

The European Commission's science and knowledge service

Joint Research Centre Investigating continentalscale synchronicity of wind power national production in the EU with different meteorological datasets.

F. Monforti, T. Huld, I. Gonzalez-Aparicio, A. Zucker, M.M. Miglietta, M. Poncela Blanco, G. Fulli

Joint Research Centre

X



Scope of the presentation

- Datasets recently developed at JRC allow to have quite a detailed look to the spatial and temporal features of wind power production through EU.
- The main goal of the presentation is to have a first look to the mutual *synchronicity* of wind power production patterns in the EU countries using Pearsons' correlation coefficient as the main mathematical tool.
- The scope of the work is to understand how different national (and regional) wind power productions are expected to interact each other in order to highlight recurrent patterns in the market. ("copper plate approximation" assumed).





Data

- Wind power production hourly series have been modelled following the methodology shown in the previous presentation (Gonzalez – Aparicio et al)
- 3 datasets based on ECMWF, MERRA and EMHIRES drivers
- In this study 27 EU countries are considered (except MT) for years 2012 to 2015

Data validation

 Wind power time series have been validate against ENTSO-E data as shown in the previous presentation. (good correlation)





Current literature

1632

F. Monforti et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 59 (2016) 1622-1638

Table 6

Country-to-country correlation for EU-28 countries included in the study. The table shows time (1961–2050) and ensemble (12 models) mean values.

