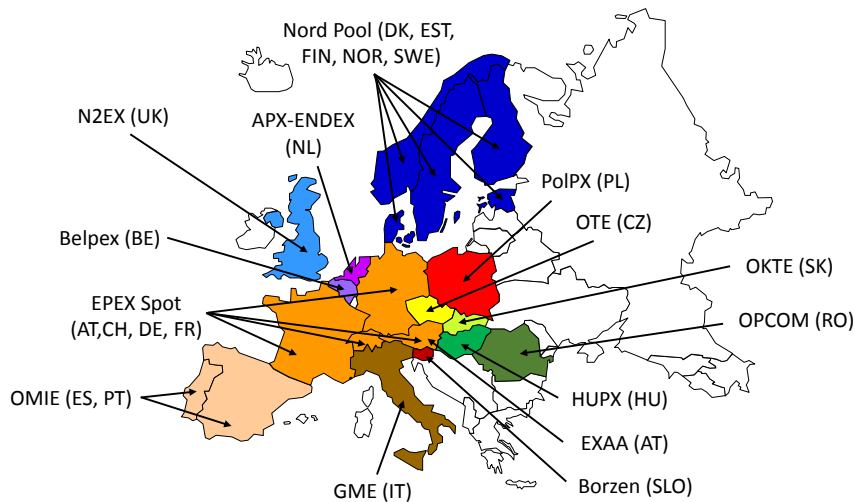


Probabilistyczne prognozowanie hurtowych cen energii elektrycznej

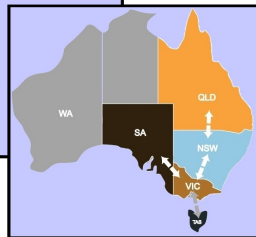
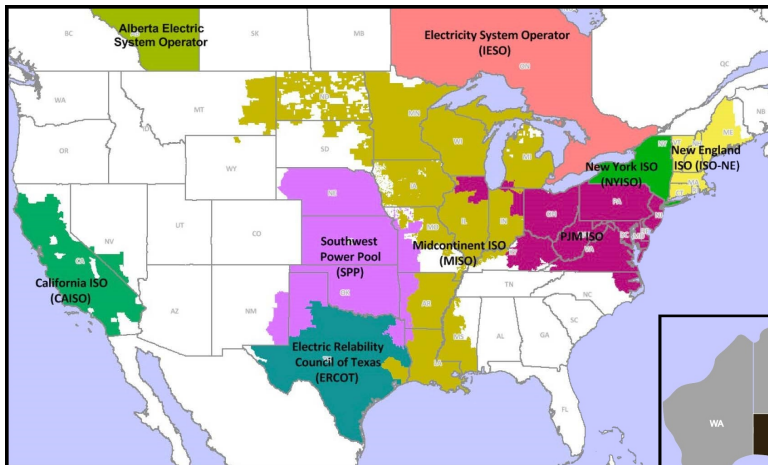
Rafał Weron

Katedra Badań Operacyjnych, Finansów i Zastosowań Informatyki
Politechnika Wrocławska (PWr)

Rynki energii elektrycznej w Europie

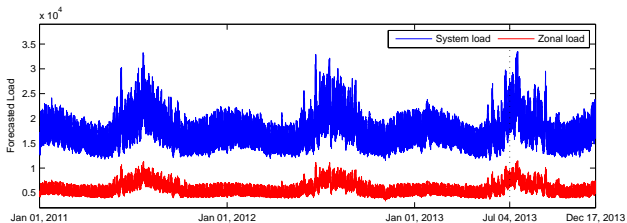
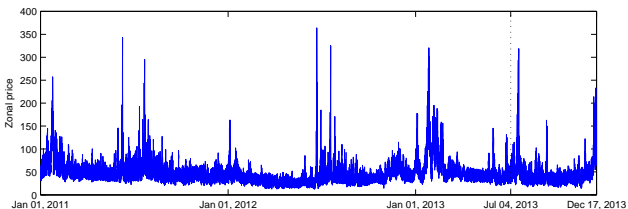


