

Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
INSTYTUT TECHNIKI CIEPLNEJ

im. Bohdana Stefanowskiego



Zasoby energetyczne świata

Adam Rajewski
Zakład Termodynamiki

- energia [gr. *enérgeia* ‘działanie’], wielkość fizyczna służąca do ilościowego opisu różnych procesów i rodzajów oddziaływania (Encyklopedia PWN)
- wyrażona w jednostkach pracy skalarna wielkość fizyczna (SJP PWN)
- skalarna wielkość fizyczna charakteryzująca stan układu fizycznego (materii) (Leksykon naukowo-techniczny WNT)

Źródła energii a zapotrzebowanie



Dostępne formy energii

Mechaniczna

- Wiatr
- Woda

Chemiczna

- Paliwa kopalne

Termiczna

- Geotermia

Jądrowa

- Materiały rozszczepialne

Promieniowania

Potrzebne formy energii

Mechaniczna

- Transport

Elektryczna

- Elektronika

Termiczna

- Ogrzewanie

Źródła energii a zapotrzebowanie



Dostępne formy energii

Mechaniczna

- Wiatr
- Woda

Chemiczna

- Paliwa kopalne

Termiczna

- Geotermia

Jądrowa

- Materiały rozszczepialne

Promieniowania

Potrzebne formy energii

Mechaniczna

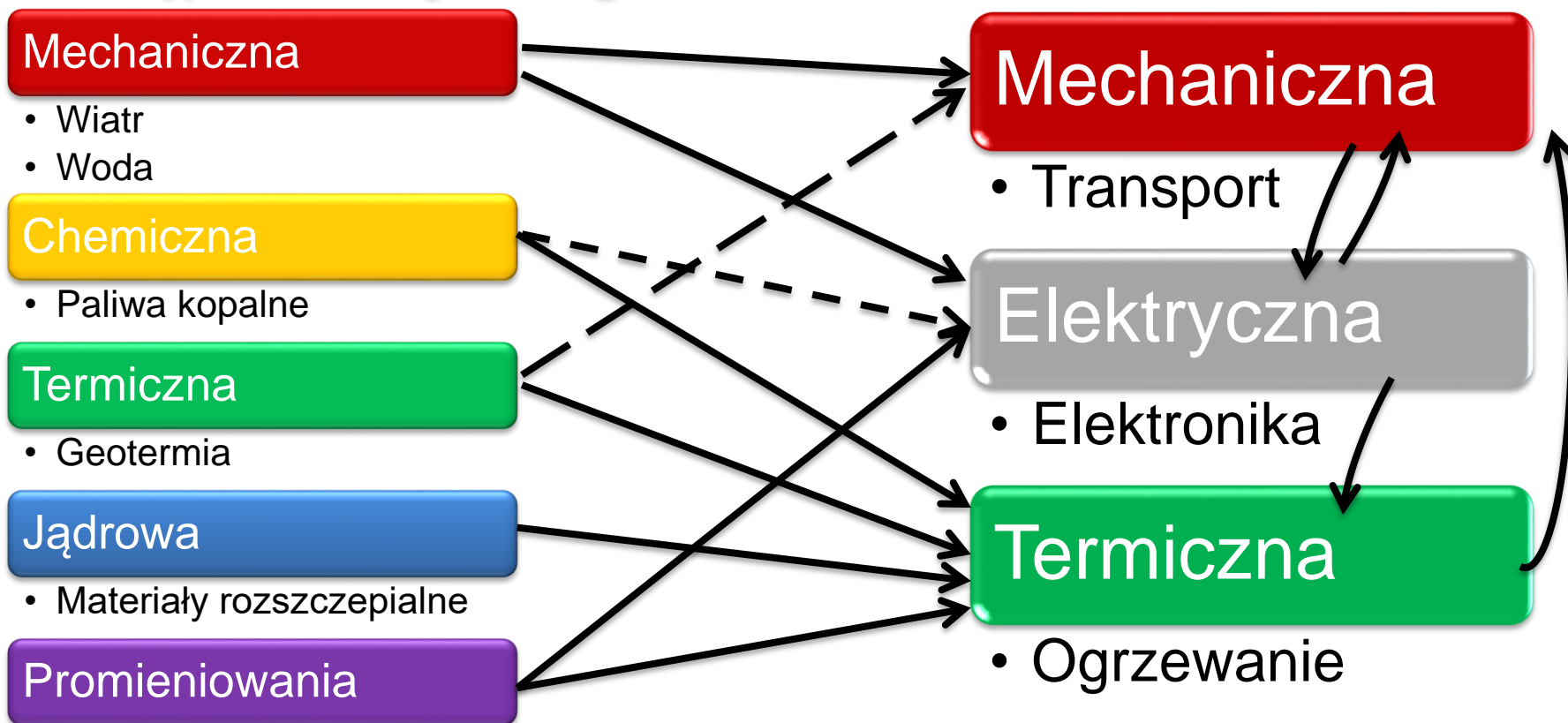
- Transport

Elektryczna

- Elektronika

Termiczna

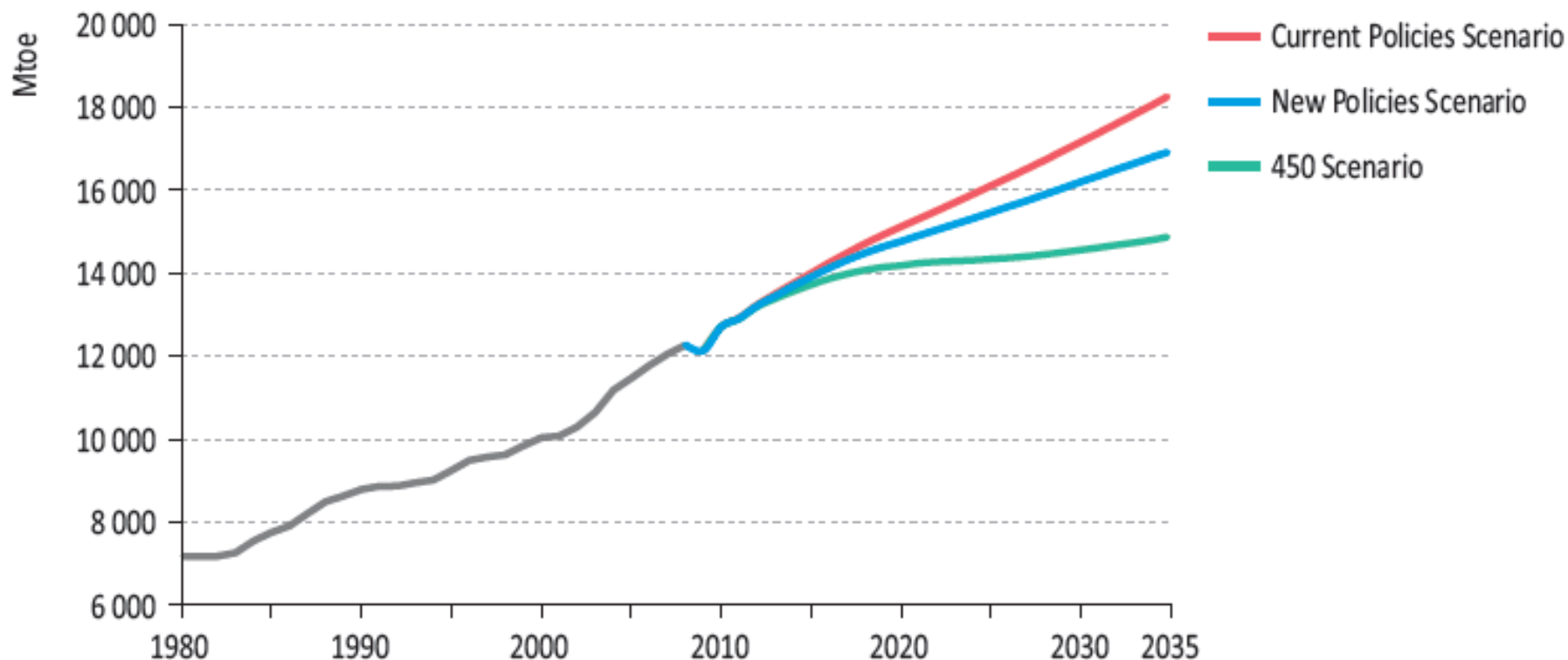
- Ogrzewanie



Zapotrzebowanie na energię pierwotną

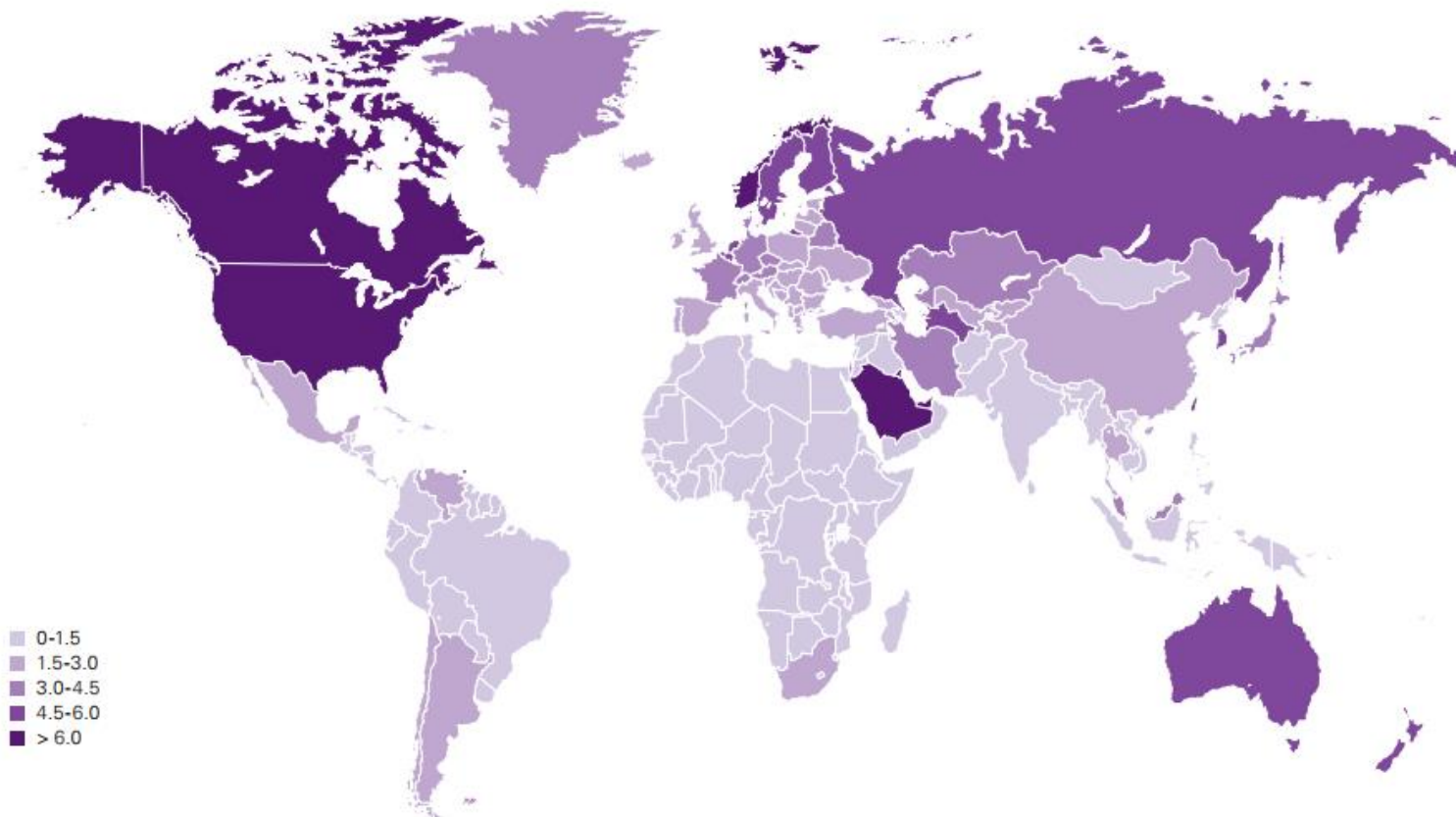


Zmiany globalnego zapotrzebowania na energię pierwotną (IEA, 2011)