Rij	PT	ES	FI	EE	LV	LT	SE	DK	IE	UK	FR	LU	BE	NL	DE	PL	CZ	AT	SK	HU	HR	SI	Π	RO	BG	GR	CY
PT	1.00	0.80	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.05	0.09	0.34	0.14	0.15	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.10	0.16	0.15	0.23	0.08	0.07	0.05	0.02
ES	0.80	1.00	0.11	0.09	0.10	0.10	0.13	0.08	0.05	0.11	0.50	0.20	0.19	0.12	0.13	0.12	0.15	0.18	0.19	0.17	0.27	0.24	0.40	0.15	0.14	0.14	0.05
FI	0.06	0.11	1.00	0.58	0.44	0.33	0.71	0.21	0.15	0.21	0.17	0.17	0.19	0.19	0.21	0.22	0.17	0.14	0.12	0.08	0.10	0.10	0.12	0.09	0.08	0.07	0.05
EE	0.06	0.09	0.58	1.00	0.87	0.67	0.52	0.28	0.14	0.19	0.16	0.18	0.19	0.20	0.24	0.34	0.19	0.13	0.14	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08	0.05	0.04	0.03
LV	0.07	0.10	0.44	0.87	1.00	0.90	0.48	0.33	0.14	0.21	0.18	0.21	0.22	0.23	0.30	0.49	0.26	0.18	0.20	0.14	0.10	0.10	0.10	0.12	0.05	0.02	0.02
LT	0.07	0.10	0.33	0.67	0.90	1.00	0.42	0.36	0.14	0.20	0.18	0.22	0.23	0.24	0.35	0.65	0.34	0.23	0.28	0.19	0.12	0.11	0.12	0.17	0.07	0.01	0.02
SE	0.08	0.13	0.71	0.52	0.48	0.42	1.00	0.49	0.20	0.30	0.21	0.23	0.26	0.28	0.33	0.34	0.23	0.18	0.15	0.10	0.12	0.12	0.14	0.10	0.09	0.08	0.06
DK	0.06	0.08	0.21	0.28	0.33	0.36	0.49	1.00	0.22	0.37	0.21	0.30	0.36	0.48	0.56	0.46	0.31	0.20	0.14	0.10	0.05	0.06	0.07	0.07	0.03	-0.01	0.03
IE	0.05	0.05	0.15	0.14	0.14	0.14	0.20	0.22	1.00	0.75	0.28	0.27	0.36	0.36	0.27	0.17	0.17	0.15	0.10	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.02	0.06
UK	0.09	0.11	0.21	0.19	0.21	0.20	0.30	0.37	0.75	1.00	0.42	0.46	0.60	0.63	0.45	0.25	0.26	0.20	0.13	0.08	0.08	0.10	0.11	0.08	0.07	0.02	0.06
FR	0.34	0.50	0.17	0.16	0.18	0.18	0.21	0.21	0.28	0.42	1.00	0.73	0.72	0.54	0.54	0.28	0.40	0.37	0.27	0.23	0.27	0.32	0.42	0.17	0.12	0.07	0.07
LU	0.14	0.20	0.17	0.18	0.21	0.22	0.23	0.30	0.27	0.46	0.73	1.00	0.89	0.74	0.76	0.36	0.50	0.39	0.27	0.23	0.20	0.26	0.28	0.14	0.08	0.00	0.03
BE	0.15	0.19	0.19	0.19	0.22	0.23	0.26	0.36	0.36	0.60	0.72	0.89	1.00	0.88	0.74	0.34	0.44	0.33	0.21	0.17	0.13	0.18	0.21	0.11	0.07	0.00	0.04
NL	0.10	0.12	0.19	0.20	0.23	0.24	0.28	0.48	0.36	0.63	0.54	0.74	0.88	1.00	0.78	0.37	0.43	0.31	0.19	0.15	0.10	0.14	0.16	0.10	0.06	-0.02	0.04
DE	0.09	0.13	0.21	0.24	0.30	0.35	0.33	0.56	0.27	0.45	0.54	0.76	0.74	0.78	1.00	0.64	0.75	0.58	0.39	0.35	0.22	0.26	0.30	0.24	0.15	0.03	0.05
PL	0.09	0.12	0.22	0.34	0.49	0.65	0.34	0.46	0.17	0.25	0.28	0.36	0.34	0.37	0.64	1.00	0.74	0.55	0.62	0.47	0.26	0.25	0.24	0.38	0.20	0.04	0.05
CZ	0.10	0.15	0.17	0.19	0.26	0.34	0.23	0.31	0.17	0.26	0.40	0.50	0.44	0.43	0.75	0.74	1.00	0.83	0.72	0.59	0.40	0.39	0.42	0.40	0.25	0.10	0.07
AT	0.11	0.18	0.14	0.13	0.18	0.23	0.18	0.20	0.15	0.20	0.37	0.39	0.33	0.31	0.58	0.55	0.83	1.00	0.74	0.68	0.54	0.52	0.60	0.45	0.33	0.18	0.12
SK	0.12	0.19	0.12	0.14	0.20	0.28	0.15	0.14	0.10	0.13	0.27	0.27	0.21	0.19	0.39	0.62	0.72	0.74	1.00	0.87	0.62	0.55	0.49	0.59	0.36	0.15	0.09
HU	0.10	0.17	0.08	0.09	0.14	0.19	0.10	0.10	0.06	0.08	0.23	0.23	0.17	0.15	0.35	0.47	0.59	0.68	0.87	1.00	0.77	0.67	0.55	0.67	0.43	0.19	0.08
HR	0.16	0.27	0.10	0.08	0.10	0.12	0.12	0.05	0.06	0.08	0.27	0.20	0.13	0.10	0.22	0.26	0.40	0.54	0.62	0.77	1.00	0.86	0.73	0.48	0.34	0.20	0.05
SI	0.15	0.24	0.10	0.08	0.10	0.11	0.12	0.06	0.07	0.10	0.32	0.26	0.18	0.14	0.26	0.25	0.39	0.52	0.55	0.67	0.86	1.00	0.59	0.34	0.18	0.07	0.03
П	0.23	0.40	0.12	0.09	0.10	0.12	0.14	0.07	0.07	0.11	0.42	0.28	0.21	0.16	0.30	0.24	0.42	0.60	0.49	0.55	0.73	0.59	1.00	0.42	0.38	0.36	0.09
RO	0.08	0.15	0.09	0.08	0.12	0.17	0.10	0.07	0.06	0.08	0.17	0.14	0.11	0.10	0.24	0.38	0.40	0.45	0.59	0.67	0.48	0.34	0.42	1.00	0.78	0.37	0.14
BG	0.07	0.14	0.08	0.05	0.05	0.07	0.09	0.03	0.06	0.07	0.12	0.08	0.07	0.06	0.15	0.20	0.25	0.33	0.36	0.43	0.34	0.18	0.38	0.78	1.00	0.67	0.18
GR	0.05	0.14	0.07	0.04	0.02	0.01	0.08	-0.01	0.02	0.02	0.07	0.00	0.00	-0.02	0.03	0.04	0.10	0.18	0.15	0.19	0.20	0.07	0.36	0.37	0.67	1.00	0.21
CY	0.02	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.06	0.03	0.06	0.06	0.07	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.12	0.09	0.08	0.05	0.03	0.09	0.14	0.18	0.21	1.00



Current literature

1632

F. Monforti et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 59 (2016) 1622-1638

Table 6

Country-to-country correlation for EU-28 countries included in the study. The table shows time (1961–2050) and ensemble (12 models) mean values.