... w Ameryce Północnej i Australii



Ceny i zapotrzebowanie na energię elektryczną

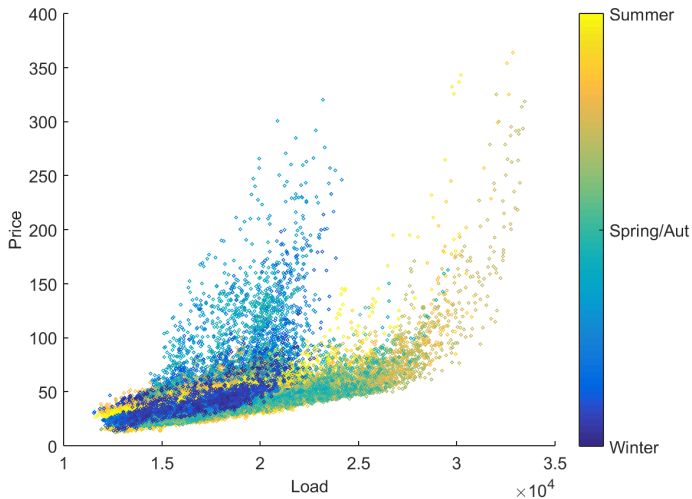
Sezonowość, powracanie do średniej i piki cenowe (*spikes*)



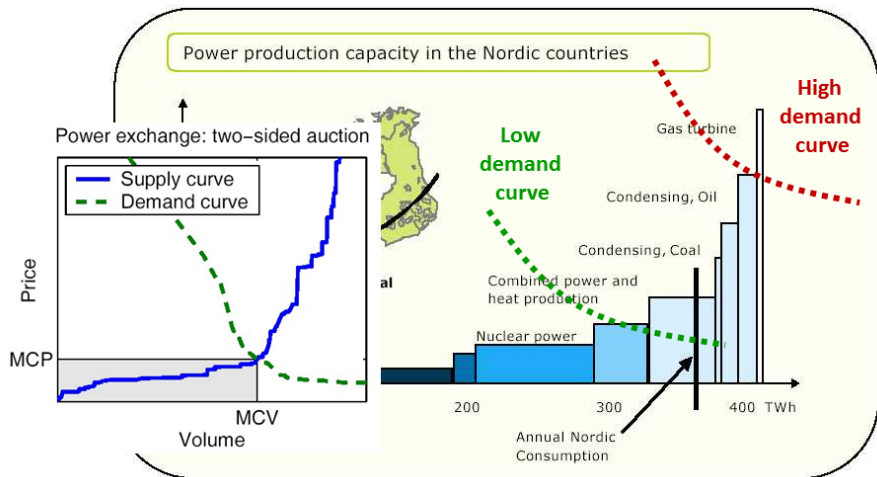
Dane: Global Energy Forecasting Competition (GEFCom2014)

Ceny a zapotrzebowanie

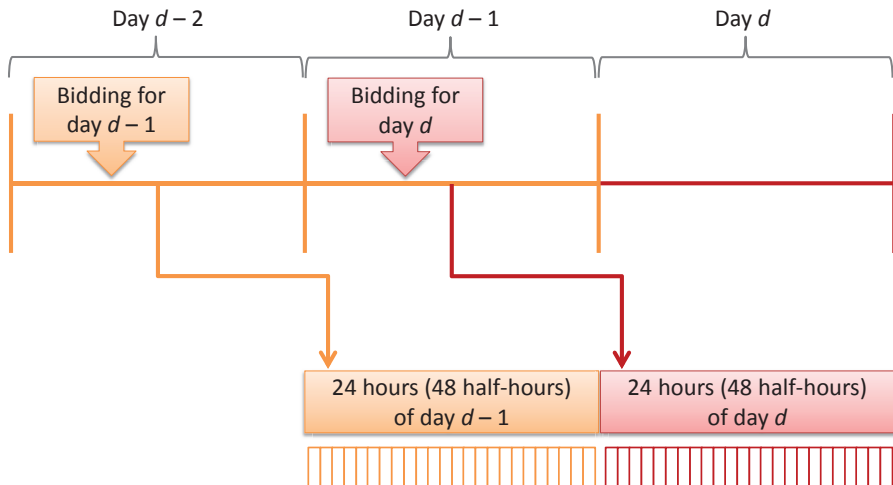
Nieliniowa zależność – inna w lecie, inna w zimie