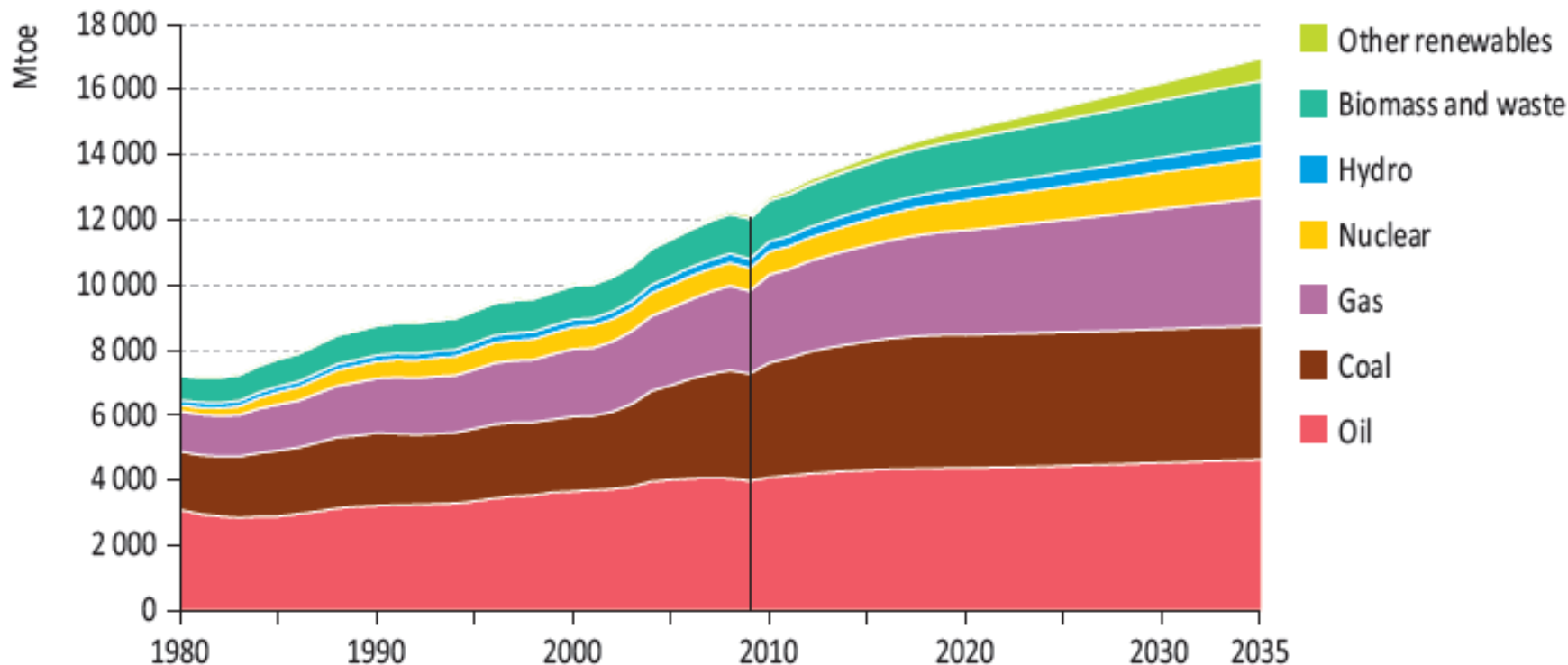


Consumption per capita 2014
Tonnes oil equivalent

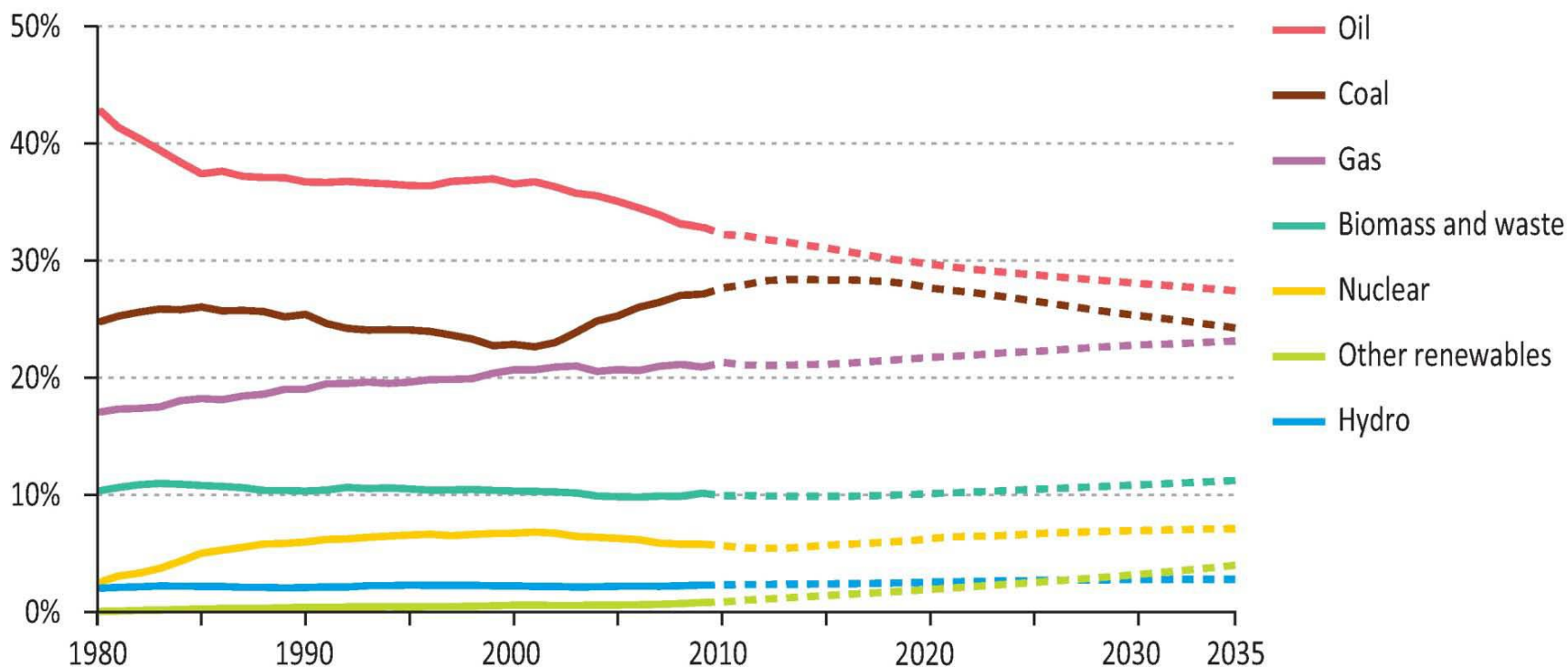
Zużycie energii pierwotnej per capita 2014 [toe] (BP, 2015)



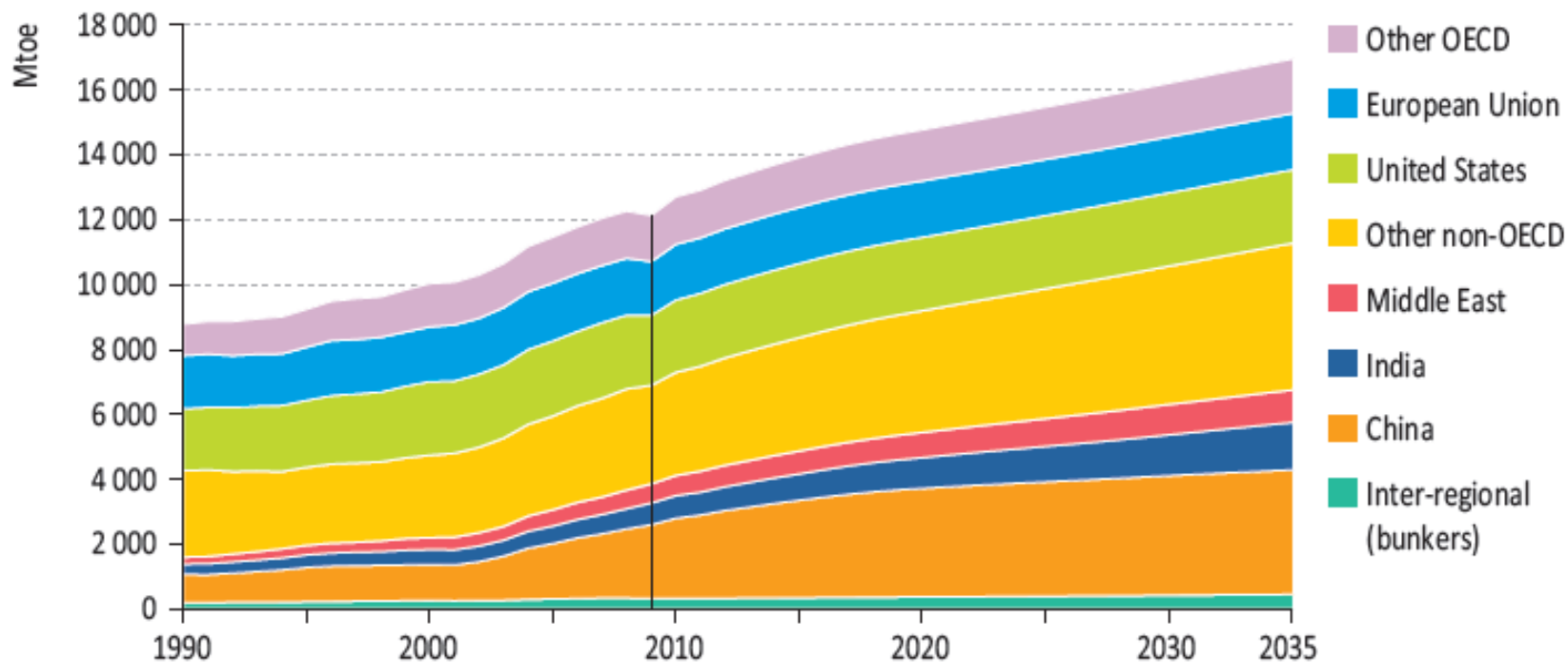
Udział źródeł w zapotrzebowaniu na energię pierwotną (IEA, 2011)
Prognoza – scenariusz „nowej polityki” (pośredni)



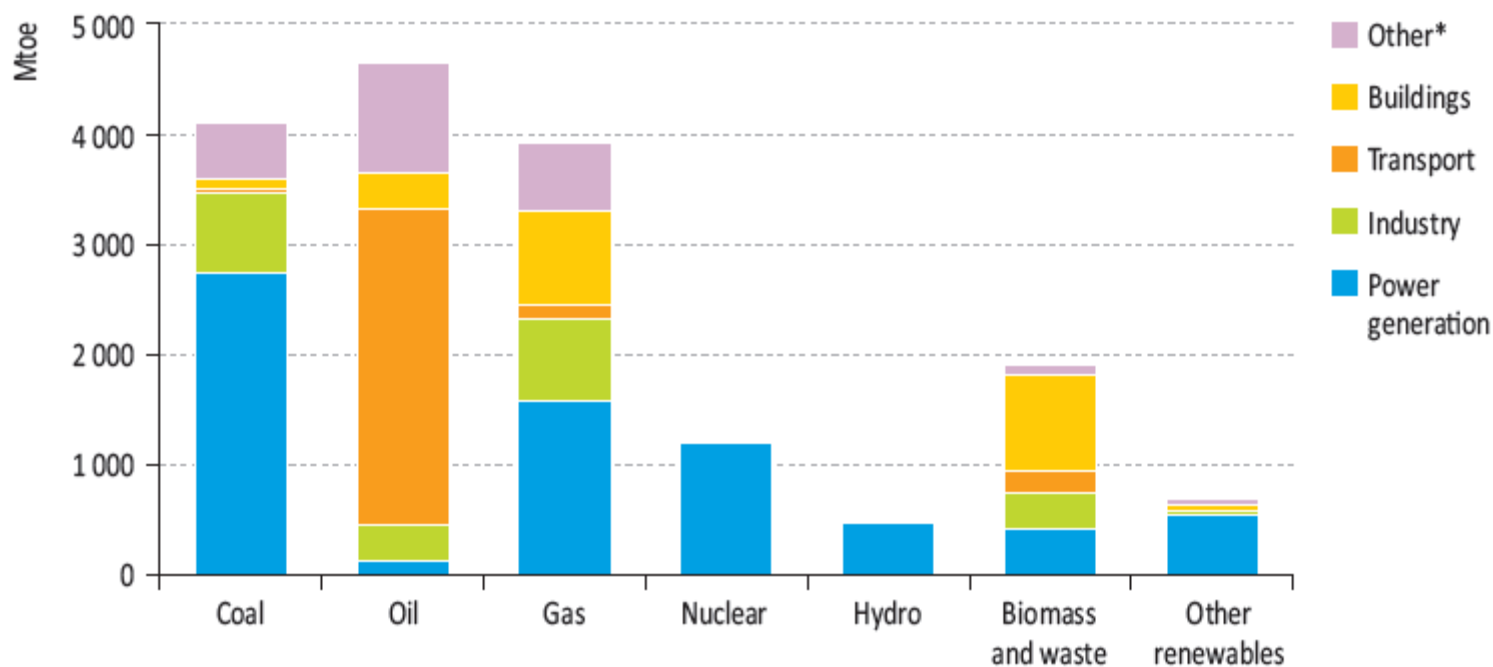
Udział źródeł w zapotrzebowaniu na energię pierwotną (IEA, 2011)
Prognoza – scenariusz „nowej polityki” (pośredni)