Rij	PT	ES	FI	EE	LV	LT	SE	DK	IE	UK	FR	LU	BE	NL	DE	PL	CZ	AT	SK	HU	HR	SI	Π	RO	BG	GR	CY
PT	1.00	0.80	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.05	0.09	0.34	0.14	0.15	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.10	0.16	0.15	0.23	0.08	0.07	0.05	0.02
ES	0.80	1.00	0.11	0.09	0.10	0.10	0.13	0.08	0.05	0.11	0.50	0.20	0.19	0.12	0.13	0.12	0.15	0.18	0.19	0.17	0.27	0.24	0.40	0.15	0.14	0.14	0.05
FI	0.06	0.11	1.00	0.58	0.44	0.33	0.71	0.21	0.15	0.21	0.17	0.17	0.19	0.19	0.21	0.22	0.17	0.14	0.12	0.08	0.10	0.10	0.12	0.09	0.08	0.07	0.05
EE	0.06	0.09	0.58	1.00	0.87	0.67	0.52	0.28	0.14	0.19	0.16	0.18	0.19	0.20	0.24	0.34	0.19	0.13	0.14	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08	0.05	0.04	0.03
LV	0.07	0.10	0.44	0.87	1.00	0.90	0.48	0.33	0.14	0.21	0.18	0.21	0.22	0.23	0.30	0.49	0.26	0.18	0.20	0.14	0.10	0.10	0.10	0.12	0.05	0.02	0.02
LT	0.07	0.10	0.33	0.67	0.90	1.00	0.42	0.36	0.14	0.20	0.18	0.22	0.23	0.24	0.35	0.65	0.34	0.23	0.28	0.19	0.12	0.11	0.12	0.17	0.07	0.01	0.02
SE	0.08	0.13	0.71	0.52	0.48	0.42	1.00	0.49	0.20	0.30	0.21	0.23	0.26	0.28	0.33	0.34	0.23	0.18	0.15	0.10	0.12	0.12	0.14	0.10	0.09	0.08	0.06
DK	0.06	0.08	0.21	0.28	0.33	0.36	0.49	1.00	0.22	0.37	0.21	0.30	0.36	0.48	0.56	0.46	0.31	0.20	0.14	0.10	0.05	0.06	0.07	0.07	0.03	-0.01	0.03
IE	0.05	0.05	0.15	0.14	0.14	0.14	0.20	0.22	1.00	0.75	0.28	0.27	0.36	0.36	0.27	0.17	0.17	0.15	0.10	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.02	0.06
UK	0.09	0.11	0.21	0.19	0.21	0.20	0.30	0.37	0.75	1.00	0.42	0.46	0.60	0.63	0.45	0.25	0.26	0.20	0.13	0.08	0.08	0.10	0.11	0.08	0.07	0.02	0.06
FR	0.34	0.50	0.17	0.16	0.18	0.18	0.21	0.21	0.28	0.42	1.00	0.73	0.72	0.54	0.54	0.28	0.40	0.37	0.27	0.23	0.27	0.32	0.42	0.17	0.12	0.07	0.07
LU	0.14	0.20	0.17	0.18	0.21	0.22	0.23	0.30	0.27	0.46	0.73	1.00	0.89	0.74	0.76	0.36	0.50	0.39	0.27	0.23	0.20	0.26	0.28	0.14	0.08	0.00	0.03
BE	0.15	0.19	0.19	0.19	0.22	0.23	0.26	0.36	0.36	0.60	0.72	0.89	1.00	0.88	0.74	0.34	0.44	0.33	0.21	0.17	0.13	0.18	0.21	0.11	0.07	0.00	0.04
NL	0.10	0.12	0.19	0.20	0.23	0.24	0.28	0.48	0.36	0.63	0.54	0.74	0.88	1.00	0.78	0.37	0.43	0.31	0.19	0.15	0.10	0.14	0.16	0.10	0.06	-0.02	0.04
DE	0.09	0.13	0.21	0.24	0.30	0.35	0.33	0.56	0.27	0.45	0.54	0.76	0.74	0.78	1.00	0.64	0.75	0.58	0.39	0.35	0.22	0.26	0.30	0.24	0.15	0.03	0.05
PL	0.09	0.12	0.22	0.34	0.49	0.65	0.34	0.46	0.17	0.25	0.28	0.36	0.34	0.37	0.64	1.00	0.74	0.55	0.62	0.47	0.26	0.25	0.24	0.38	0.20	0.04	0.05
CZ	0.10	0.15	0.17	0.19	0.26	0.34	0.23	0.31	0.17	0.26	0.40	0.50	0.44	0.43	0.75	0.74	1.00	0.83	0.72	0.59	0.40	0.39	0.42	0.40	0.25	0.10	0.07
AT	0.11	0.18	0.14	0.13	0.18	0.23	0.18	0.20	0.15	0.20	0.37	0.39	0.33	0.31	0.58	0.55	0.83	1.00	0.74	0.68	0.54	0.52	0.60	0.45	0.33	0.18	0.12
SK	0.12	0.19	0.12	0.14	0.20	0.28	0.15	0.14	0.10	0.13	0.27	0.27	0.21	0.19	0.39	0.62	0.72	0.74	1.00	0.87	0.62	0.55	0.49	0.59	0.36	0.15	0.09
HU	0.10	0.17	0.08	0.09	0.14	0.19	0.10	0.10	0.06	0.08	0.23	0.23	0.17	0.15	0.35	0.47	0.59	0.68	0.87	1.00	0.77	0.67	0.55	0.67	0.43	0.19	0.08
HR	0.16	0.27	0.10	0.08	0.10	0.12	0.12	0.05	0.06	0.08	0.27	0.20	0.13	0.10	0.22	0.26	0.40	0.54	0.62	0.77	1.00	0.86	0.73	0.48	0.34	0.20	0.05
SI	0.15	0.24	0.10	0.08	0.10	0.11	0.12	0.06	0.07	0.10	0.32	0.26	0.18	0.14	0.26	0.25	0.39	0.52	0.55	0.67	0.86	1.00	0.59	0.34	0.18	0.07	0.03
П	0.23	0.40	0.12	0.09	0.10	0.12	0.14	0.07	0.07	0.11	0.42	0.28	0.21	0.16	0.30	0.24	0.42	0.60	0.49	0.55	0.73	0.59	1.00	0.42	0.38	0.36	0.09
RO	0.08	0.15	0.09	0.08	0.12	0.17	0.10	0.07	0.06	0.08	0.17	0.14	0.11	0.10	0.24	0.38	0.40	0.45	0.59	0.67	0.48	0.34	0.42	1.00	0.78	0.37	0.14
BG	0.07	0.14	0.08	0.05	0.05	0.07	0.09	0.03	0.06	0.07	0.12	0.08	0.07	0.06	0.15	0.20	0.25	0.33	0.36	0.43	0.34	0.18	0.38	0.78	1.00	0.67	0.18
GR	0.05	0.14	0.07	0.04	0.02	0.01	0.08	-0.01	0.02	0.02	0.07	0.00	0.00	-0.02	0.03	0.04	0.10	0.18	0.15	0.19	0.20	0.07	0.36	0.37	0.67	1.00	0.21
CY	0.02	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.06	0.03	0.06	0.06	0.07	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.07	0.12	0.09	0.08	0.05	0.03	0.09	0.14	0.18	0.21	1.00