Podaż i formowanie się cen

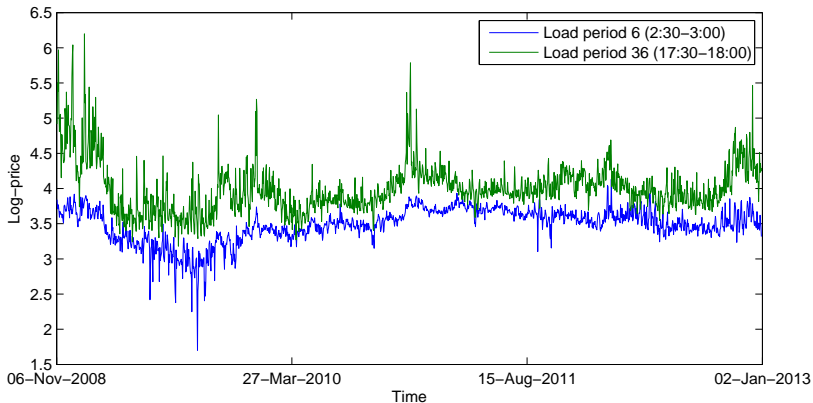


Cena 'spotowa'



Ceny dla różnych okresów w ciągu doby

Skorelowane ale podlegające innej dynamice



Towar ... wyjątkowy

- Brak możliwości magazynowania (na masową skalę)
- Długotrwałe procedury wyłączenia/włączenia dla niektórych technologii
- Ekstremalne zmiany cen → piki cenowe
- Dopuszczalne ujemne ceny
- Wysoka zmienność
- Wyraźne cykle dobowe i tygodniowe, sezonowość roczna
- Powracanie do średniej

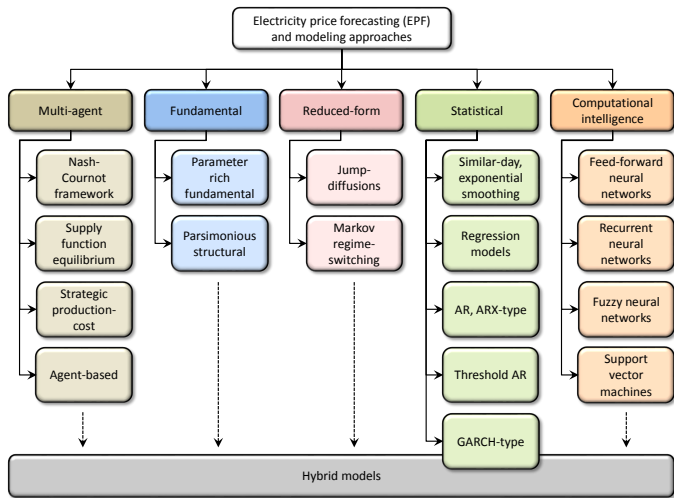


Horyzonty prognoz

- Krótkoterminowe (*short-term*)
 - Od kilku minut do kilku dni w przyszłość
 - O fundamentalnym znaczeniu dla bieżących operacji handlowych
- Średnioterminowe (*medium-term*)
 - Od kilku dni do kilku miesięcy w przyszłość
 - Zarządzanie ryzykiem, wycena instrumentów pochodnych
 - Napływ 'rozwiązań finansowych'
- Długoterminowe (*long-term*)
 - Horyzonty mierzone w miesiącach, kwartałach a nawet latach
 - Planowanie i wycena inwestycji

Taksonomia modeli cen energii elektrycznej

(Weron, 2014, Int. J. Forecasting)



Spojrzenie w przyszłość prognozowania cen

(Weron, 2014, Int.J.Forecasting)

- 1 Modelowanie i prognozowanie komponenty sezonowej
- 2 **Więcej niż prognozy punktowe – prognozy probabilistyczne**
- 3 **Uśrednianie prognoz**
 - Prognozy punktowe
 - **Prognozy probabilistyczne**
- 4 Wielowymiarowe modele faktorowe
- 5 Zalecenia co do oceny jakości prognoz

