognozy produkcji w dwóch okresach: 3-letnim liczonym od jutra oraz wyznaczanym na trzy ostatnie lata eksploatacji farmy będą więc takie same!

A oto ilustracja tego problemu. Z realnych danych w okresie 20 lat wyznaczono:

- prędkość i produkcję średnią w dwudziestoleciu (wieloletnie),
- ciąg prędkości i produkcji średnich rocznych,
- ciąg prędkości i produkcji średnich trzyletnich,
- odchyłki ciągów rocznych i trzyletnich od średnich wieloletnich.

Fluktuację produkcji średniej rocznej i trzyletniej względem średniej wieloletniej pokazano na rys. 3, a statystyki tych rozkładów podano w tab. 2.

UWAGA: na rys.3 pokazano produkcję wyliczona „a posteriori”, więc na podstawie prędkości już znanych. Nie ma to związku z prognozą, czyli wyznaczaniem produkcji „a priori”, na podstawie prognozowanych/domniemych warunków. Prognozowanie nie pozwala na przewidzenie „ile w którym z lat” a jedynie statystycznie „ile z jaką niepewnością”.



Rys. 3 Fluktuacja produkcji średniej: rocznej i 3-letniej względem średniej długoterminowej

Tabela 2. Statystyki rozkładu odchyłeń prędkości i produkcji od średnich wieloletnich

Wielkość		Średnia	Odch. Std.	Maksymalna	Minimalna
Prędkość, [m/s]		6,55	0,25	7,05	6,20
Odchylenia od średniej długoterminowej	Prędkości rocznej, [%]	0	3,7	7,51	-5,26
	Produkcji rocznej, [%]	0	8,35	17,02	-11,81
	Prędk. śr. 3 letniej, [%]	0	1,99	3,98	-2,97
	Produkcji śr.3 let., [%]	0	4,5	9,3	-6,44

⁴ UWAGA: mowa o produkcji rocznej a nie całkowitej w wybranym okresie.



Z przytoczonych wyników widać, że parametry rozkładów odchyłeń prędkości i produkcji w przypadku uśredniania w ciągu trzech lat są ok. 2 x mniejsze niż w przypadku uśredniania jednorocznego. Wynik ten warto porównać z rys. 3.

3. WPŁYW HORYZONTU CZASOWEGO PROGNOZY I PRAWDOPODOBIEŃSTWA JEJ PRZEWYŻSZENIA NA PRODUKCJĘ ŚREDNIOROCZNĄ.

Analizę wykonano przy dwóch wartościach niepewności całkowitej, z jaką wyznaczana jest prognoza produkcji w wieloleciu: 10% i 15% (por. prawa dolna komórka w tab. 1.1). Są to wartości z zakresu typowego w wielu projektach.

Analizie poddano wpływ na prognozę produkcji – dwóch parametrów:

- horyzontu czasowego prognozy wyrażonego w latach,
- wymaganego poziomu przewyższenia prognozy P(XX)

Niepewność wynikająca ze zmienności prędkości „z roku na rok” jest zdefiniowana wg modelu standardowego (zielona linia na rys.2).

W analizie posłużono się indeksem produkcji średniej rocznej IPR zdefiniowanym następująco:

$$IPR = \frac{PRODUKCJA \text{ ŚREDNIA ROCZNA}}{PRODUKCJA \text{ ŚREDNIA DŁUGOTERMINOWA PRZY } P(50)}$$

Wyniki analizy przedstawiono w formie graficznej. Na rys.4-7 pokazano tam wpływ na IPR:

- horyzontu czasowego prognozy z parametrami P(50), P(90), P(95) i P(99), jako parametrami,
- poziomowi przewyższenia P(XX) z horyzontem prognozy (1,3,5,10,15 lat), jako parametrem.

Jak korzystać z przytoczonych wyników - przykład:

Przyjmując:

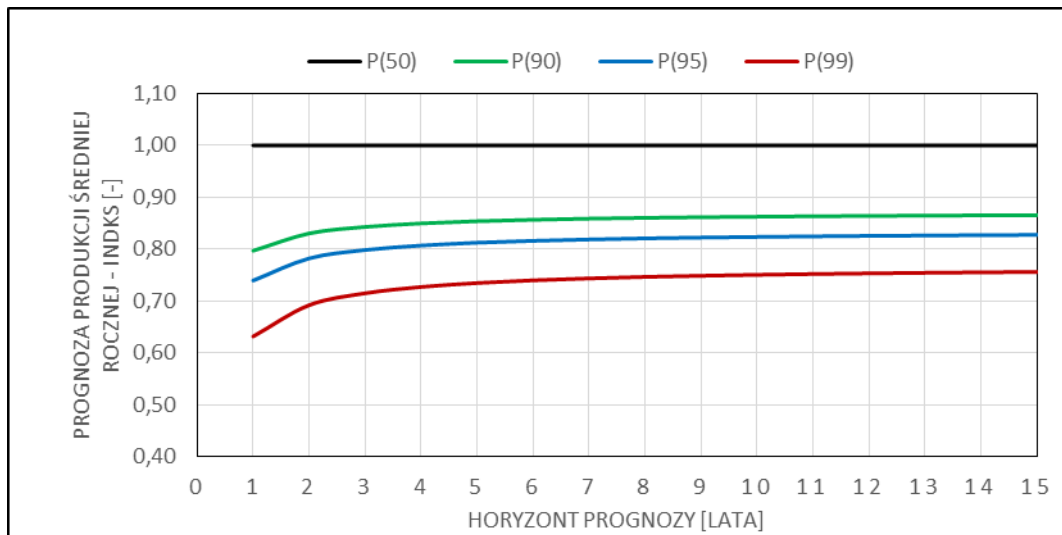
- *horyzont czasowy prognozy - 3 lata,*
- *wymagany poziom prawdopodobieństwa przewyższenia prognozy - P(95),*
- *niepewność prognozy produkcji w wieloleciu - 10%,*

otrzymamy IPR=0,8.

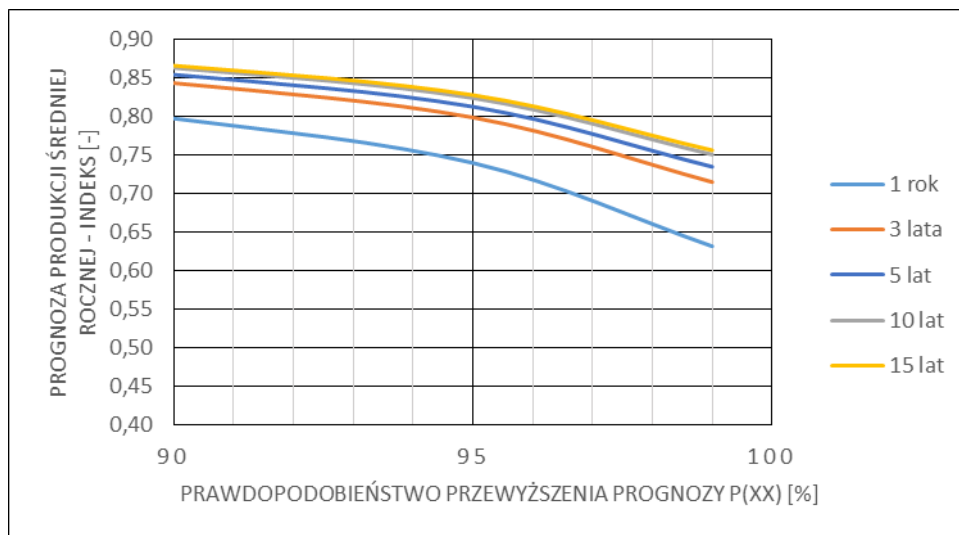
Jeśli produkcja w wieloleciu przy P(50) wynosi 100MWh/rok, prognoza aktualna wynosi 80MWh/rok.