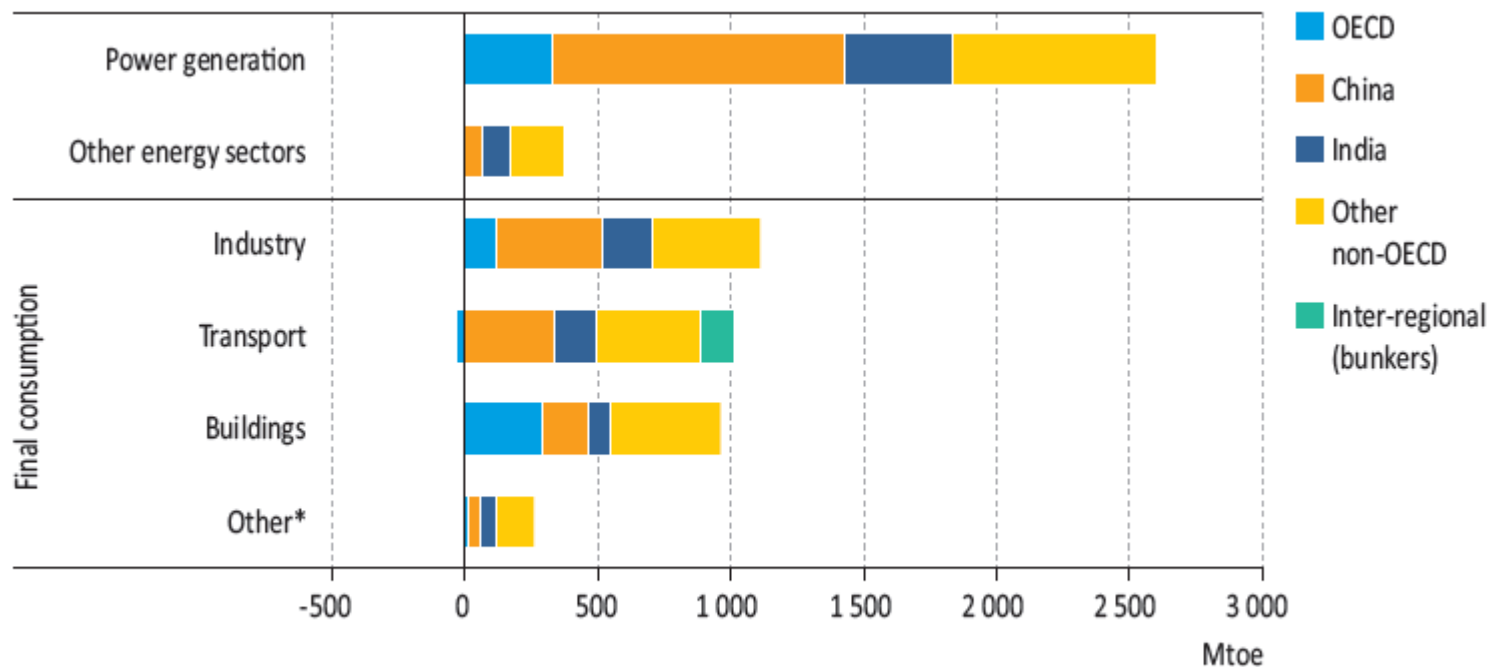
Udział regionów w zapotrzebowaniu na energię pierwotną (IEA, 2011)
Prognoza – scenariusz „nowej polityki” (pośredni)



Zapotrzebowanie na energię pierwotną w 2035 r. (IEA, 2011)
Prognoza – scenariusz „nowej polityki” (pośredni)



Przyrost zapotrzebowania 2009-2035 (IEA, 2011)
Prognoza – scenariusz „nowej polityki” (pośredni)



* Includes agriculture and non-energy use.



Nieodnawialne

„Odnawialne”

Źródła nieodnawialne

- Ograniczone zasoby (skończona ilość energii)
- Moc zależna od tempa eksploatacji
- Swoboda kształtowania sposobu wykorzystania
- Niska sprawność wykorzystania skutkuje nieodwracalnymi stratami

Źródła odnawialne

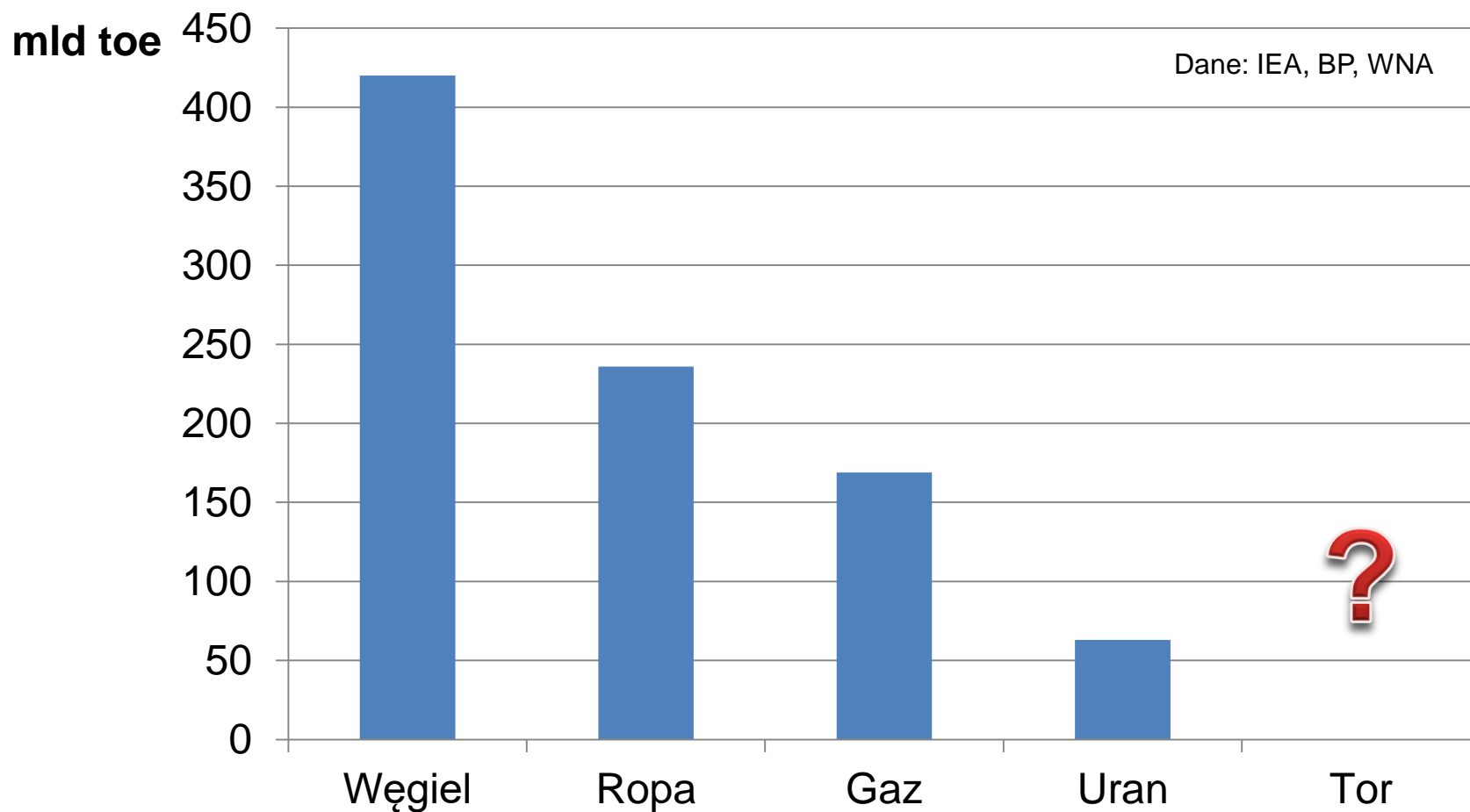
- Nieograniczone zasoby (praktycznie)
- Moc ograniczona względami naturalnymi
- Sposób wykorzystania dyktowany warunkami naturalnymi
- Niska sprawność nie powoduje nieodwracalnych strat

Paliwa kopalne

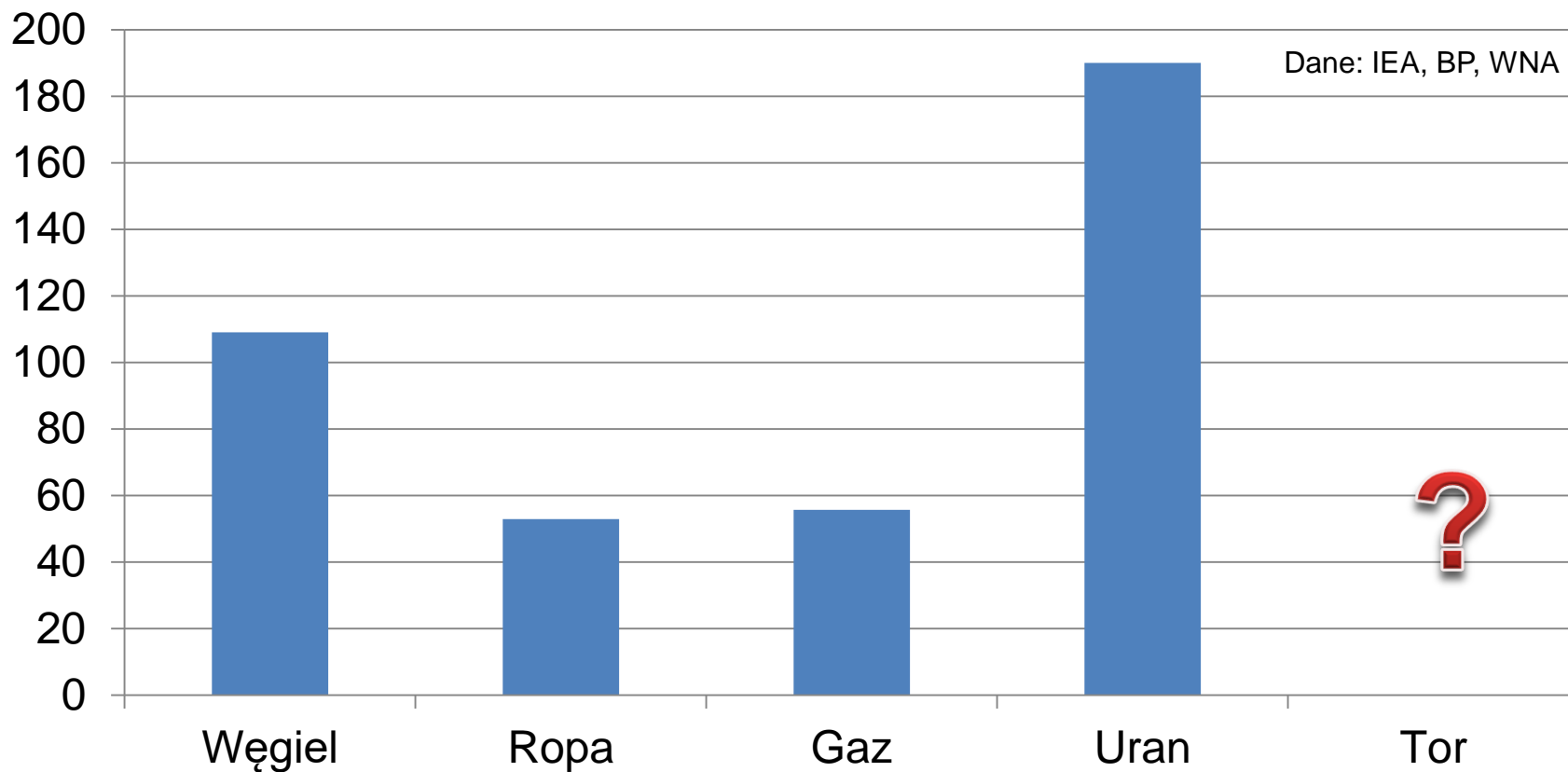
- Węgiel kamienny
- Węgiel brunatny
- Ropa
- Gaz ziemny
- Łupki bitumiczne, torf