Artykuły przeglądowe i zawody w prognozowaniu



Global Energy Forecasting Competition 2012

Tao Hong^{a,*}, Pierre Pinson^b, Shu Fan^c

^a SAS Institute Inc, United States

^b Technical University of Denmark, Denmark

^c Monash University, Australia



Probabilistic Electric Load Forecasting: A Tutorial Review

Tao Hong and Shu Fan

Abstract

Load forecasting is a fundamental business problem established since the inception of the electric power industry. Over the past 100 plus years, both research efforts and industry practices in this area are primarily on point load forecasting. In the recent decade, due to the increased market competition, aging infrastructure and renewable integration requirements, probabilistic load forecasting is becoming more and more important to energy systems planning and operations. This paper offers a tutorial review of probabilistic electric load forecasting, including notable techniques, methodologies, evaluation metrics, common misunderstandings and recommended research directions.



Review

Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future

Rafał Weron

Institute of Organization and Management, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland



ARTICLE INFO

Keywords:
Electricity price forecasting
Day-ahead market
Seasonality
Autoregression
Neural network
Factor model
Forecast combination
Probabilistic forecast

ABSTRACT

A variety of methods and ideas have been tried for electricity price forecasting (EPF) over the last 15 years, with varying degrees of success. This review article aims to explain the complexity of available solutions, their strengths and their weaknesses, and to look ahead and speculate on the directions EPF is or so. In particular, it postulates the need for object: (i) the same datasets, (ii) the same robust error evaluation testing of the significance of one model's outperformer.
© 2014 The Author. Published by Elsevier B.V.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Global Energy Forecasting Competition 2014

Proudly sponsored by **IEEE Power & Energy Society**



**GEFCOM
2014**

Load Forecasting

**GEFCOM
2014**

Price Forecasting

**GEFCOM
2014**

Wind Forecasting

**GEFCOM
2014**

Solar Forecasting

Uśrednianie prognoz przedziałowych

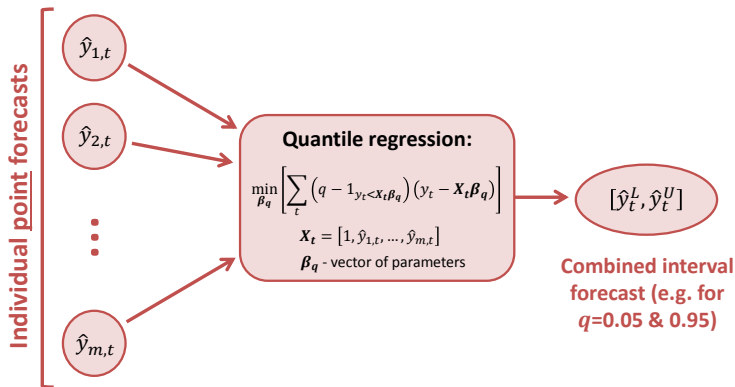
- Dla prognoz punktowych: $f_c = \sum_{i=1}^m w_i f_i$
(np. model regresji liniowej)
- Dla prognoz przedziałowych ten wzór nie działa
- Liniowa kombinacja kwantyli rzędu q **nie** jest kwantylem rzędu q liniowej kombinacji zmiennych losowych

$$k_c^q \neq \sum_{i=1}^m w_i k_i^q$$

- → Potrzeba opracowania nowych metod

Quantile Regression Averaging

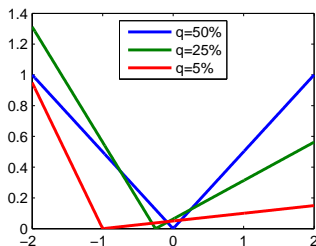
(Nowotarski & Weron, 2015, Computational Statistics)



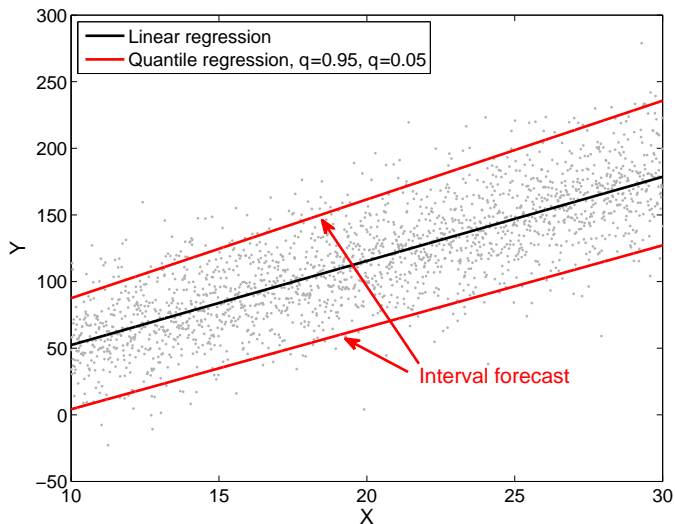
Jak wygląda funkcja oceny?

