

Predykcja parametrów rotacji Ziemi metodami geostatystyki liniowej

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
AGH University of Science and Technology

Maciej Michalczak, Marcin Ligas, Jacek Kudrys

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Geodezji Zintegrowanej i Kartografii

Grybów, 09.06.2022r.

Plan prezentacji

- Parametry Orientacji i Rotacji Ziemi
- Metodologia
- Model i schemat prognozy
- Wyniki
- Wnioski

Parametry Orientacji i Rotacji Ziemi

- Parametry Orientacji Ziemi (Earth Orientation Parameters – EOP) opisują nieprawidłowości w ruchu obrotowym Ziemi
- Wyznaczane na podstawie połączenia kosmicznych technik geodezyjnych: VLBI (Very Long Baseline Interferometry), DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), SLR (Satellite Laser Ranging), GNSS (Global Navigation Satellite System)
- Zestaw parametrów EOP składa się z:
 - Współrzędnych bieguna ziemskiego – PM_x i PM_y
 - Różnica czasów UT1-UTC lub długość doby LOD
 - Przesunięcia bieguna niebieskiego (na podstawie modelu precesji i nutacji) – dX i dY
- Podzbiór ERP (Earth Rotation Parameters) zawiera:
 - Współrzędne bieguna ziemskiego – PM_x i PM_y
 - Różnicę czasów UT1-UTC lub długość doby LOD

Parametry Orientacji i Rotacji Ziemi

- Niezbędne do wielu różnych zadań geodezyjnych i astronomicznych. np.:
 - Transformacja pomiędzy ziemskim (TRF) i niebieskim (CRF) układem odniesienia
 - Precyzyjne wyznaczanie orbit
 - Precyzyjne pozycjonowanie i nawigacja satelitarna
 - Realizacja systemów czasowych
- Uzyskanie parametrów w czasie rzeczywistym, z powodu złożoności pomiarów i przetwarzania danych jest niemożliwe. Rozwiązaniem tego problemu jest prognoza parametrów.
- Aktualnie przeprowadzana jest Druga Kampania Porównawcza Predykcji Parametrów Orientacji Ziemi

Metodologia

Do prognozy ERP wykorzystano 2 warianty liniowego krigingu:

- kriging prosty (SK):
 - stała i znana wartość oczekiwana pola losowego (procesu stochastycznego)
- kriging zwyczajny (OK):
 - stała i nieznana wartość oczekiwana pola losowego (procesu stochastycznego)

Metodologia - dekompozycja

- Szeregi czasowe ERP poddano dekompozycji wyodrębniając następujące składowe:
 - Strefowe pływy (w przypadku LOD)
 - Trend liniowy
 - Składowe okresowe
 - Reszty

Model prognozy

- Współrzędne bieguna ziemskiego (PMx i PMy):

Prognoza = trend liniowy + składowe okresowe + prognozowane "reszty"
albo

$$\hat{x}(t_p) = \hat{a}_0^x + \hat{a}_1^x t_p + \sum_{i=1}^2 \hat{b}_i^x \sin(\hat{c}_i^x t_p + \hat{d}_i^x) + \hat{\varepsilon}_{xx}(t_p) \quad (1)$$

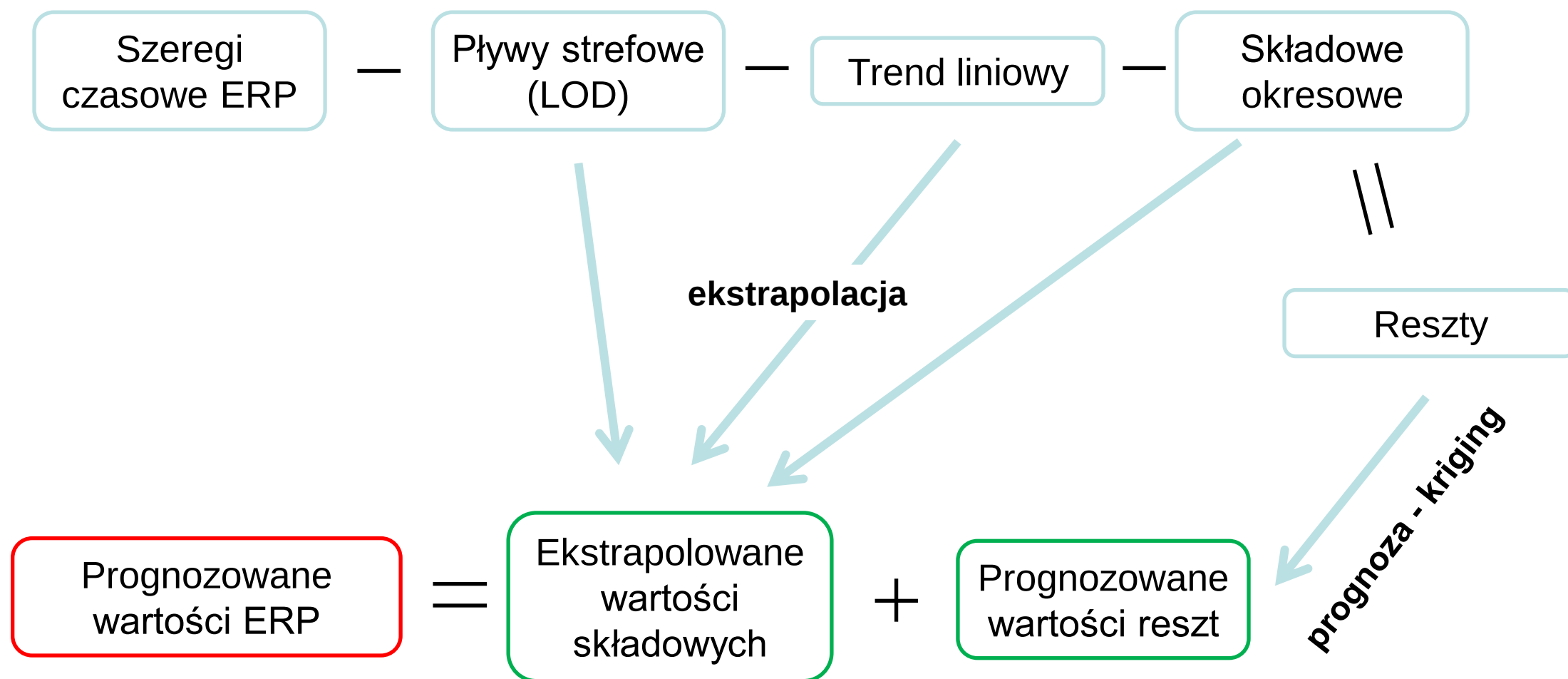
$$\hat{y}(t_p) = \hat{a}_0^y + \hat{a}_1^y t_p + \sum_{i=1}^2 \hat{b}_i^y \sin(\hat{c}_i^y t_p + \hat{d}_i^y) + \hat{\varepsilon}_{yy}(t_p) \quad (2)$$

- Długość doby (LOD):