Paliwa jądrowe

- Uran
- Tor (paliworodny)
- *Wodór (do fuzji)*

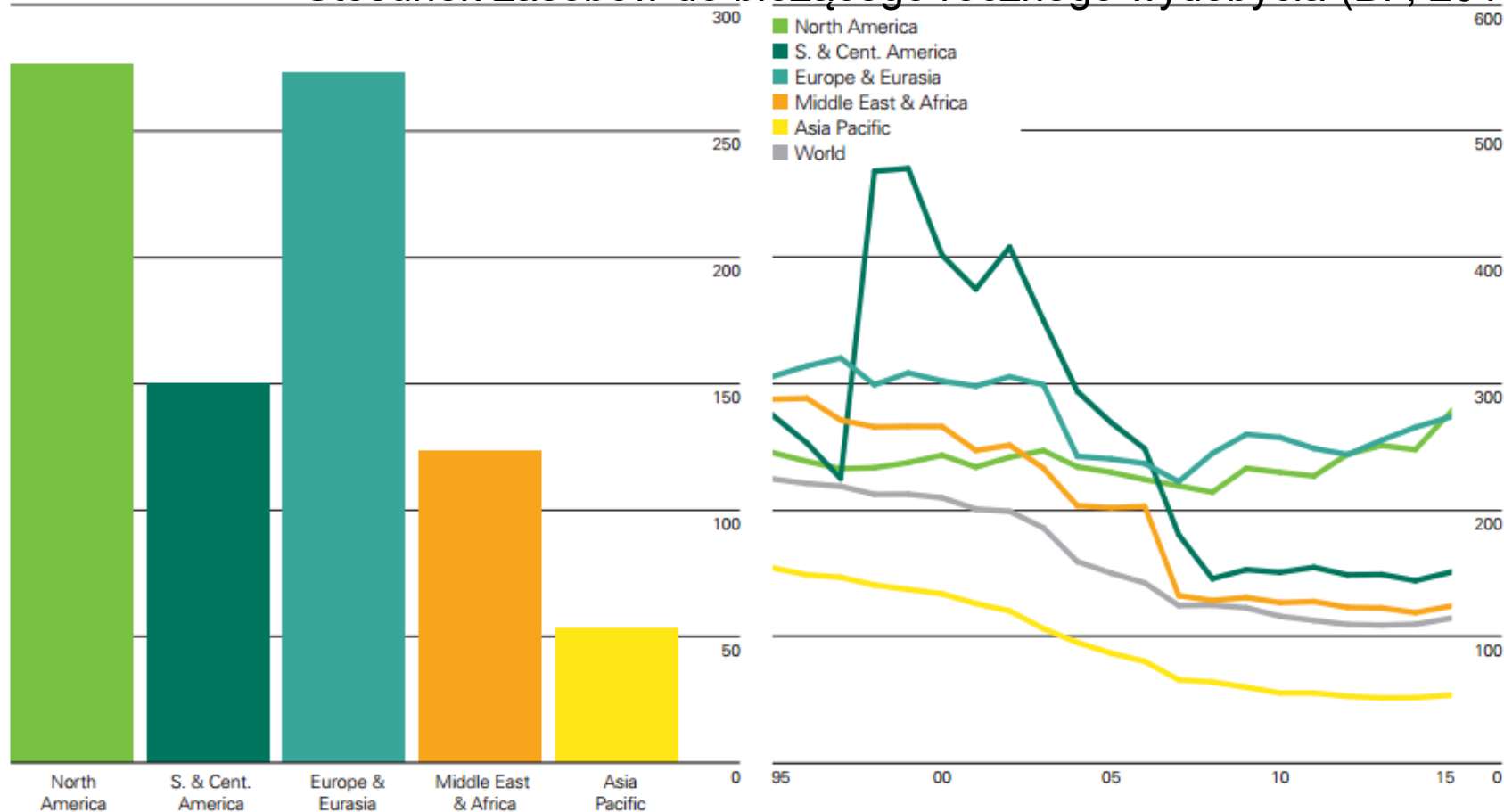


Stosunek zasobów do bieżącego rocznego wydobycia [a]



2015 by region

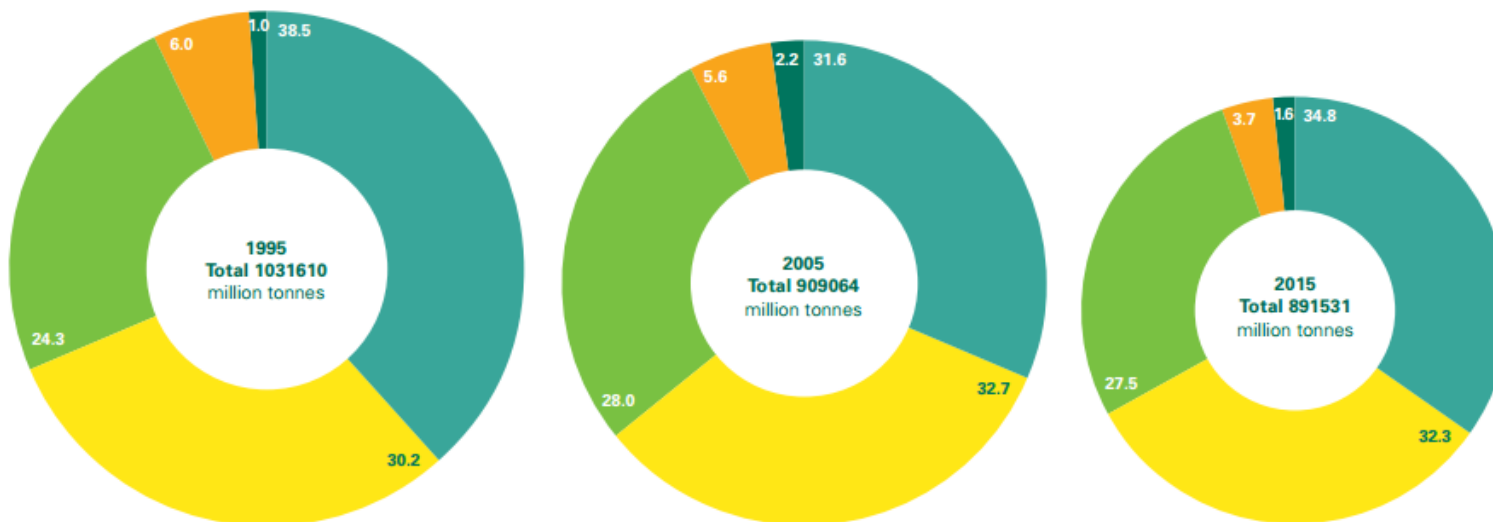
Stosunek zasobów do bieżącego rocznego wydobycia (BP, 2016)



Distribution of proved reserves in 1995, 2005 and 2015

Percentage

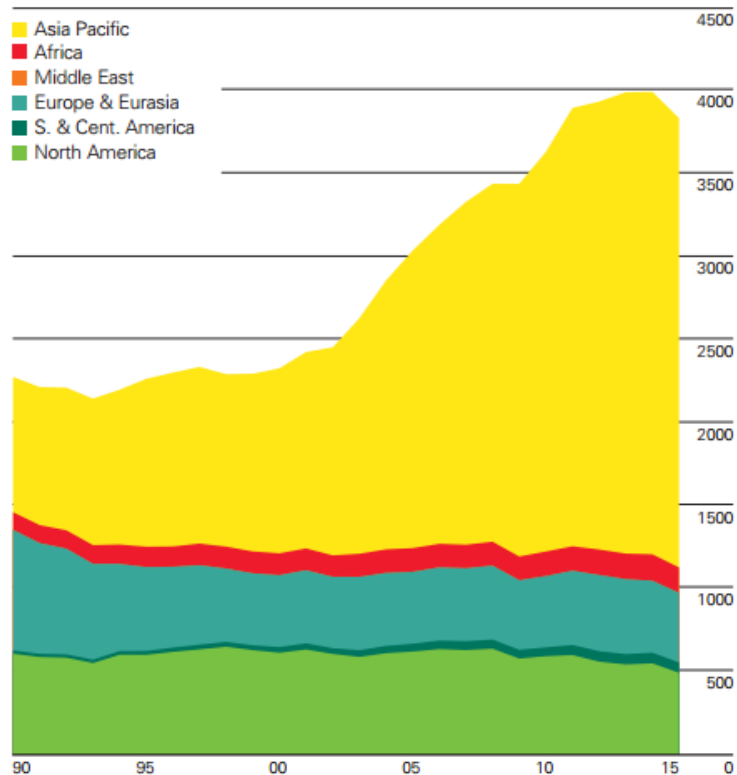
- Europe & Eurasia
- Asia Pacific
- North America
- Middle East & Africa
- S. & Cent. America

Rozkład geograficzny zasobów (BP, 2013)

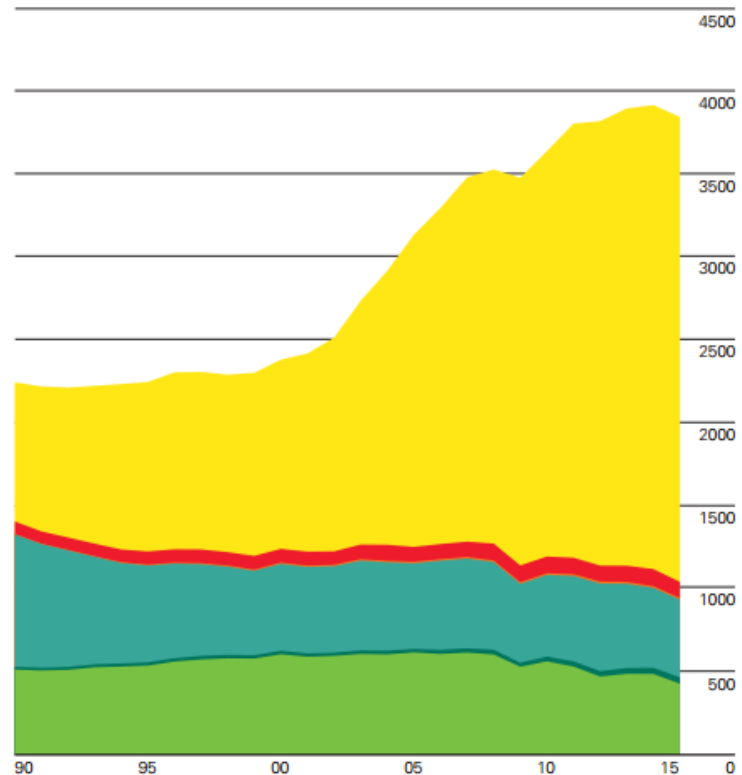
Source: World Energy Resources 2013 Survey, World Energy Council.