Dla wektora $\mathbf{X}_t = [1, \hat{y}_{1,t}, \dots, \hat{y}_{m,t}]$ prognoz punktowych, tj. zmiennych objaśniających, wagi β_q są estymowane minimalizując:

$$\min_{\beta_q} \left[\sum_{\{t: y_t \geq \mathbf{X}_t \beta_q\}} q |y_t - \mathbf{X}_t \beta_q| + \sum_{\{t: y_t < \mathbf{X}_t \beta_q\}} (1 - q) |y_t - \mathbf{X}_t \beta_q| \right]$$



Regresja kwantylowa

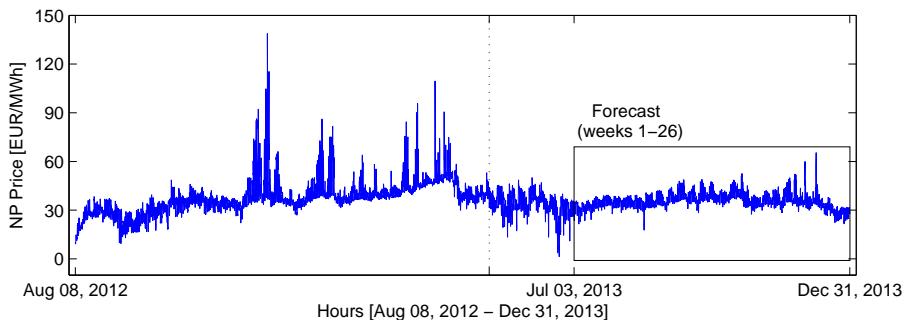


Przykład I: Uśrednianie prognoz modeli indywidualnych

- **Sześć** modeli indywidualnych zwracających prognozy punktowe:
 - Autoregression (AR)
 - Threshold AR (TAR)
 - Semi-parametric AR (SNAR)
 - Mean-reverting jump diffusion (MRJD)
 - Non-linear AR neural network (NAR)
 - Factor model (FM)



Dane z giełdy Nordpool



- **Siedem** miesięcy na kalibrację modeli indywidualnych
- **Cztery** tygodnie na kalibrację regresji kwantylowej
- **26** tygodni na ocenę jakości prognoz przedziałowych

Ocena jakości prognoz

- 50% i 90% dwustronne prognozy przedziałowe (dzień-przed)
- Dwa benchmarki: AR i SNAR
- Test Christoffersena (1998) na bezwarunkowe (*unconditional*) i warunkowe pokrycie (*conditional coverage*)

- Analizujemy sekwencję 'trafień': $I_t = \begin{cases} 1 & y_t \in [\hat{y}_t^L, \hat{y}_t^U] \\ 0 & y_t \notin [\hat{y}_t^L, \hat{y}_t^U] \end{cases}$

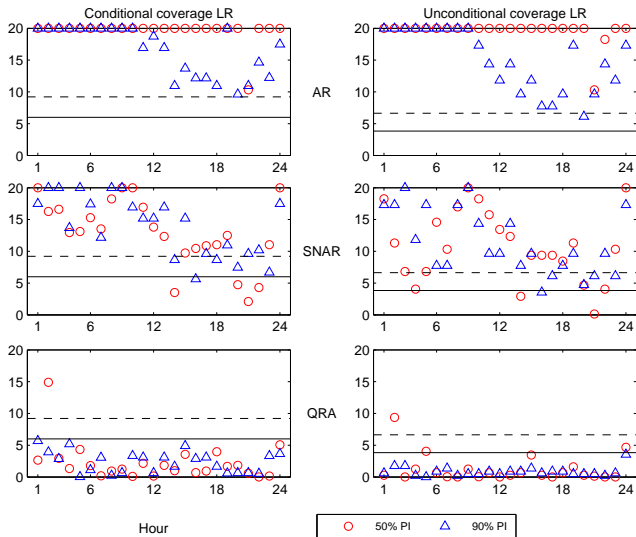
- Warunkowe pokrycie (CC)
(UC + niezależność)
Asymptotycznie $\chi^2(2)$