Prognoza = trend liniowy + składowe okresowe + korekta pływów strefowych + prognozowane "reszty"
albo

$$LOD(t_p) = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 t_p + \sum_{i=1}^3 \hat{b}_i \sin(\hat{c}_i t_p + \hat{d}_i) + dLOD + \hat{\varepsilon}_{LOD}(t_p) \quad (3)$$

Schemat prognozy



Wyniki – pierwsza analiza

- Dane referencyjne **pierwsze sprawdzenie możliwości predykcyjnych metody**: IERS EOP 14 C04 (IAU2000A)
- Start procedury predykcyjnej: 2000-01-01 – 2020-11-29
- Błąd prognozy

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i|$$

gdzie:

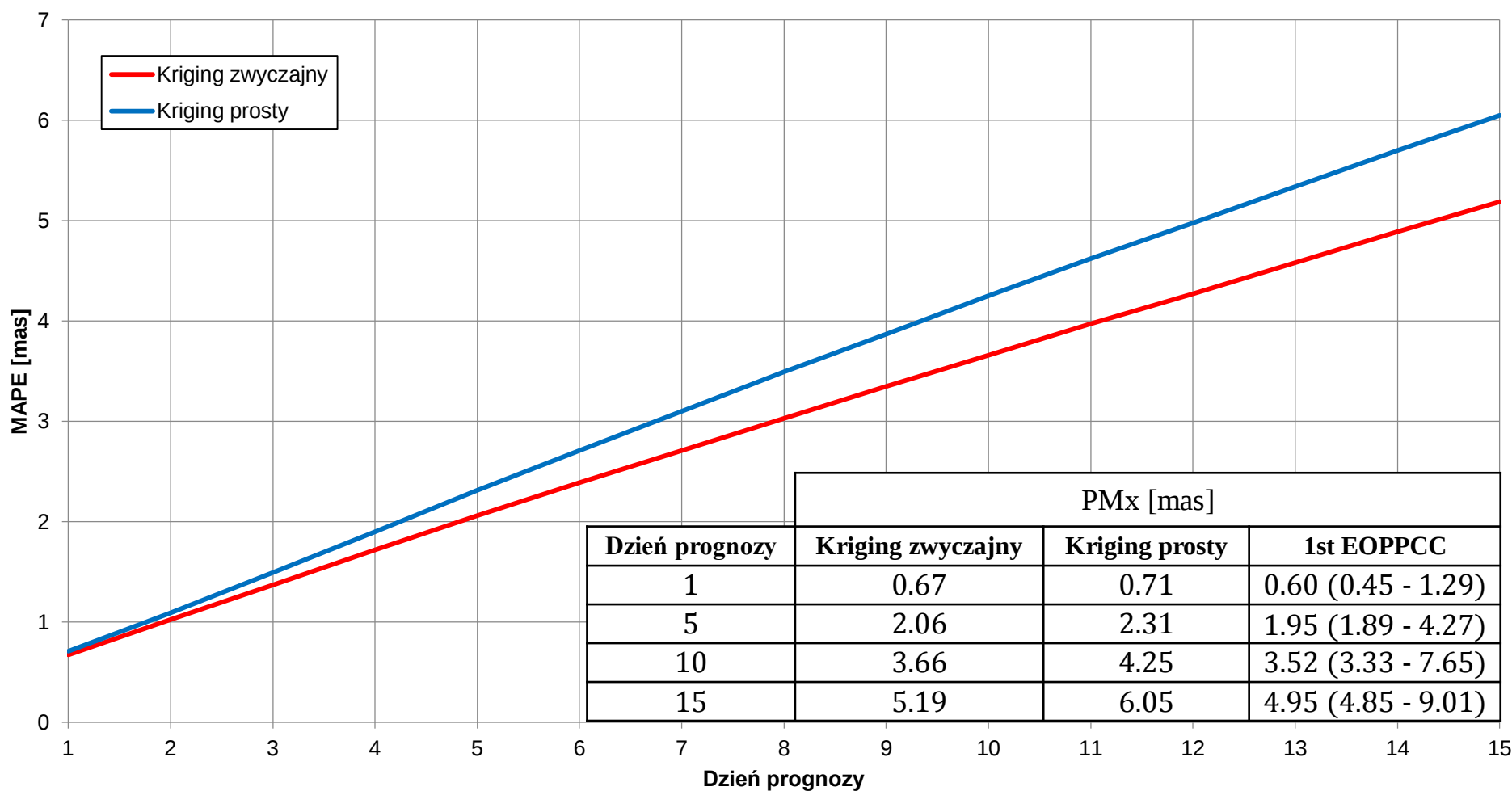
n – liczba prognoz