Coal: Production by region

Million tonnes oil equivalent

**Coal: Consumption by region**

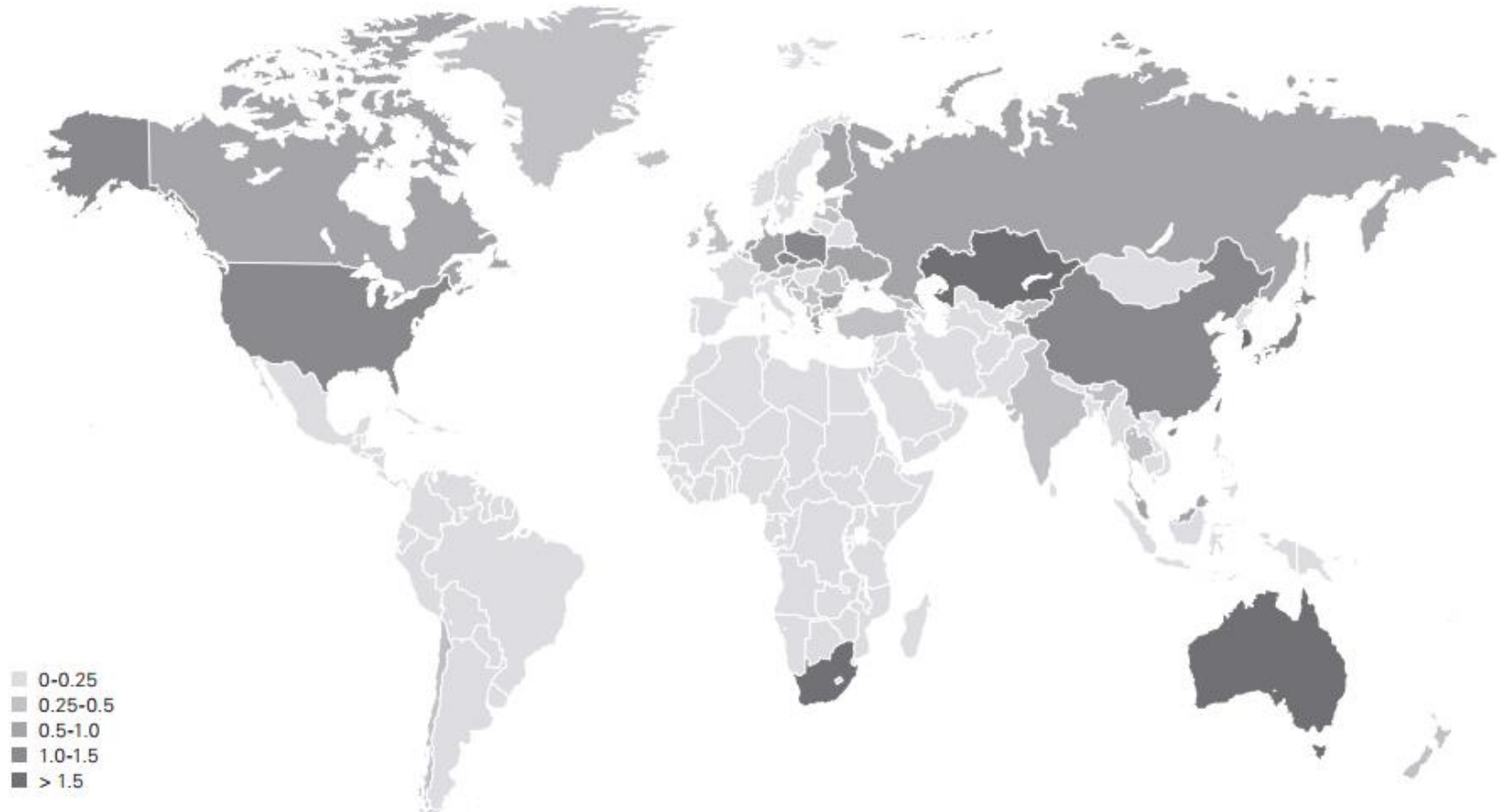
Million tonnes oil equivalent



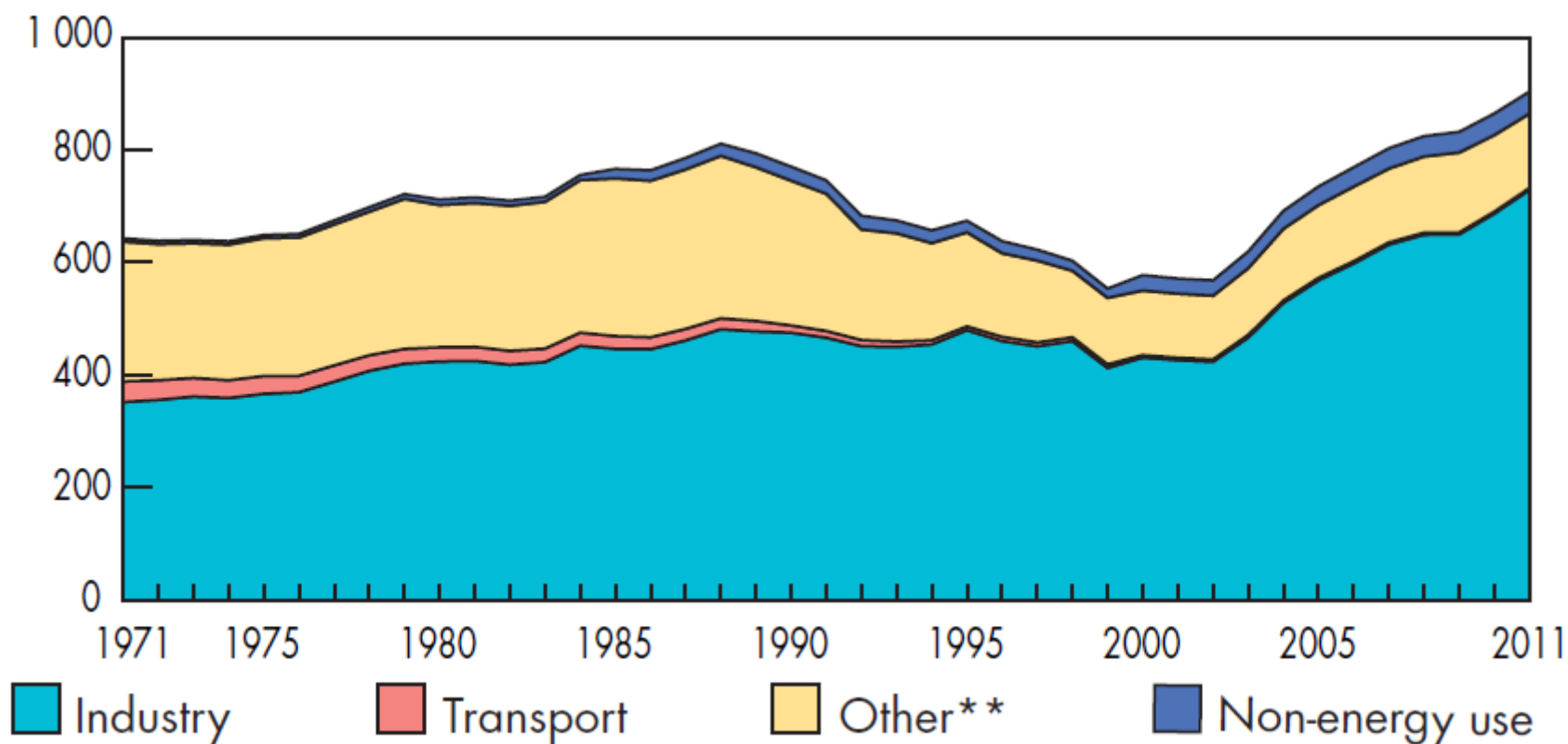
Źródło: BP, 2016

Consumption per capita 2014
Tonnes oil equivalent

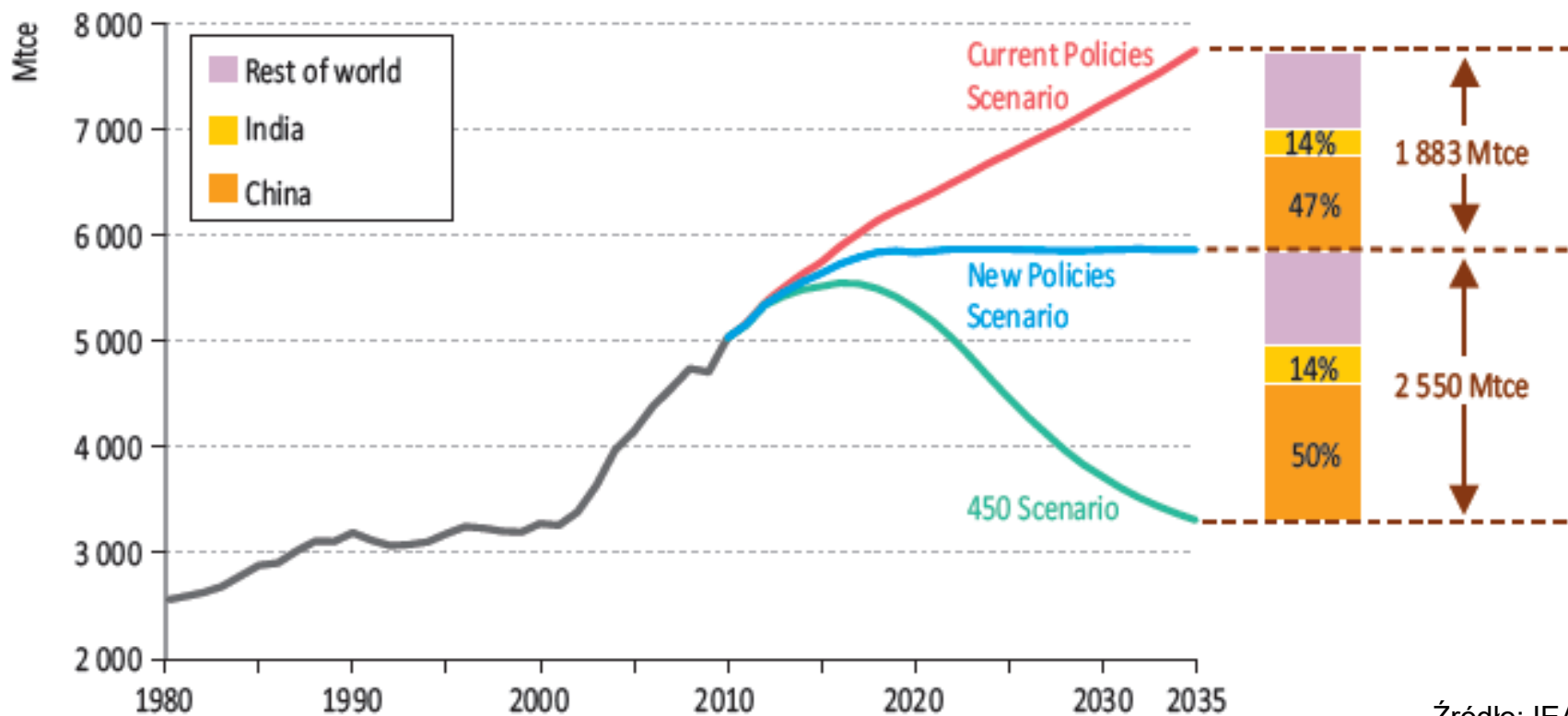
Zużycie węgla per capita w 2014 r. [toe] (BP, 2015)



Zużycie energii węgla wg sektorów [toe] (BP, 2013)

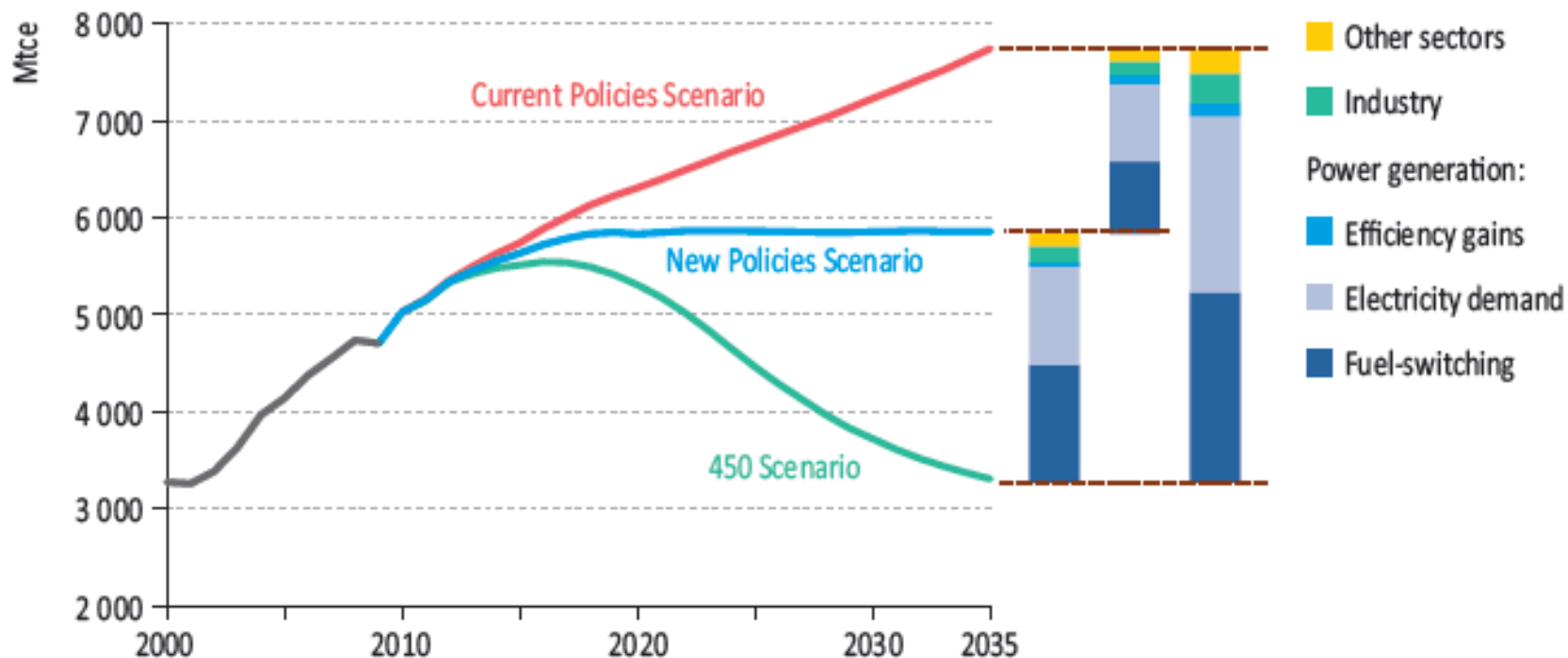


Zapotrzebowanie na energię pierwotną w węglu (IEA, 2011)