3.1. WYNIKI PRZY NIEPEWNOŚCI PROGNOZY DŁUGOTERMINOWEJ 10%

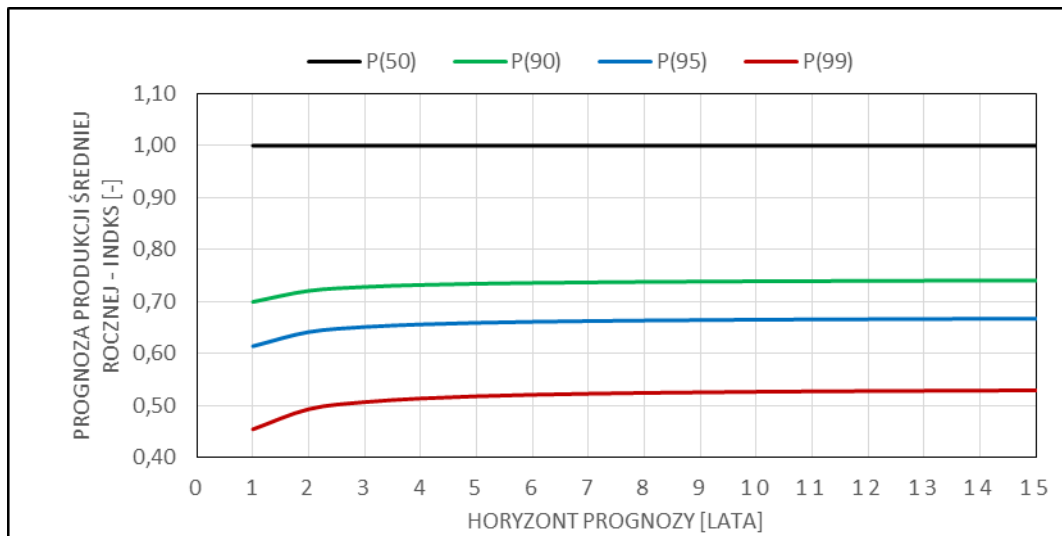


Rys. 4 Wyniki analizy przy niepewności prognozy długoterminowej równej 10%

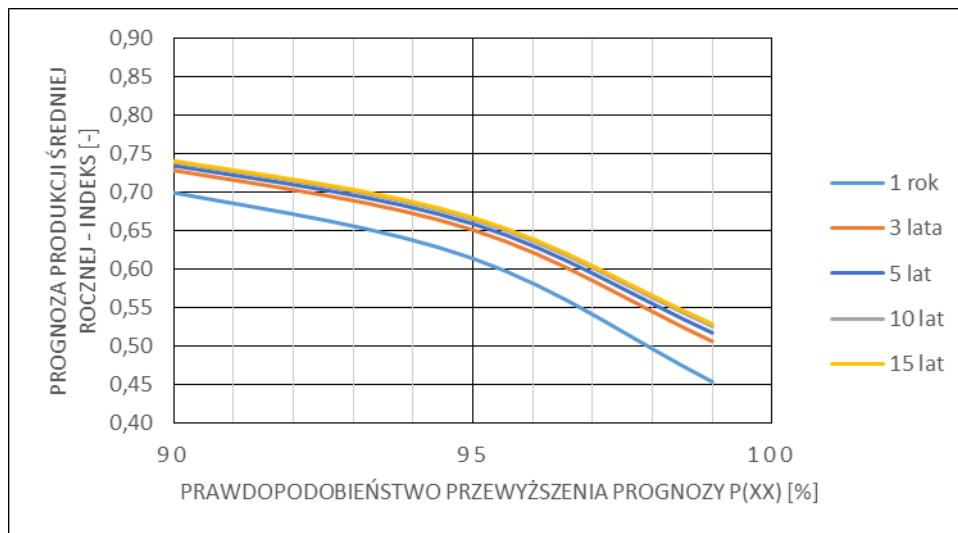


Rys. 5 Wyniki analizy przy niepewności prognozy długoterminowej równej 10%

3.2. WYNIKI PRZY NIEPEWNOŚCI PROGNOZY DŁUGOTERMINOWEJ 15%



Rys. 6 Wyniki analizy przy niepewności prognozy długoterminowej równej 15%



Rys. 7 Wyniki analizy przy niepewności prognozy długoterminowej równej 15%



4. PROGNOZA A STATUS FARMY

Wyniki przytoczone w Rozdz. 3 otrzymano przy założeniu, że niepewność całkowita prognozy dla wielolecia jest taka, jaką oszacowano podczas projektowania farmy. Jeśli analiza dotyczyć ma farmy istniejącej, podejście powinno być dwojakie:

- jeśli brak doświadczenia eksploatacyjnego lub jest ono niewielkie (powiedzmy nie większe niż 1 rok) - podejście odwołujące się do oszacowań projektowych jest uprawnione,
- w miarę wydłużania się czasu eksploatacji założenia projektowe odnoszące się do relacji między produkcją a warunkami wiatrowymi, strat eksploatacyjnych, ich niepewności powinny być weryfikowane. W rezultacie z upływem czasu niepewność związku między produkcją a warunkami wiatrowymi powinna maleć, co znaczyłoby, że wartość projektowa niepewności prognozy (por. tab. 1, komórka w prawym dolnym rogu) powinna maleć z upływem czasu. Miałoby to pewien, choć zapewne niewielki wpływ na niepewność prognozy produkcji w ograniczonym horyzoncie czasowym.