O_i – i-ta wartość obserwowana

P_i – i-ta wartość prognozowana

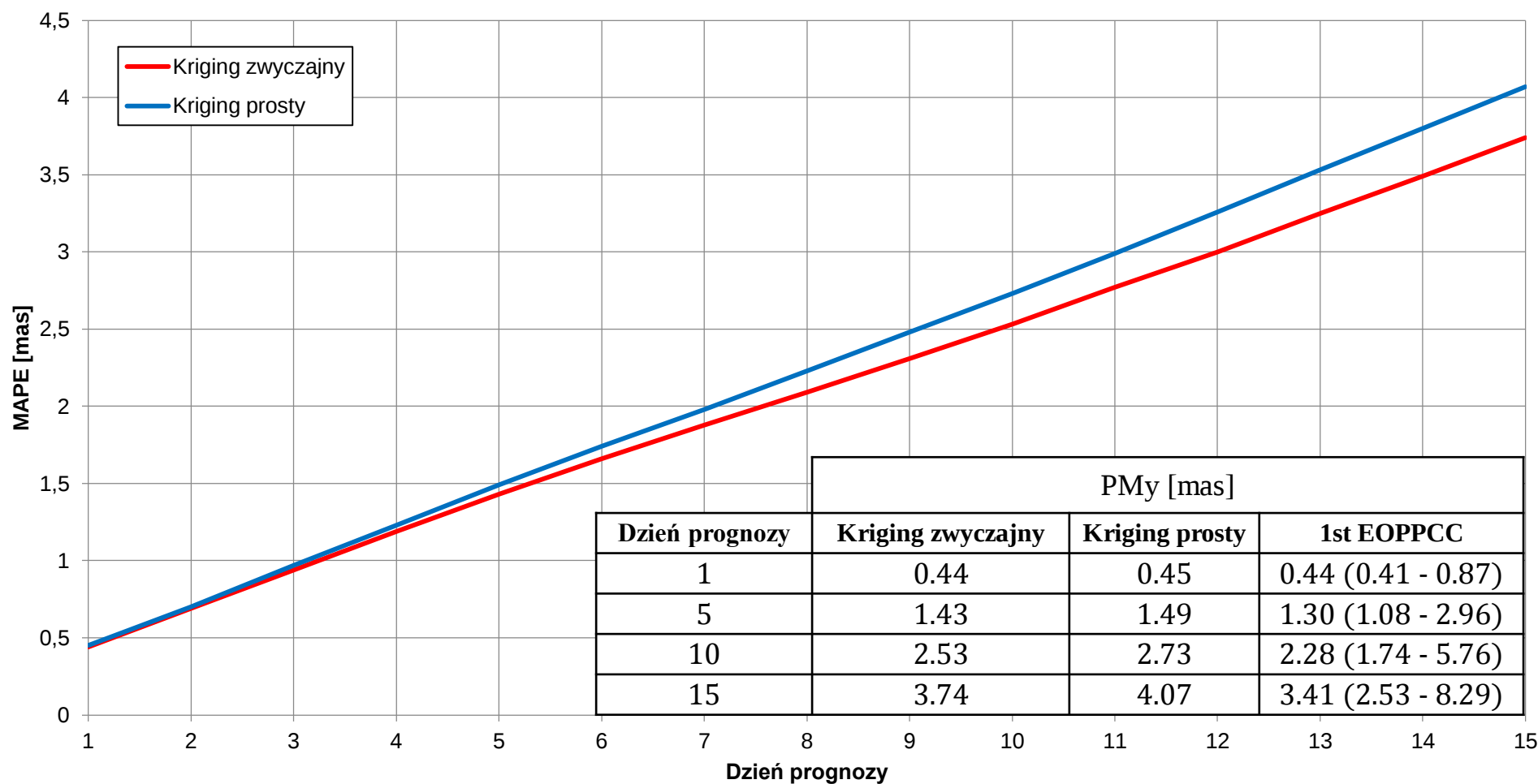
Wyniki – prognoza 15 dni

PMx



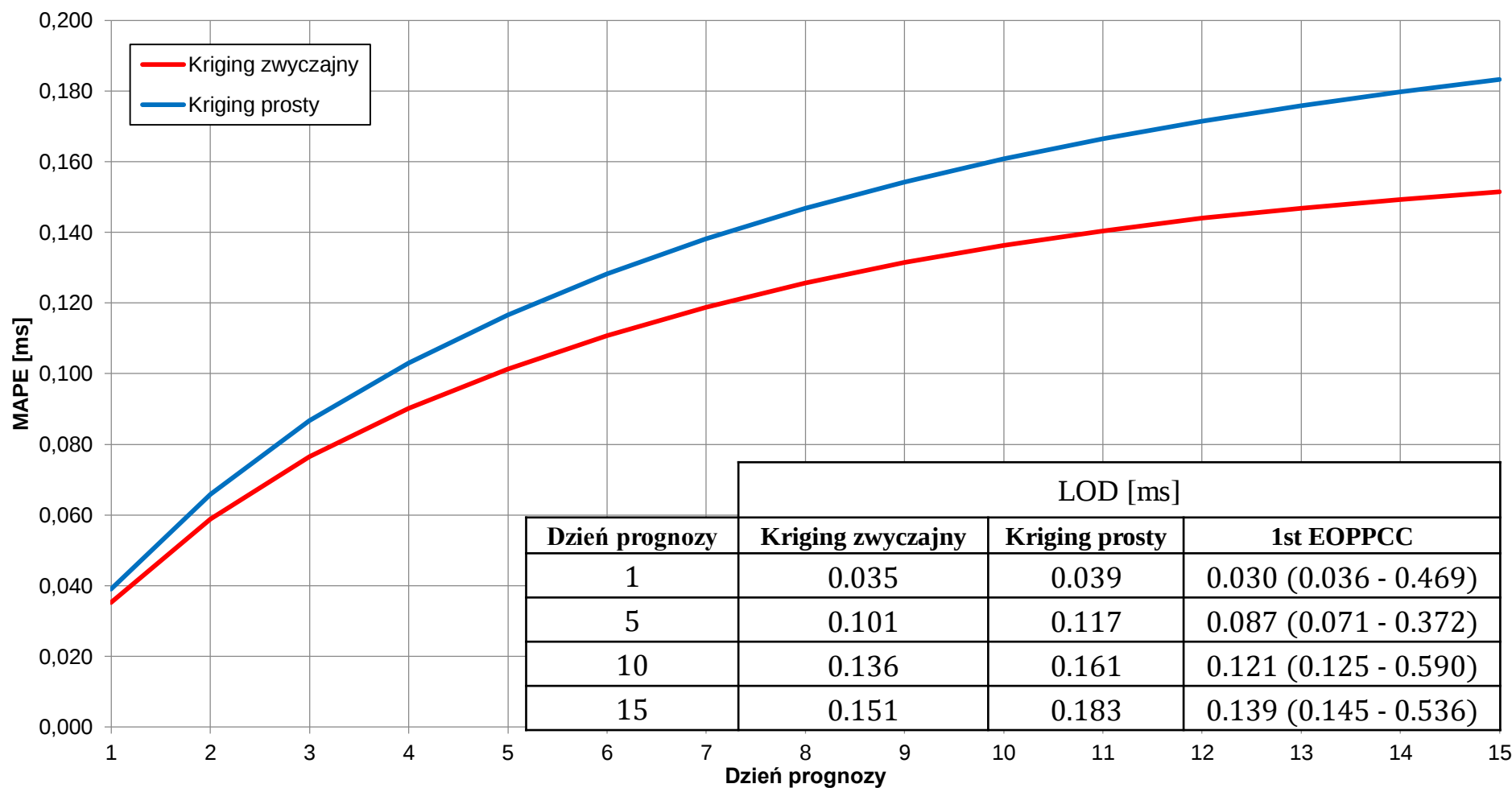
Wyniki – prognoza 15 dni

PM_y



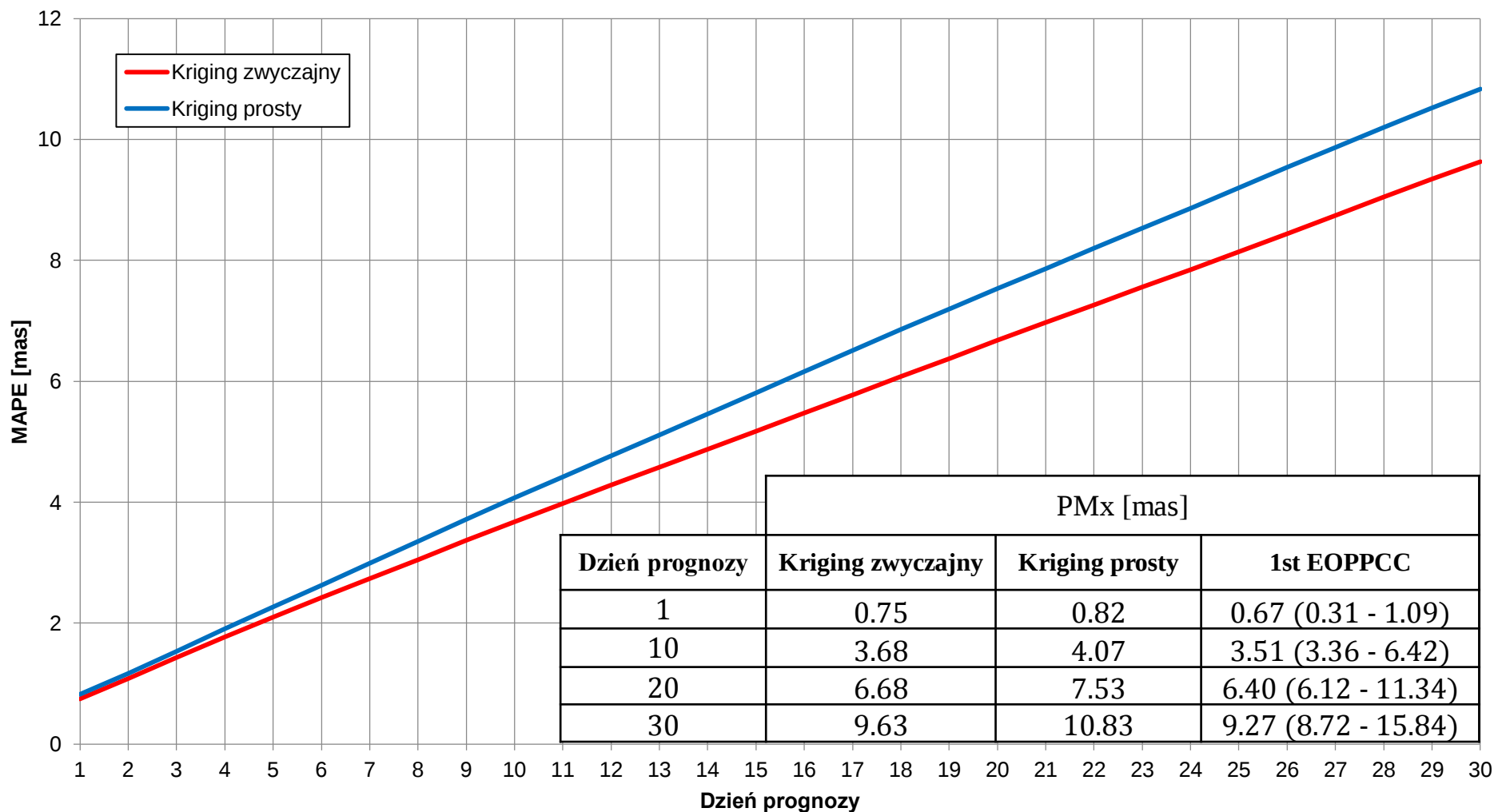
Wyniki – prognoza 15 dni

LOD



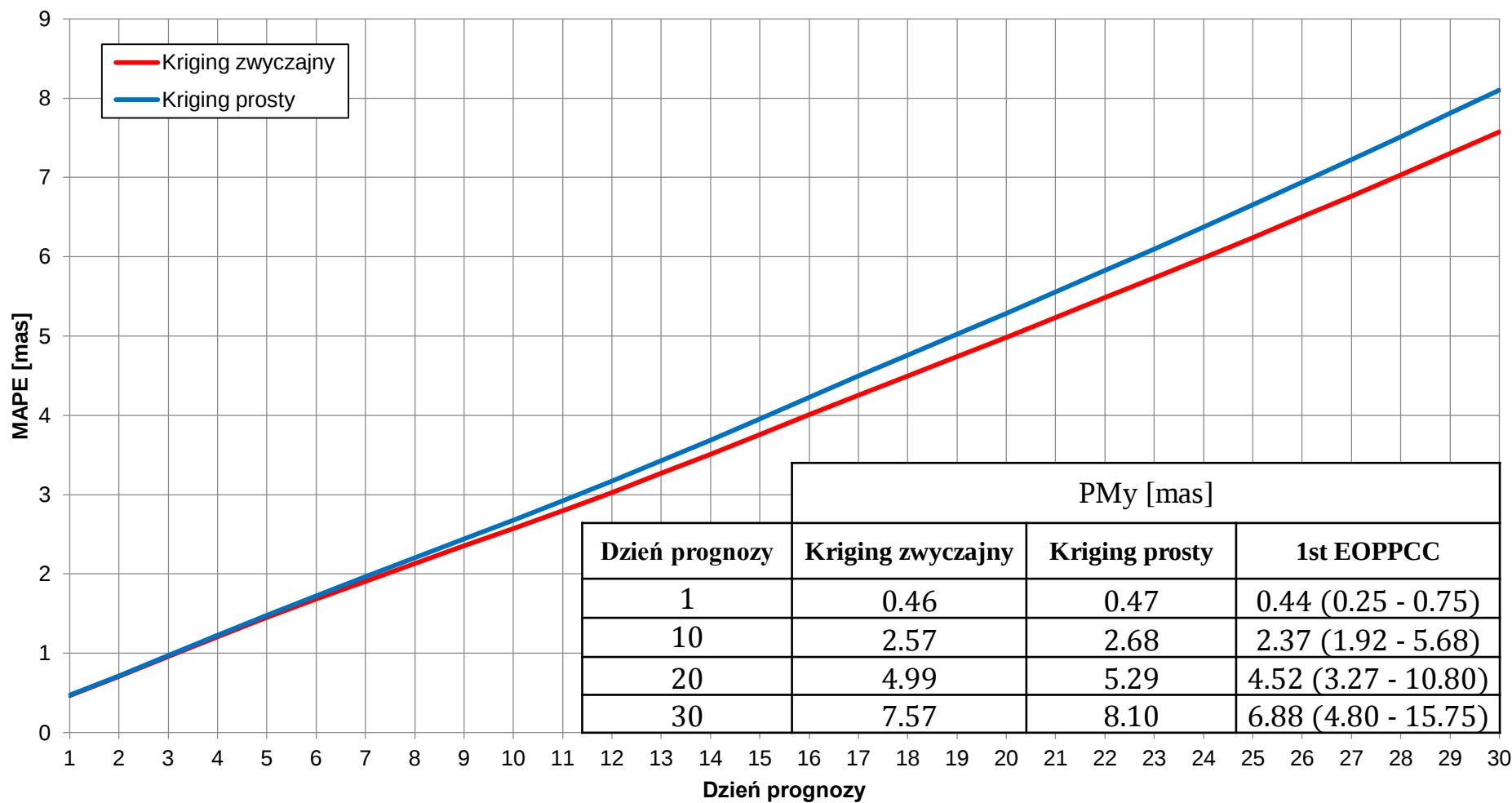