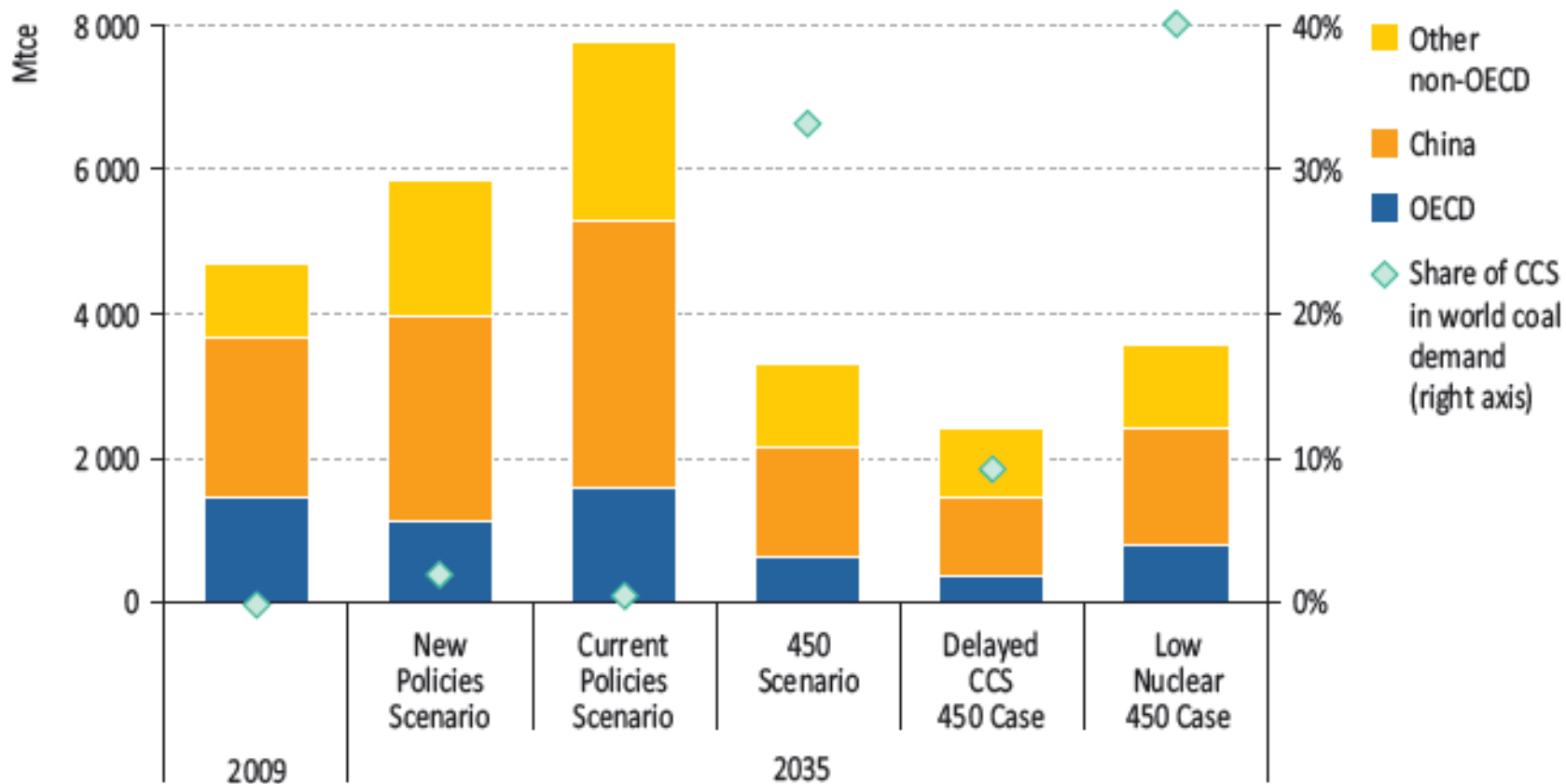
Źródło: IEA

Zapotrzebowanie na energię pierwotną w węglu (IEA, 2011)

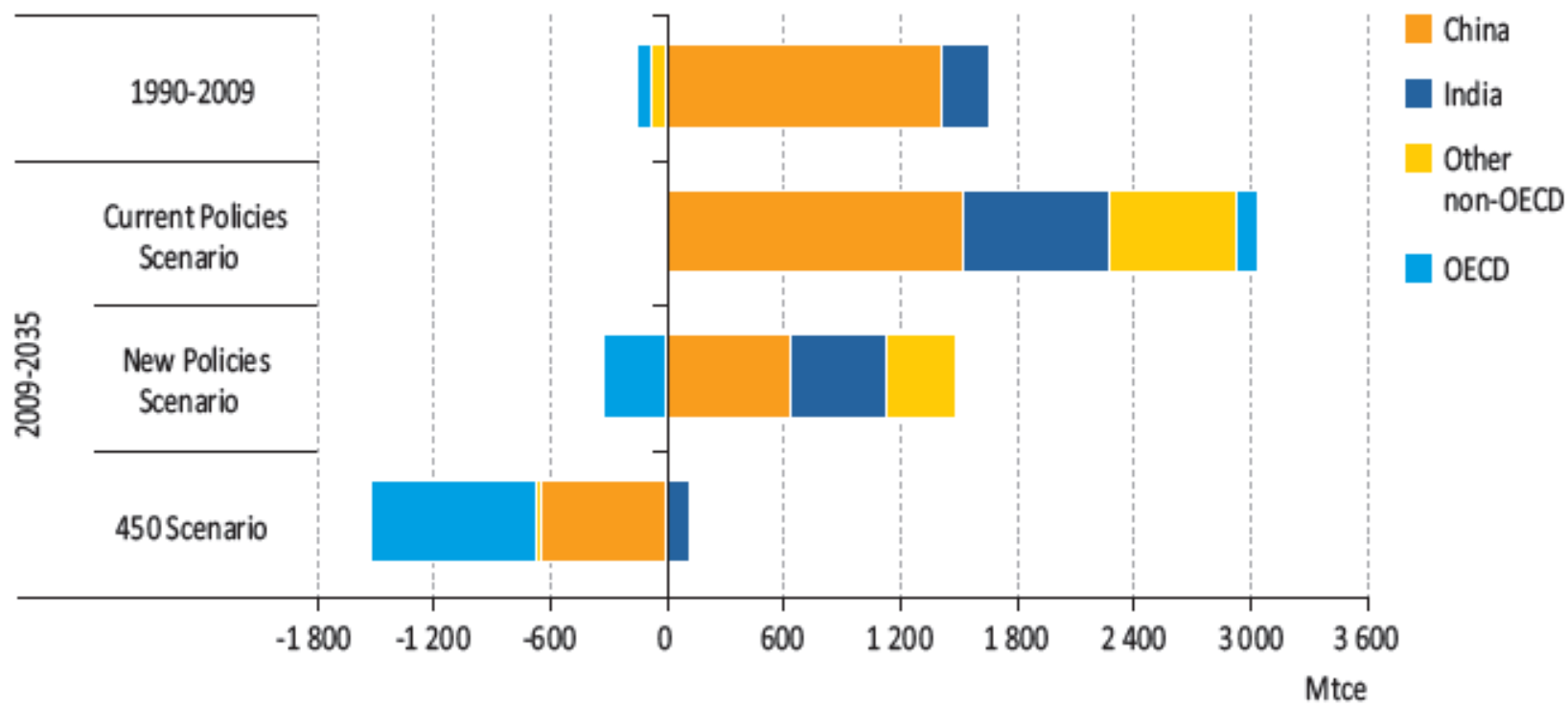


Źródło: IEA

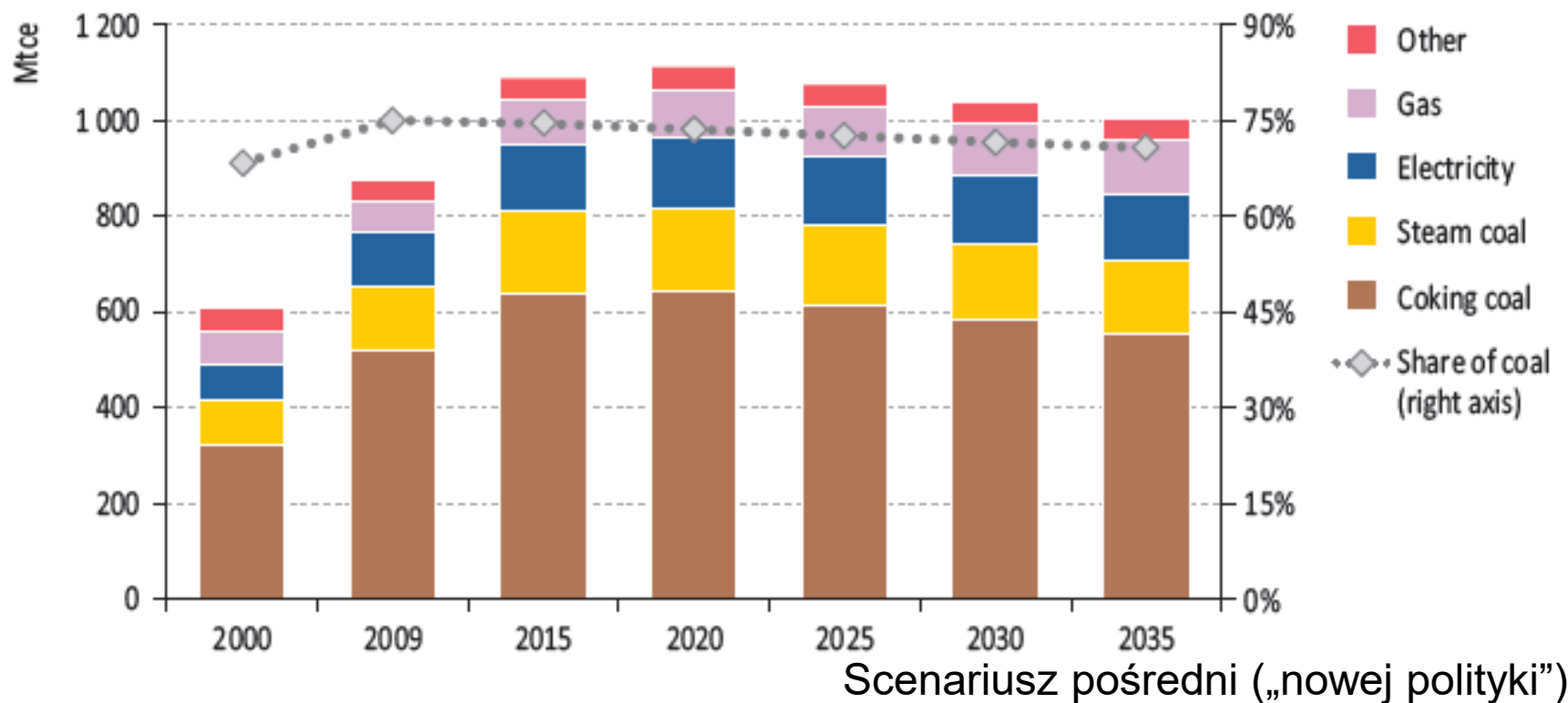
Zapotrzebowanie na energię pierwotną w węglu (IEA, 2011)



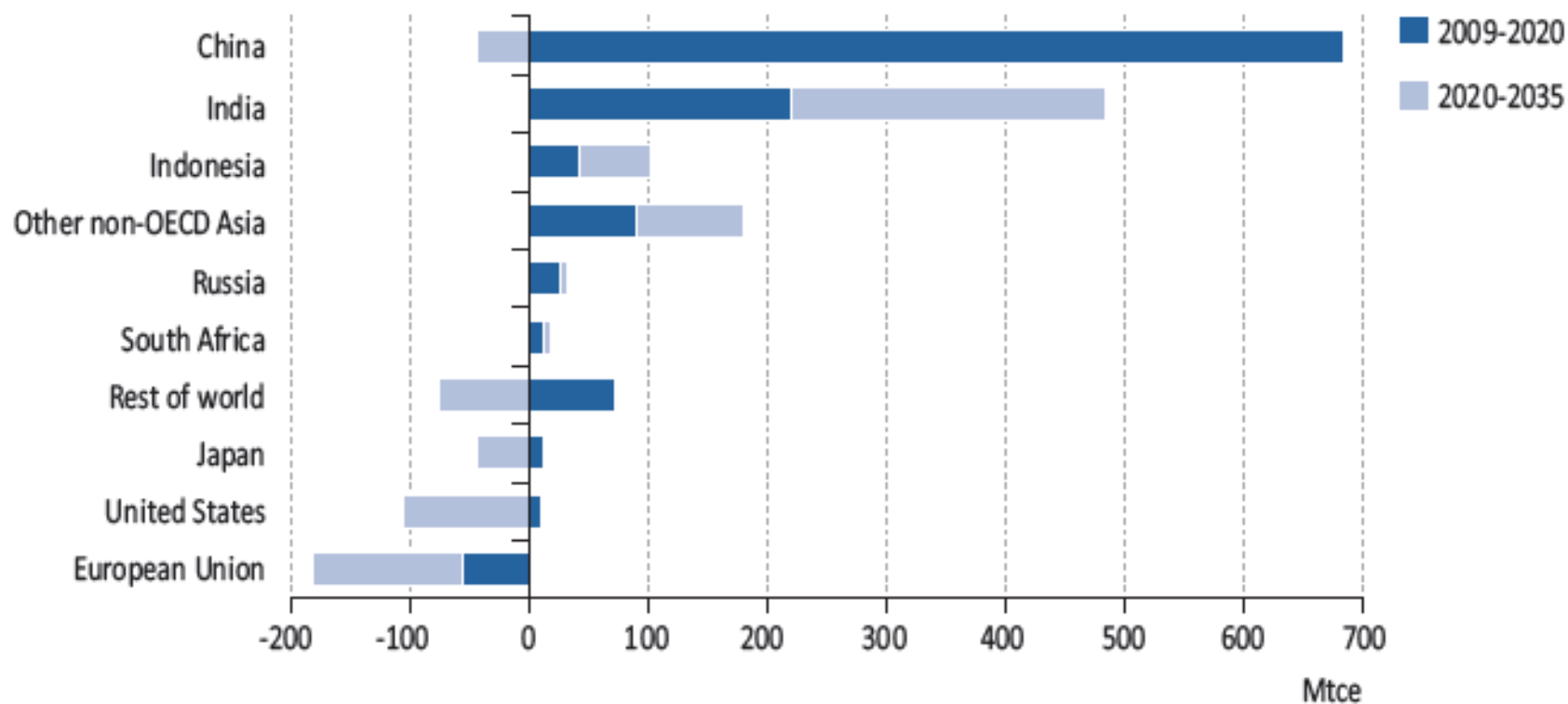
Prognozowane zmiany zużycia węgla (IEA, 2011)