Current literature

1632

F. Monforti et al. / Rene A. Buttler et al. / Energy 106 (2016) 147-161 (622-1638

Table 6

Country-to-country correlation for EU-28 (





dels) mean values.

SI	Π	RO	BG	GR	CY
0.15	0.23	0.08	0.07	0.05	0.02
0.24	0.40	0.15	0.14	0.14	0.05
0.10	0.12	0.09	0.08	0.07	0.05
80.0	0.09	0.08	0.05	0.04	0.03
0.10	0.10	0.12	0.05	0.02	0.02
0.11	0.12	0.17	0.07	0.01	0.02
0.12	0.14	0.10	0.09	0.08	0.06
0.06	0.07	0.07	0.03	-0.01	0.03
0.07	0.07	0.06	0.06	0.02	0.06
0.10	0.11	0.08	0.07	0.02	0.06
0.32	0.42	0.17	0.12	0.07	0.07
0.26	0.28	0.14	0.08	0.00	0.03
0.18	0.21	0.11	0.07	0.00	0.04
0.14	0.16	0.10	0.06	-0.02	0.04
0.26	0.30	0.24	0.15	0.03	0.05
0.25	0.24	0.38	0.20	0.04	0.05
0.39	0.42	0.40	0.25	0.10	0.07
0.52	0.60	0.45	0.33	0.18	0.12
0.55	0.49	0.59	0.36	0.15	0.09
0.67	0.55	0.67	0.43	0.19	0.08
0.86	0.73	0.48	0.34	0.20	0.05
1.00	0.59	0.34	0.18	0.07	0.03
0.59	1.00	0.42	0.38	0.36	0.09
0.34	0.42	1.00	0.78	0.37	0.14
0.18	0.38	0.78	1.00	0.67	0.18
0.07	0.36	0.37	0.67	1.00	0.21
0.03	0.09	0.14	0.18	0.21	1.00