Wyniki – prognoza 30 dni

PMx



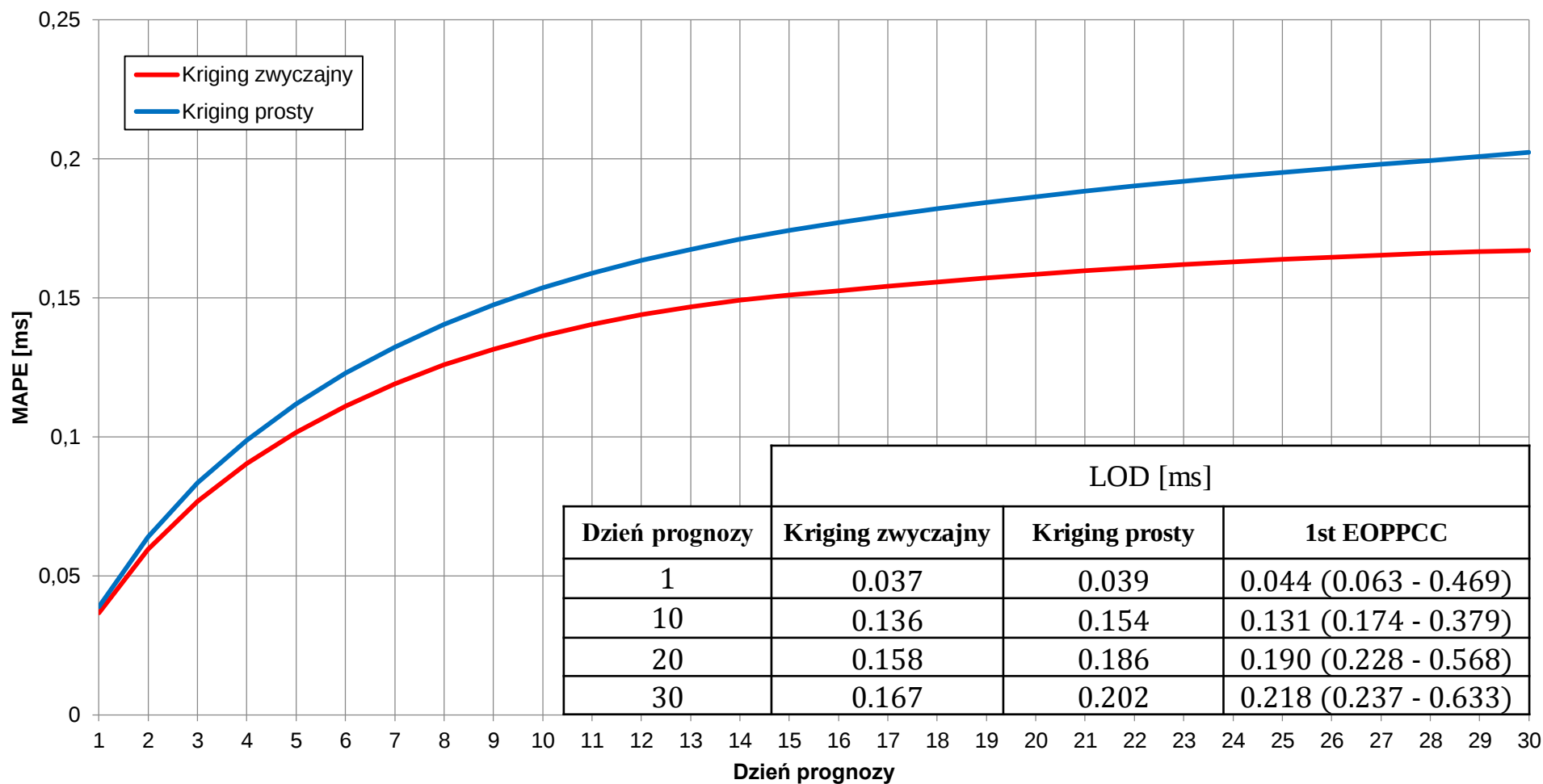
Wyniki – prognoza 30 dni

PM_y



Wyniki – prognoza 30 dni

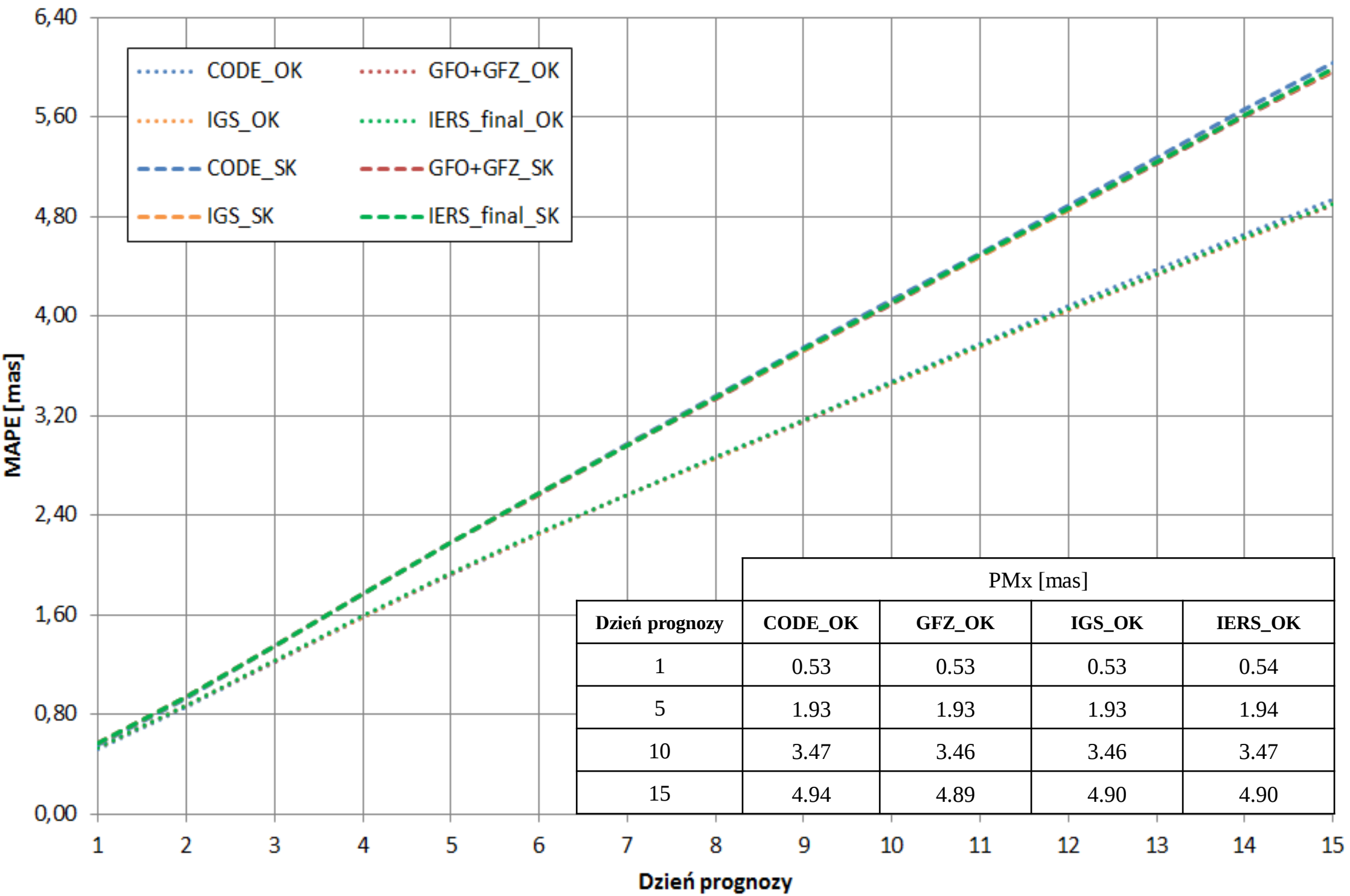
LOD



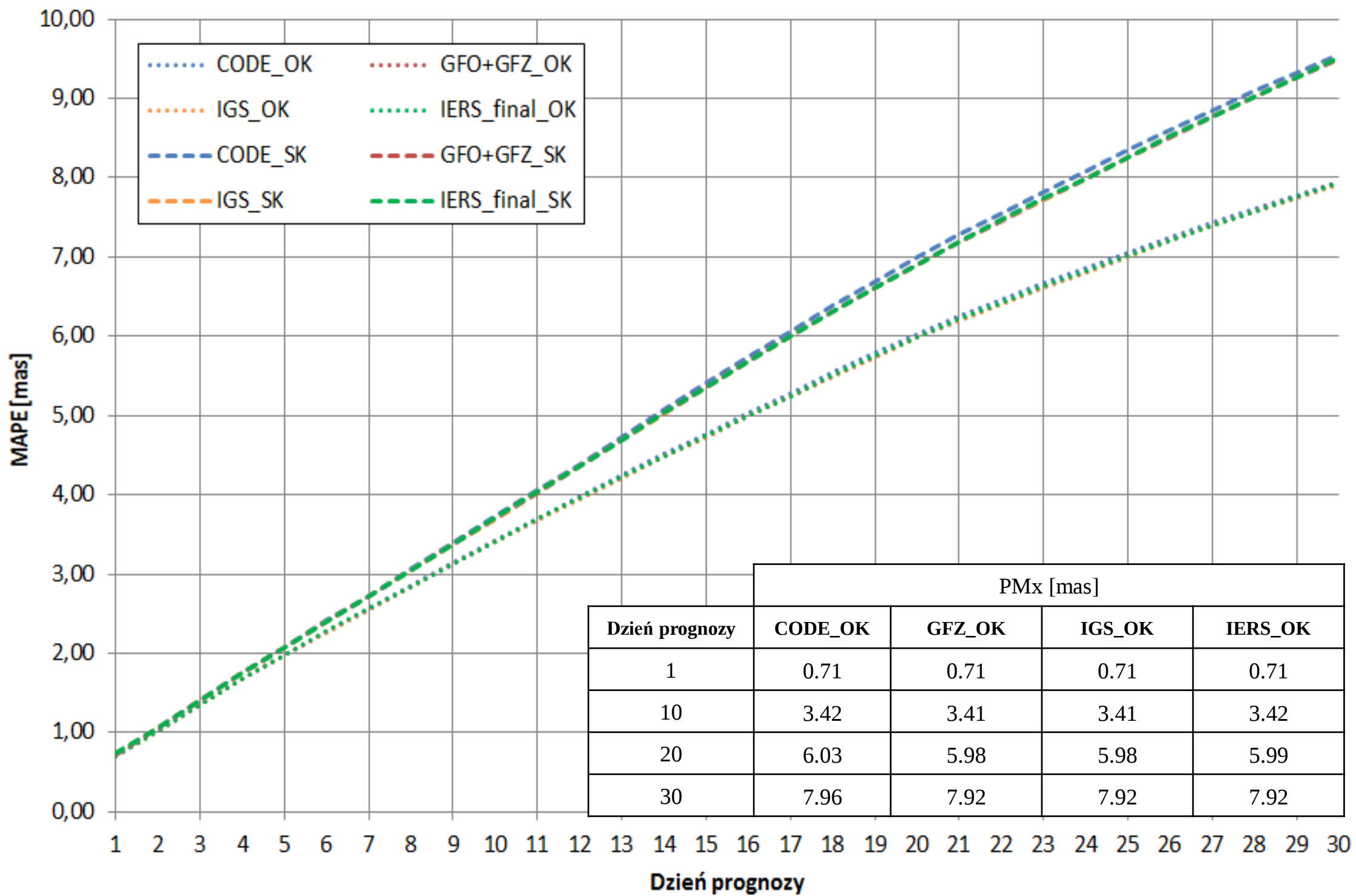
Wyniki – analiza prognoz na podstawie danych z 3 centrów

- Wykorzystane „szybkie produkty” (GNSS):
 - GFZ Data Services
 - International GNSS Service (IGS)
 - Center for Orbit Determination in Europe (CODE)
- IERS EOP 14 C0412h - dane final
- Okno prognozy: 2017-01-01 – 2022-04-15
- Liczba prognoz:
 - 1871 30-dniowych, 1886 15-dniowych – GFZ, IGS i IERS
 - 1807 30-dniowych, 1822 15-dniowych – CODE