- Bezwarunkowe pokrycie (UC)
Asymptotycznie $\chi^2(1)$

Wyniki: Pokrycie bezwarunkowe

Przedział	AR	SNAR	QRA
<i>Pokrycie bezwarunkowe</i>			
50%	77.50	61.93	49.77
90%	97.53	96.41	89.33
<i>Średnia szerokość (odch.st. szerokości przedziału)</i>			
50%	4.55 (1.34)	2.76 (0.61)	2.23 (0.81)
90%	11.14 (3.31)	9.33 (2.45)	6.78 (2.20)

Wyniki: Test Christoffersena

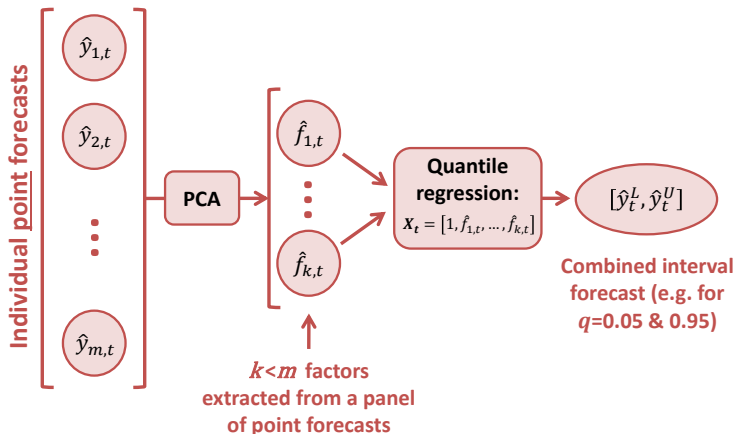


GEFCom2014 Price Track: 1-sze i 2-gie miejsce dla QRA!



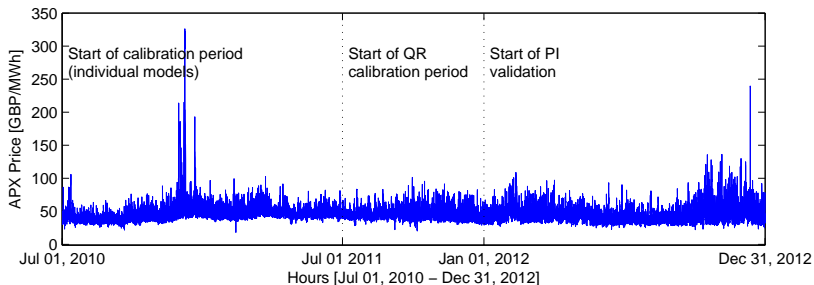
Rozszerzenie: Duża liczba modeli prognostycznych

(Maciejowska, Nowotarski & Weron, 2016, Int.J.Forecasting)



Przykład II

(Maciejowska, Nowotarski & Weron, 2016, Int.J.Forecasting)



- **32** modele indywidualne
- **Rok** na kalibrację modeli indywidualnych
- **Pół roku** na kalibrację regresji kwantylowej
- **Rok** na ocenę jakości prognoz przedziałowych