Correlation and Complementarity

In principle:

lower correlation =

wind power production in country *i* is less synchronous with other productions = more complementarity

better "selling"





0 -

Country-to-Country



PT ES SE FI EE LV LT DK IE GB FR LU BE NL DE PL CZ AT SK HU IT HR SI RO BG GR CY

 EMHIRES 2015

PT ES SE FI EE

LV LT DK IE GB

FR

LU

BE

NL

DE

PL

cz

AT

SK

HU

П

HR

SI

RO

BG

GR CY



Country-to-Country vs. Distance





EMHIRES 2015



Region-to-Region



How much is the wind power in region i synchronous with wind power in region j?



Country-to-Country – year-by-year variability





Country-to-Country – year-by-year variability





Country-to-Country – year-by-year variability







Country-to-Country vs. Distance

Year-to-year variability



Country-to-Country - wind dataset dependence



3 datasets



Country-to-Country - wind dataset dependence



3 datasets





Research Centre



Y-to-Y and mod-to-mod variability (Country-to-Country)

cWW	2012	2013	2014	2015
2012	0.000	0.072	0.082	0.078
2013	0.072	0.000	0.072	0.078
2014	0.082	0.072	0.000	0.074
2015	0.078	0.078	0.074	0.000

cWW	ECMWF	MERRA	EMHIRES
ECMWF	0.000	0.033	0.043
MERRA	0.033	0.000	0.040
EMHIRES	0.043	0.040	0.000





Country-to-Country – Hourly "slices"

FRANCE - EMHIRES 2015



How much is the wind power produced in country i at time h synchronous with wind power produced in country j in the same hour?

Electricity markets are based on hourly bids



Country-to-EU – year-to-year variability



EMHIRES

Country-to-Europe

How much is the wind power in country i synchronous with wind power in the rest of the EU?



Country-to-EU – year-to-year variability

EMHIRES



Region-to-Europe

How much is the wind power in region i synchronous with wind power in the rest of the EU?



Country-to-Europe vs. Distance – y-to-y EMHIRES





Country-to-Europe vs. Distance – datasets

2015





Y-to-Y and mod-to-mod variability (Country-to-EU)

c_toEU	2012	2013	2014	2015
2012	0.000	0.075	0.074	0.075
2013	0.075	0.000	0.044	0.079
2014	0.074	0.044	0.000	0.068
2015	0.075	0.079	0.068	0.000

c_toEU	ECMWF	MERRA	EMHIRES
ECMWF	0.000	0.028	0.057
MERRA	0.028	0.000	0.048
EMHIRES	0.057	0.048	0.000





Country-to-Europe – Hourly "slices"



EMHIRES

How much is the wind power produced in country i at time h synchronous with wind power in the rest of the EU in the same hour?

Electricity markets are based on hourly bids



Country-to-Europe



Peripheral countries are less correlated with average EU production.

→ Their wind production comes at the right time to complement others' production

- → They produce a more "sellable" wind power
- → Suitability" depends on the bidding hour



Country-to-Europe





The most "asynchronous" countries for wind power production are not always the better interconnected



Summary

- Europe is large enough to include areas with very different wind regimes.
- Then, wind power production is partially asynchronous across Europe.
- Being out of synchronicity with potential competitors is an added value for a wind power producer, provided that the grid allows timely dispatching
- Country-to-country, regional and continental correlation and synchronicity have been quantitatively evaluated on the base of three different meteorological datasets for years 2012-2015





Findings

- For country-to-country and country-to-EU correlation factors year-to-year variability seems larger than variability among datasets.
- Correlation coefficients show a pattern when analysed for "hourly slices".
- C-to-C correlations decrease from 1 to about 0.2 in about 1000 km
- C-to-EU correlation decreases less sharply with distance





Possible next steps

- Extend the analysis to more years.
- Deeper understanding of the link between observed patterns and the meteorological picture (e.g, latitude effects, seasonality, onshore vs. offshore,...)
- Include solar generation (transmission and distribution)
- Investigate correlation with electricity demand.





Thank you!!

Fabio.monforti-ferrario@ec.europa.eu