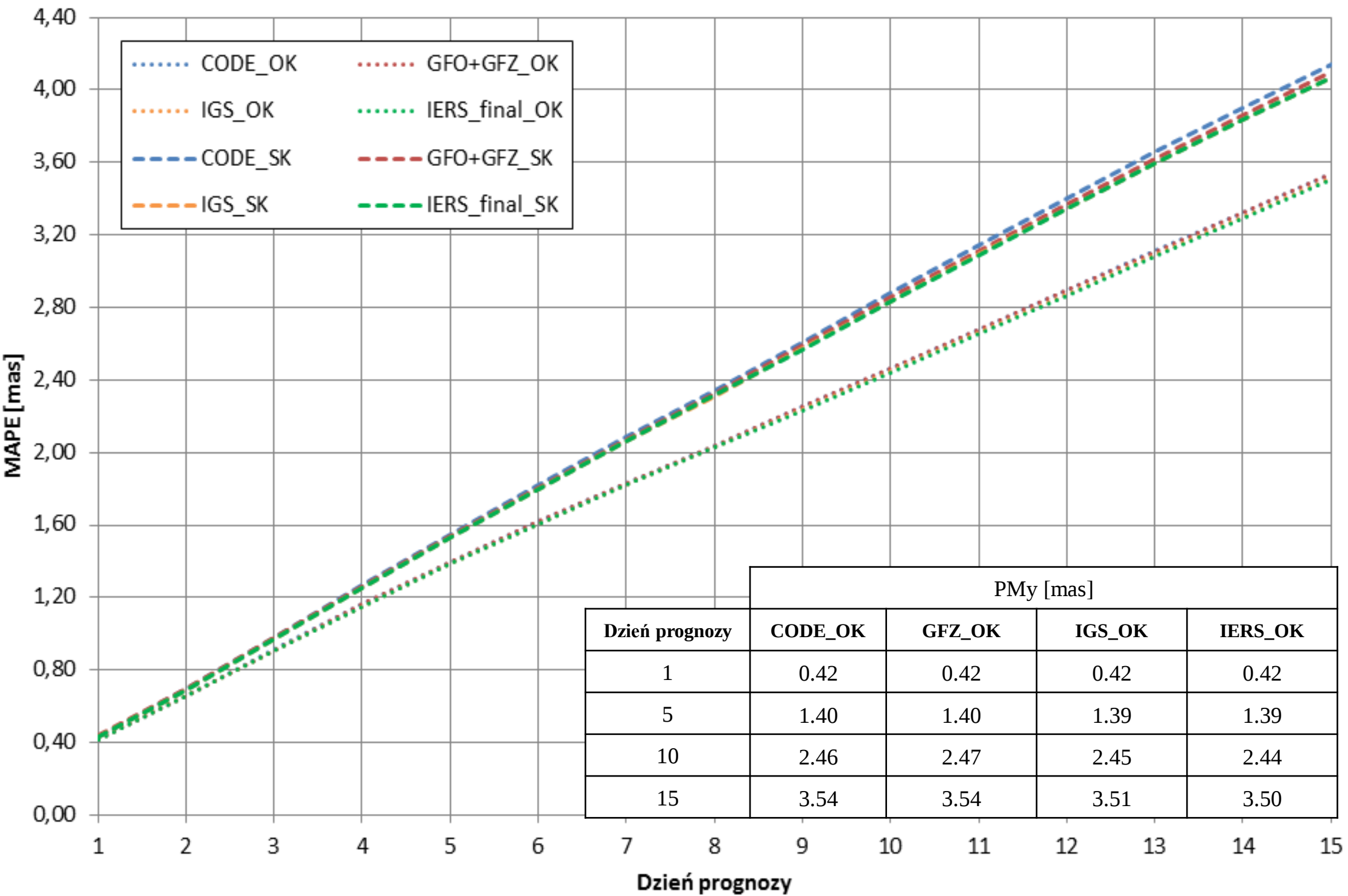
X



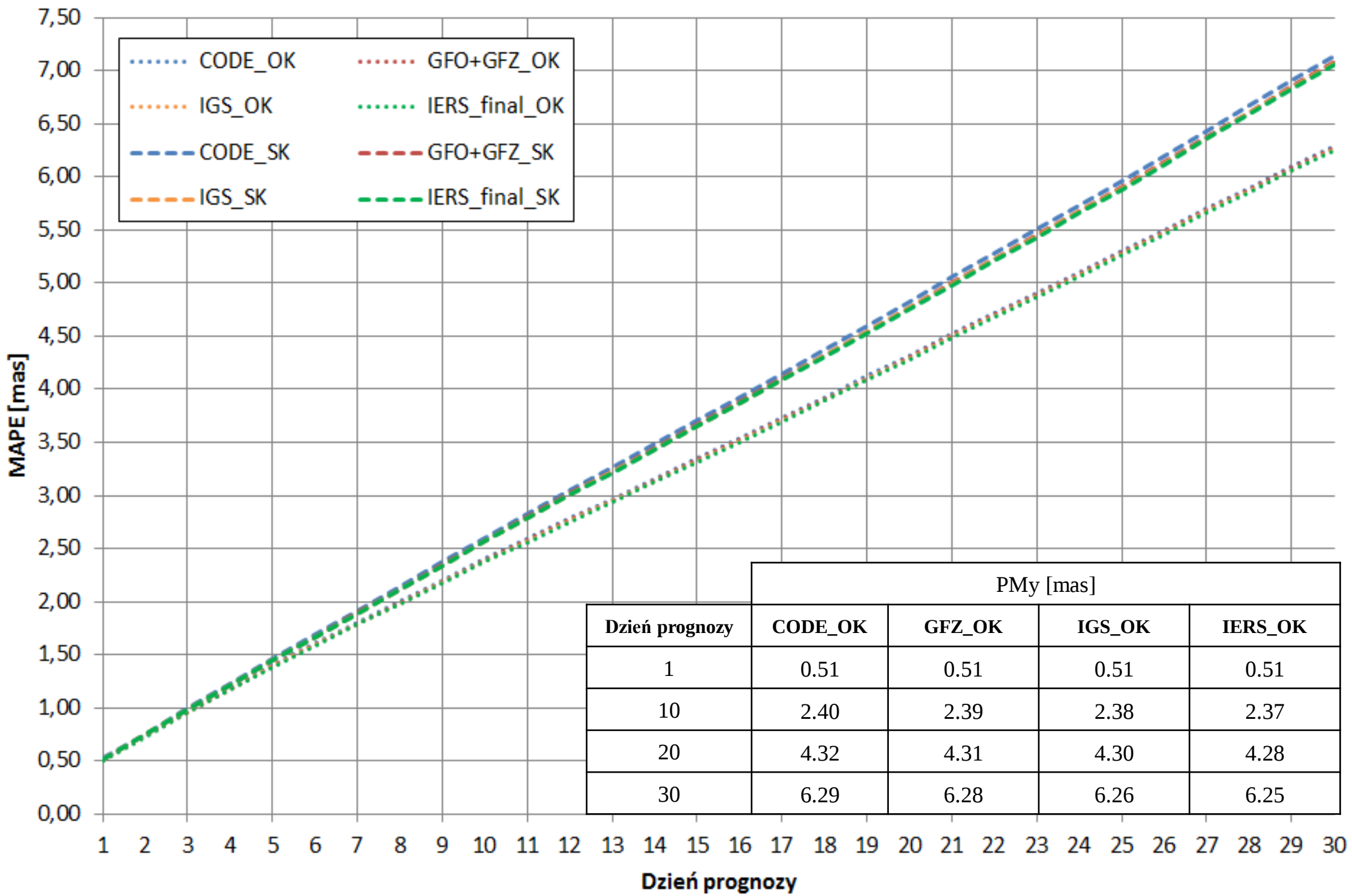
X



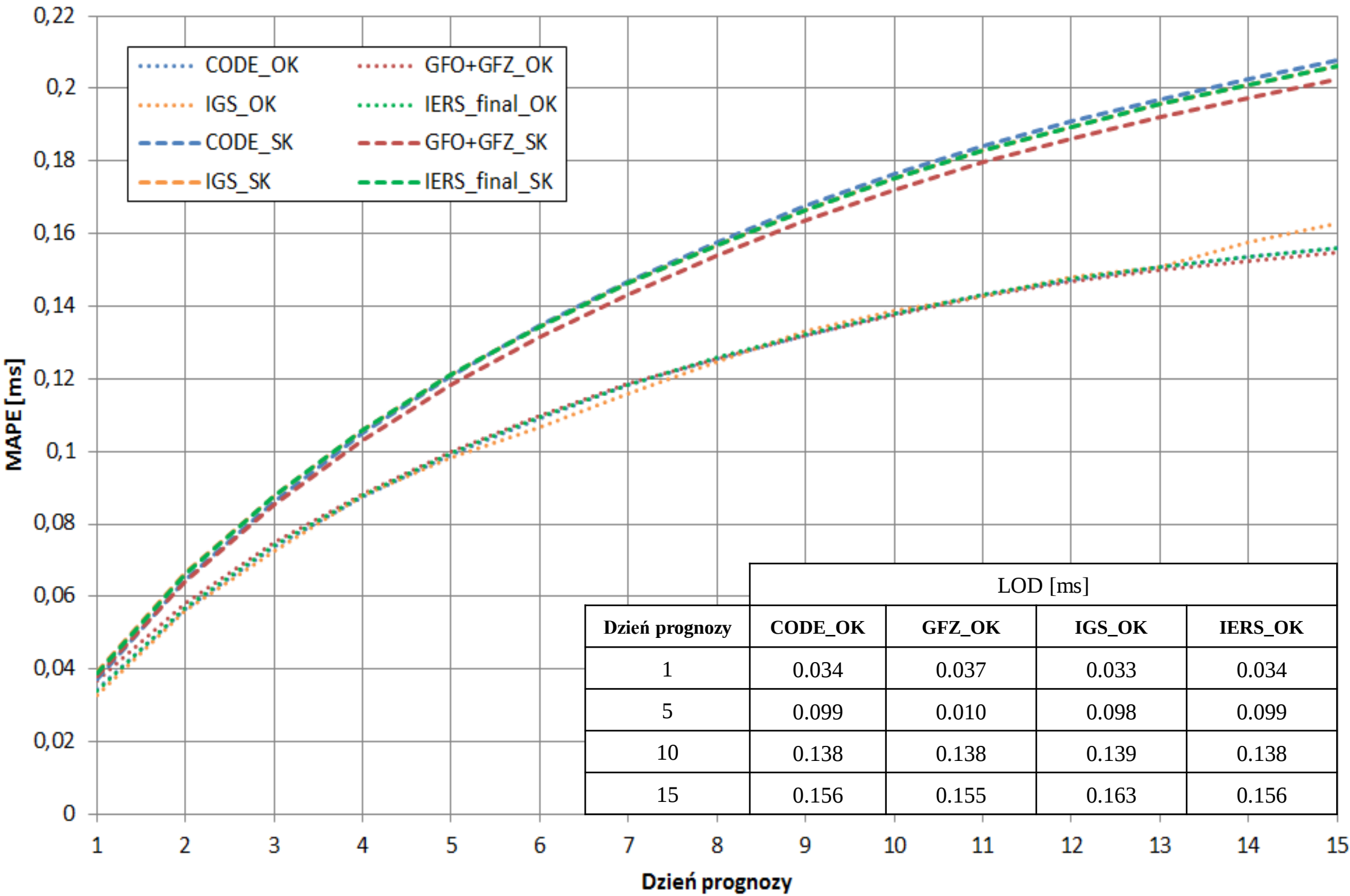
Y



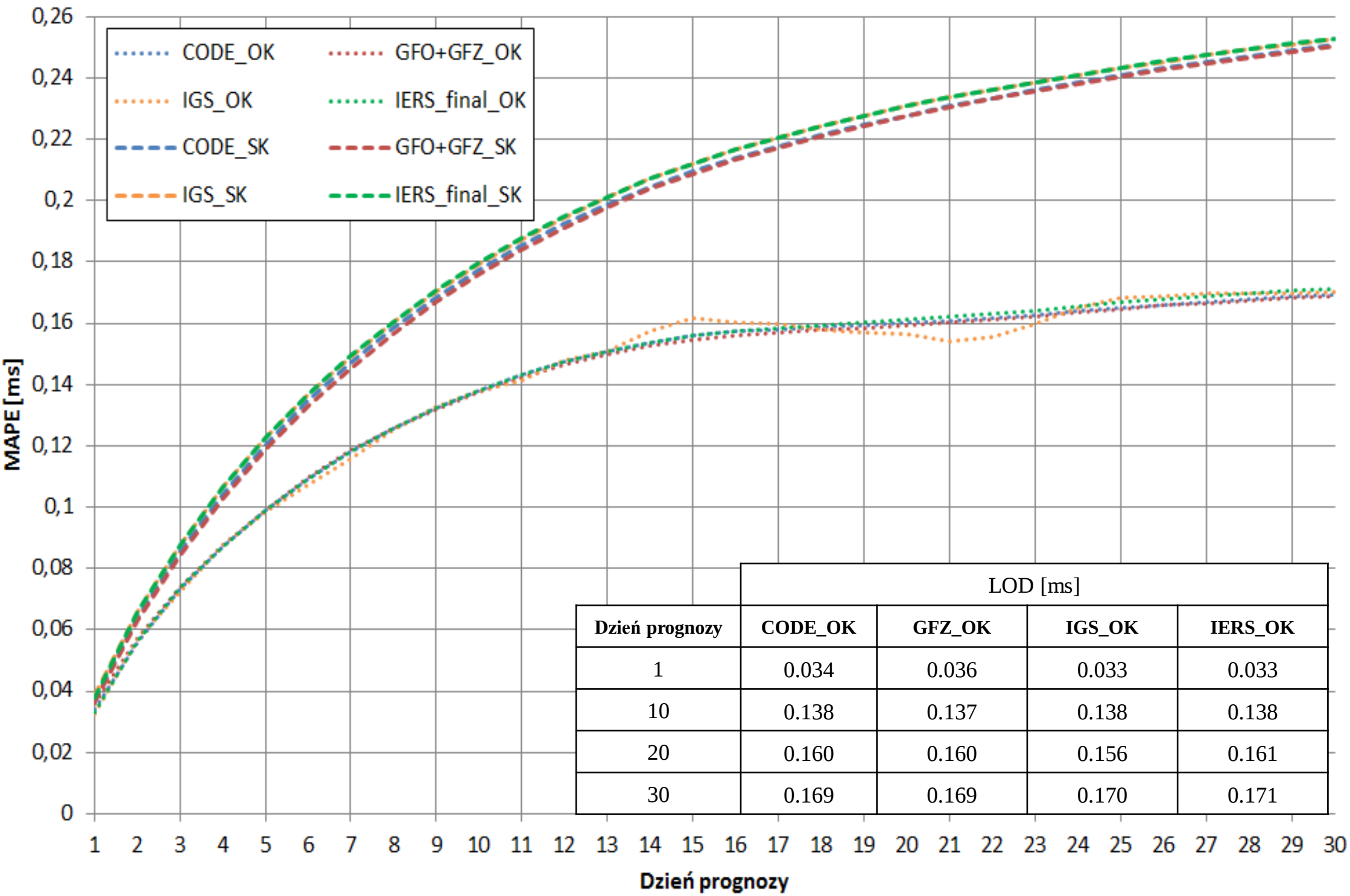
Y



LOD



LOD



Wnioski

- Prognoza z wykorzystaniem metody krilingu zwyczajnego pozwala na osiągnięcie większej dokładności niż z wykorzystaniem krilingu prostego
- Różnica dokładności prognozy między 3 centrami obliczeniowymi jest zanedbywalna
- Dokładność prognozy przy wykorzystaniu produktów finalnych jest bardzo podobna do dokładności prognozy na produktach rapid
- Przedstawione metody prognozy są etapem wstępnym badań
- Autorzy biorą aktualnie udział w Drugiej Kampanii Porównawczej Predykcji Parametrów Orientacji Ziemi

Dziękuję za uwagę!

Maciej Michalczak

email: mmichalc@agh.edu.pl

website: home.agh.edu.pl/~mmichalc