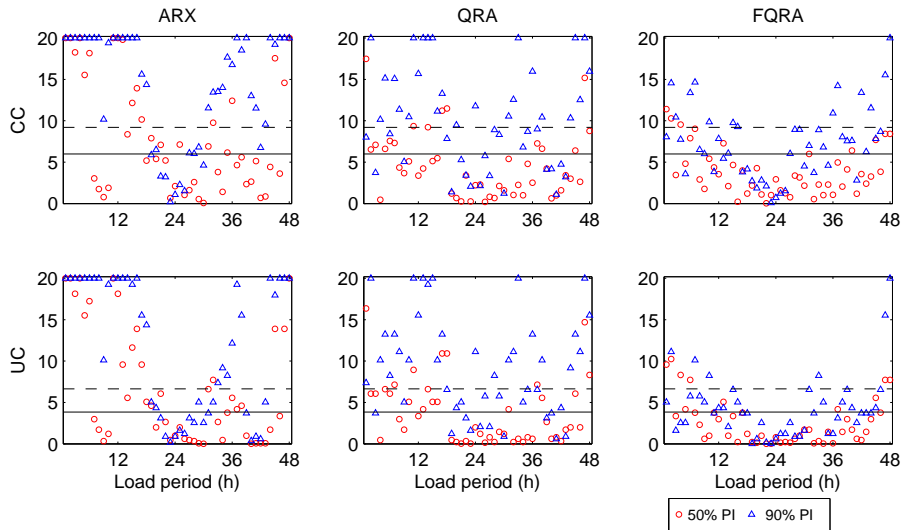
Ocena jakości prognoz

- 50% i 90% dwustronne prognozy przedziałowe (dzień-przed)
- Trzy metody: QRA, FQRA i ARX (benchmark)
- Test Christoffersena (1998) na bezwarunkowe i warunkowe pokrycie
- Funkcja oceny Winklera (*Winkler score*) dla symetrycznego przedziału prognozy $(1 - \alpha) \times 100\%$:

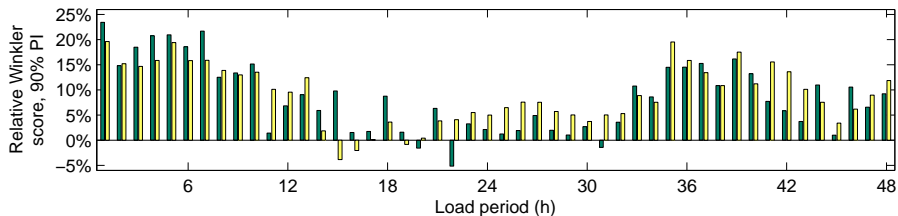
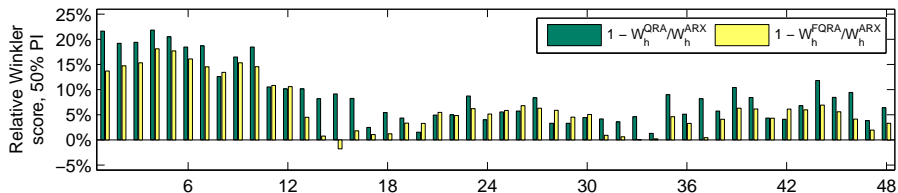
$$W_t = \begin{cases} \delta_t & \text{dla } y_t \in [\hat{y}_t^L, \hat{y}_t^U], \\ \delta_t + \frac{2}{\alpha}(\hat{y}_t^L - y_t) & \text{dla } y_t < \hat{y}_t^L, \\ \delta_t + \frac{2}{\alpha}(y_t - \hat{y}_t^U) & \text{dla } y_t > \hat{y}_t^U, \end{cases}$$

gdzie $\delta_t = \hat{y}_t^U - \hat{y}_t^L$ jest szerokością przedziału

Wyniki: Test Christoffersena



Wyniki: Funkcja oceny Winklera



Podsumowanie

- Nowy trend to prognozowanie probabilistyczne
- Uśrednianie prognoz przedziałowych (bądź gęstości rozkładu) jest trudniejsze niż prognoz punktowych
- QRA jest prostym sposobem na wykorzystanie opracowywanych przez lata metod prognozowania punktowego
 - QRA prawdopodobnie można z powodzeniem zastosować w ocenie ryzyka (analizie *Value-at-Risk*)
- Ocena jakości prognoz jest kwestią fundamentalną



Ocena jakości prognoz probabilistycznych

- Dla prognoz przedziałowych
 - Funkcja *pinball*, jak w GEFCom2014
 - Funkcja oceny Winklera, zob. Maciejowska et al. (2015)
- Dla prognoz gęstości rozkładu
 - *Continuous Ranked Probability Score* (Gneiting i Raftery, 2007)
- Testy statystyczne
 - Test pokrycia warunkowego Christoffersena (1998); zob. też Berkowitz et al. (2011)
 - Podejście Berkowitza (2001) do oceny prognoz gęstości rozkładu (→ VaR backtesting)