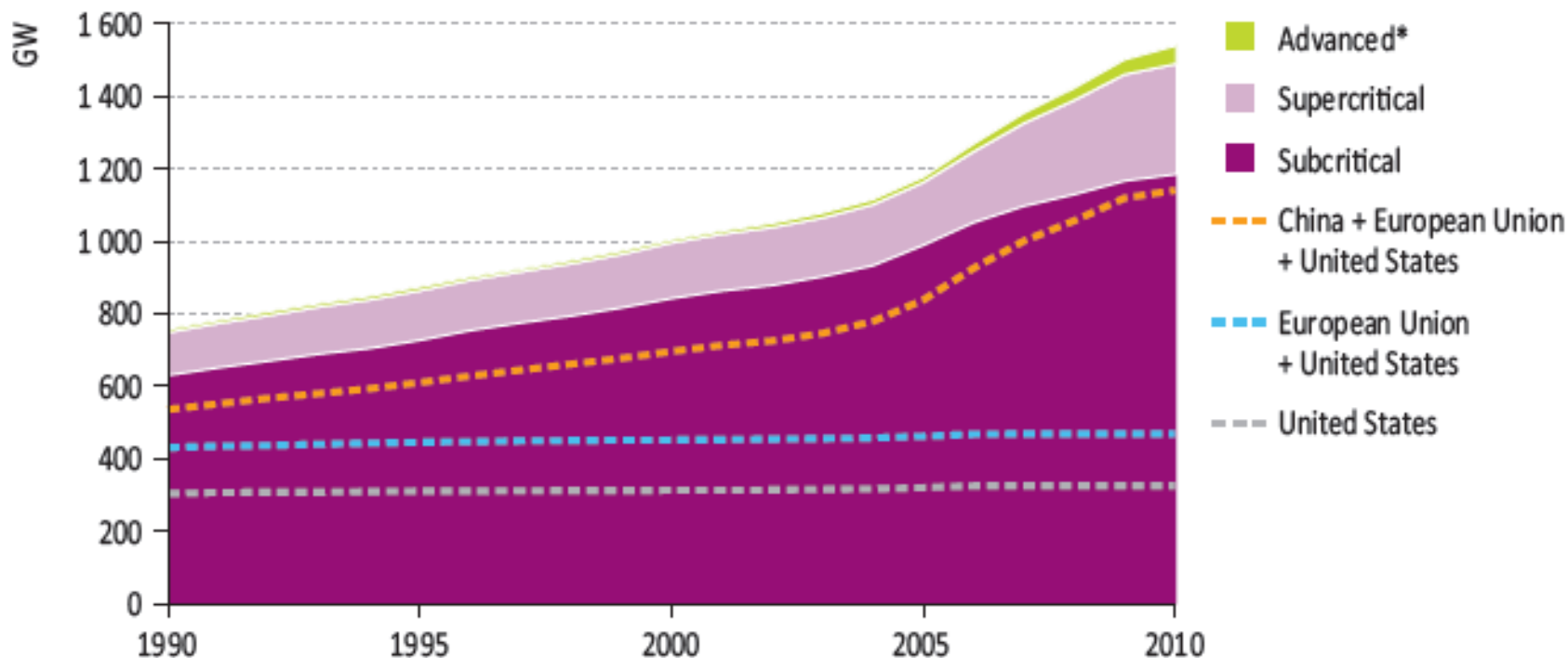
Prognozowane zużycie energii w hutnictwie (IEA, 2011)



Prognozowane zmiany zużycia węgla (IEA, 2011)



Moc zainstalowana w elektrowniach węglowych (bez EC) (IEA, 2011)

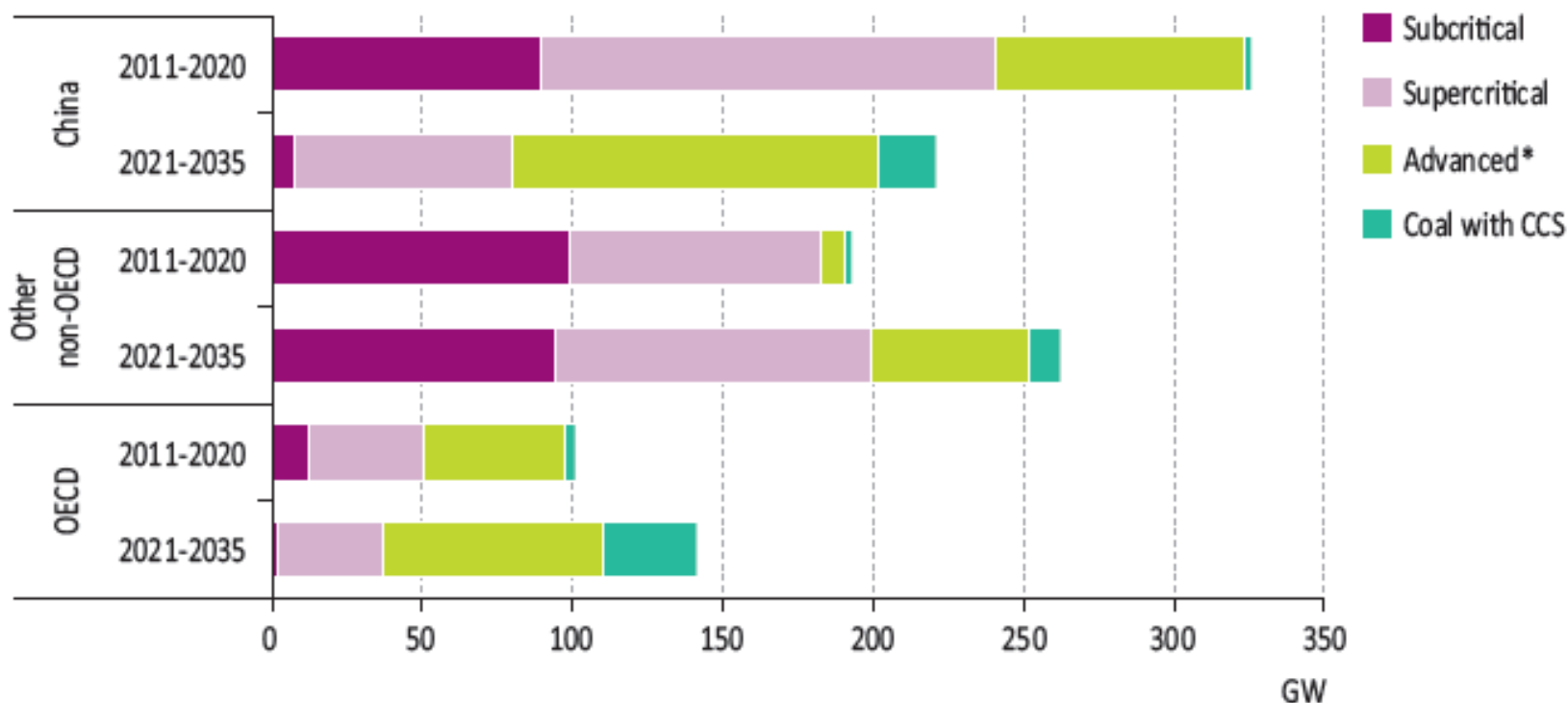


*Includes ultra-supercritical and IGCC.

Note: Excludes coal-fired generation from combined heat and power (CHP) plants.

Source: Platts World Electric Power Plants Database, December 2010 version.

Prognozowany przyrost mocy elektrowni węglowych (bez EC) (IEA, 2011)

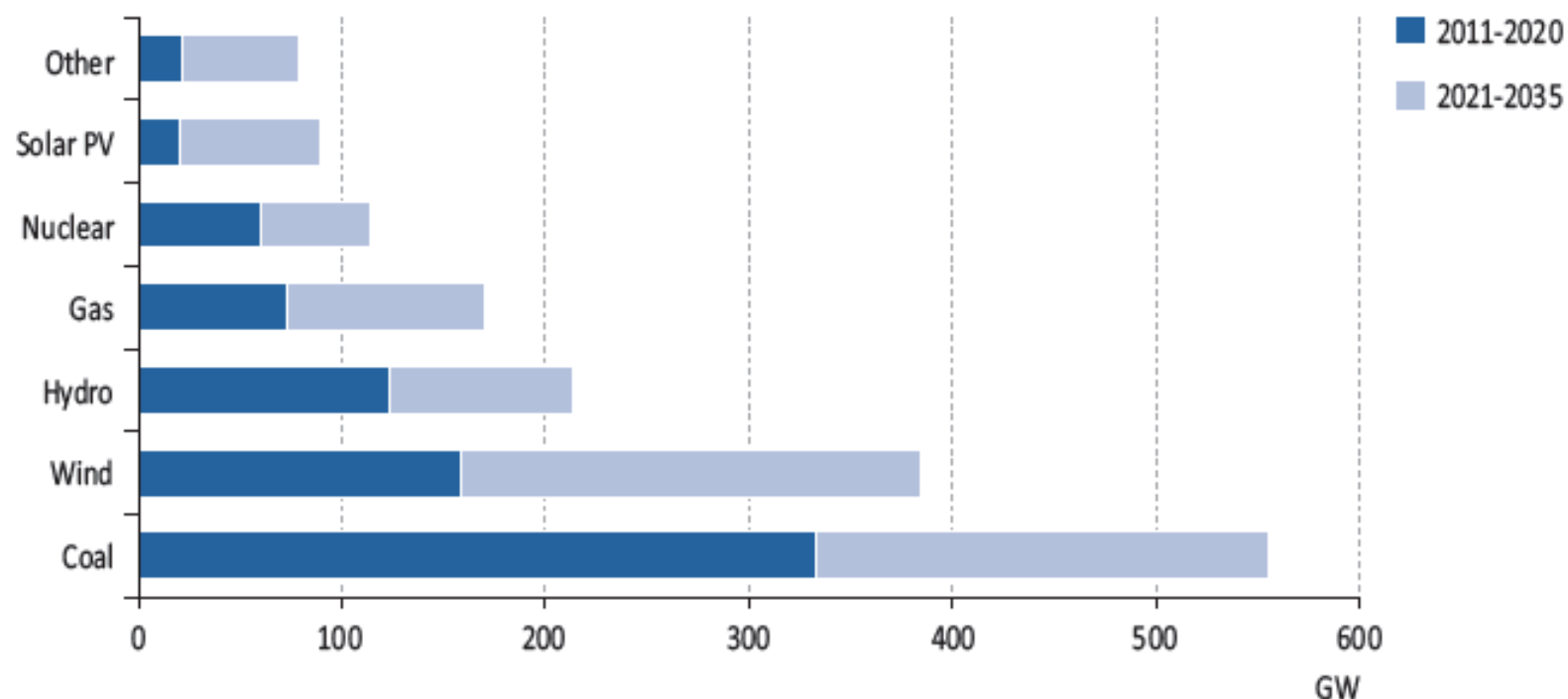


*Includes ultra-supercritical and IGCC.

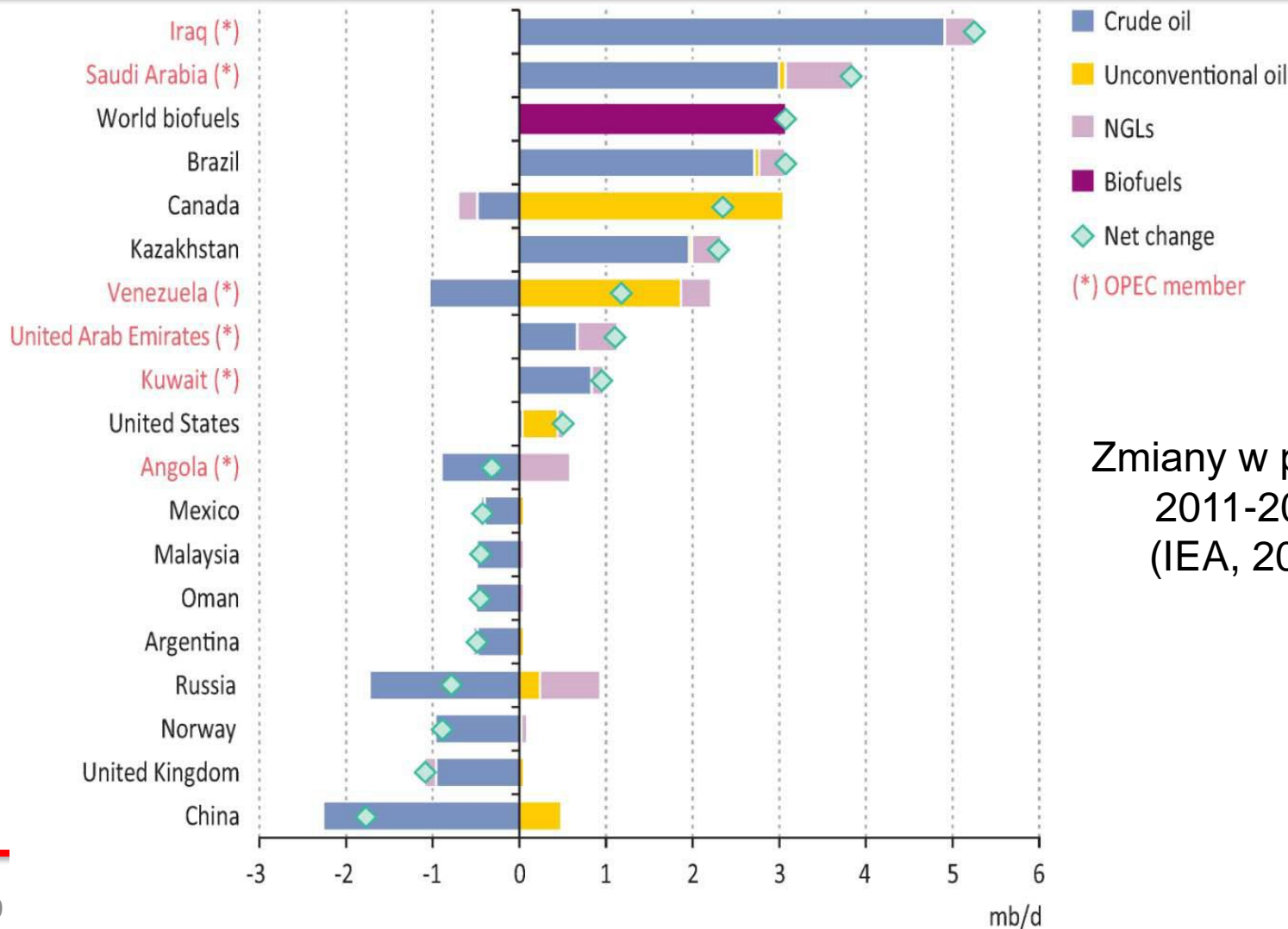
Note: Excludes coal-fired generation from CHP plants.

Scenariusz pośredni („nowej polityki”)

Przyrost mocy zainstalowanej w elektrowniach (IEA, 2011)



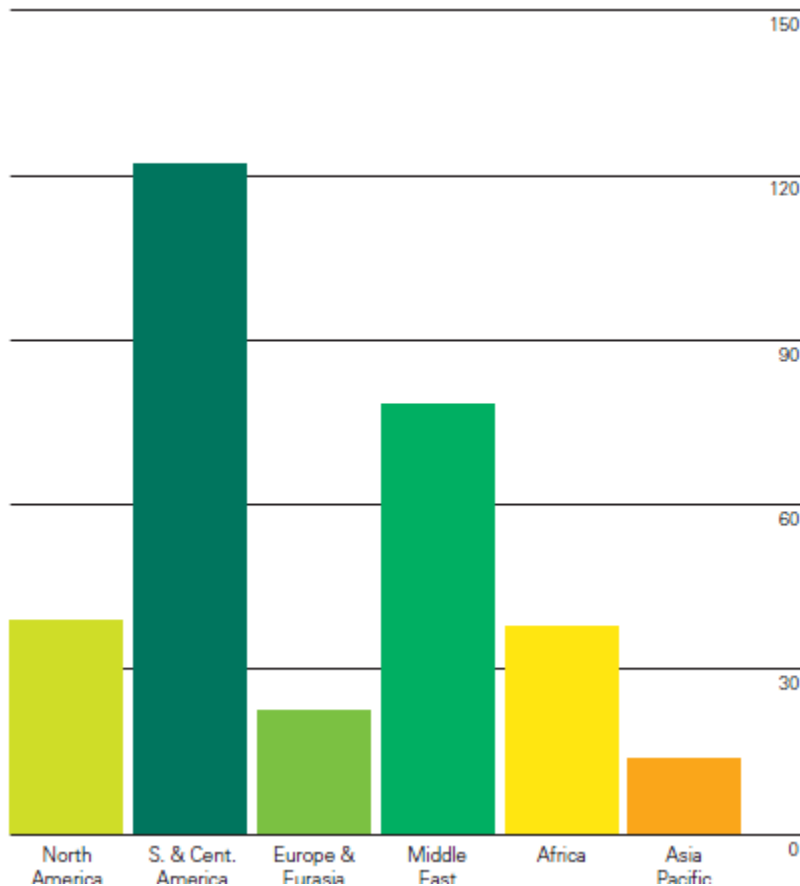
Scenariusz pośredni („nowej polityki”)



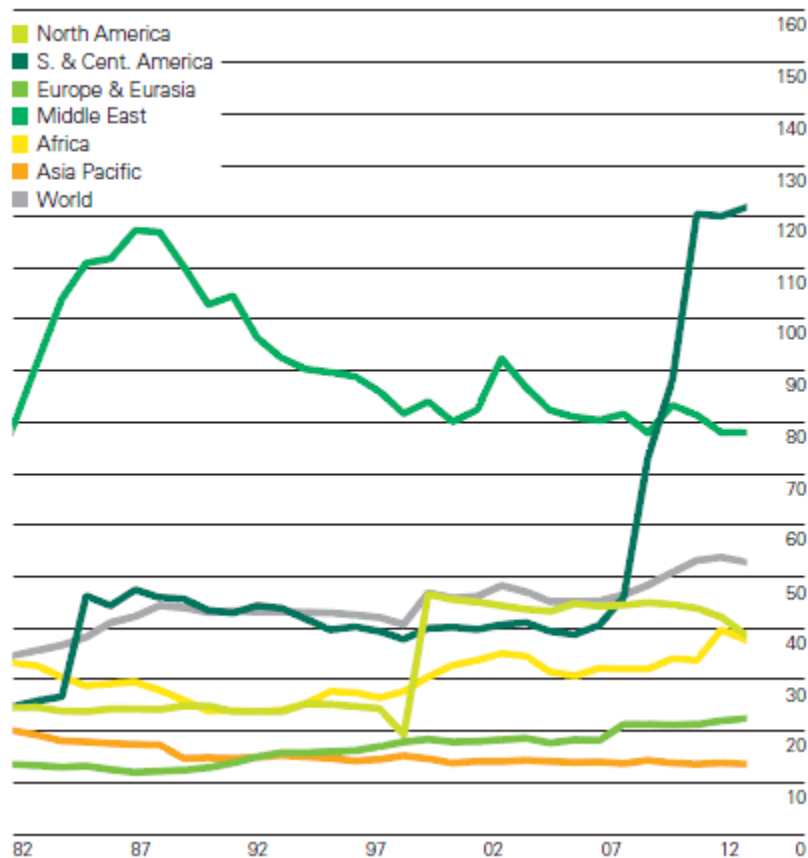
Zmiany w podaży
2011-2035
(IEA, 2011)

Stosunek zasobów do bieżącego rocznego wydobycia (BP, 2013)

2012 by region



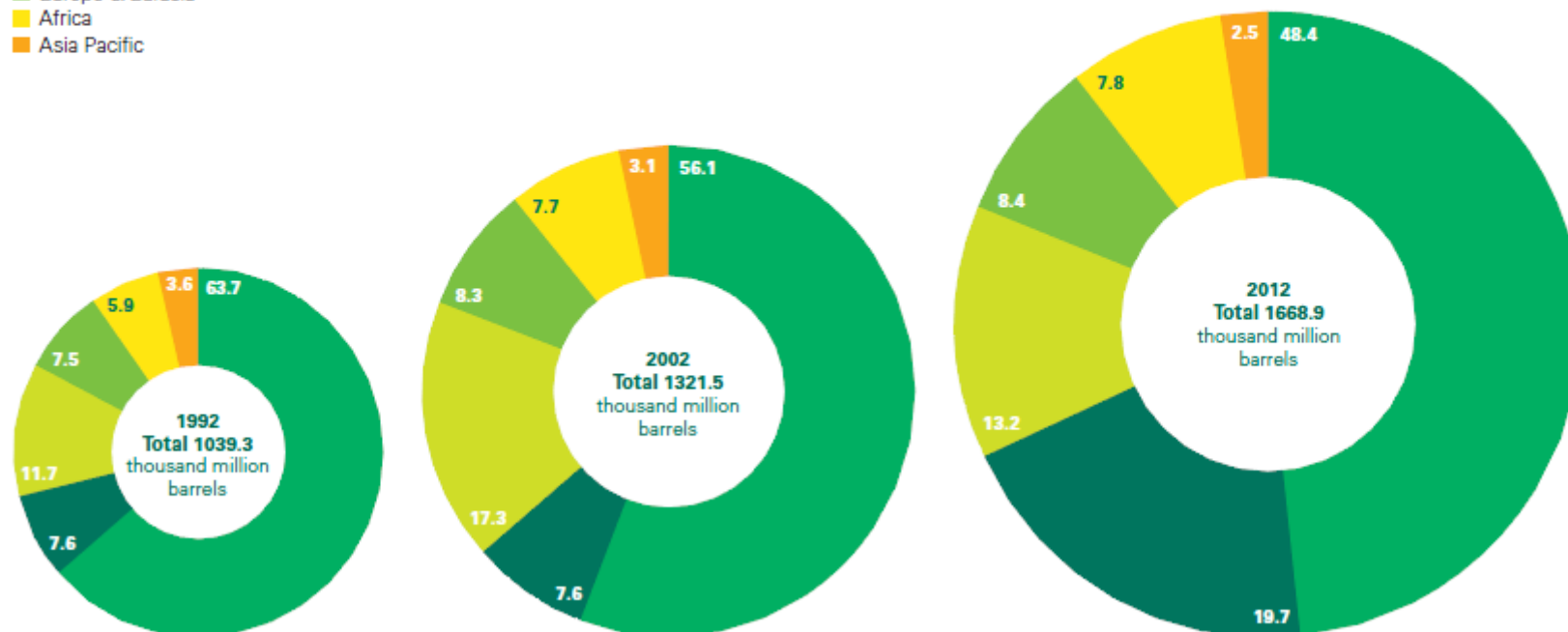
History



Distribution of proved reserves in 1992, 2002 and 2012 Percentage

- Middle East
- S. & Cent. America
- North America
- Europe & Eurasia
- Africa
- Asia Pacific

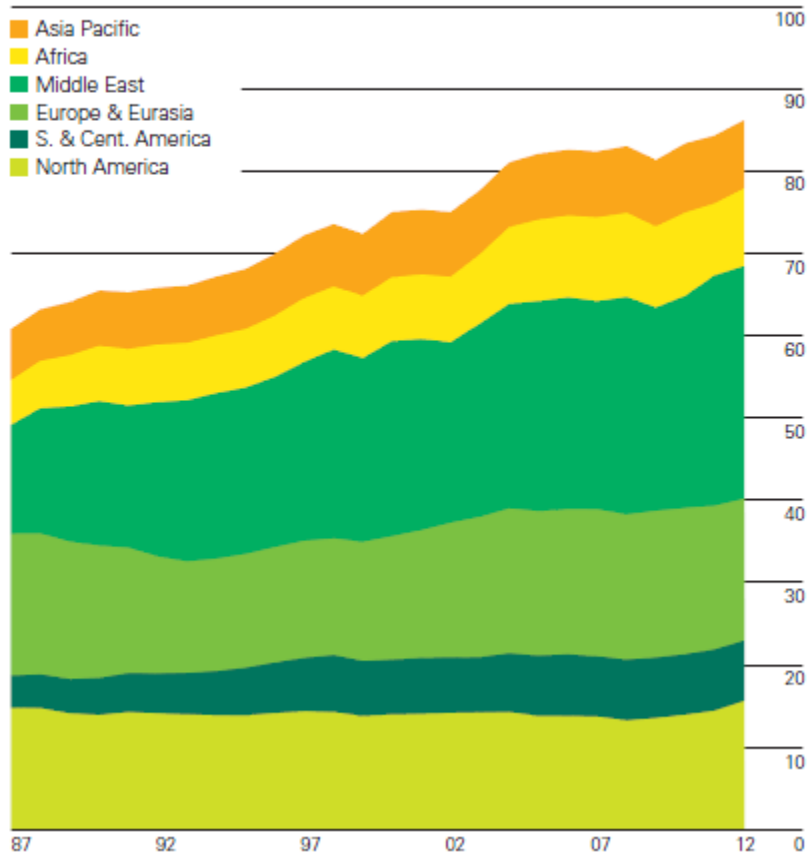
Rozkład geograficzny zasobów (BP, 2013)



Źródło: BP, 2013

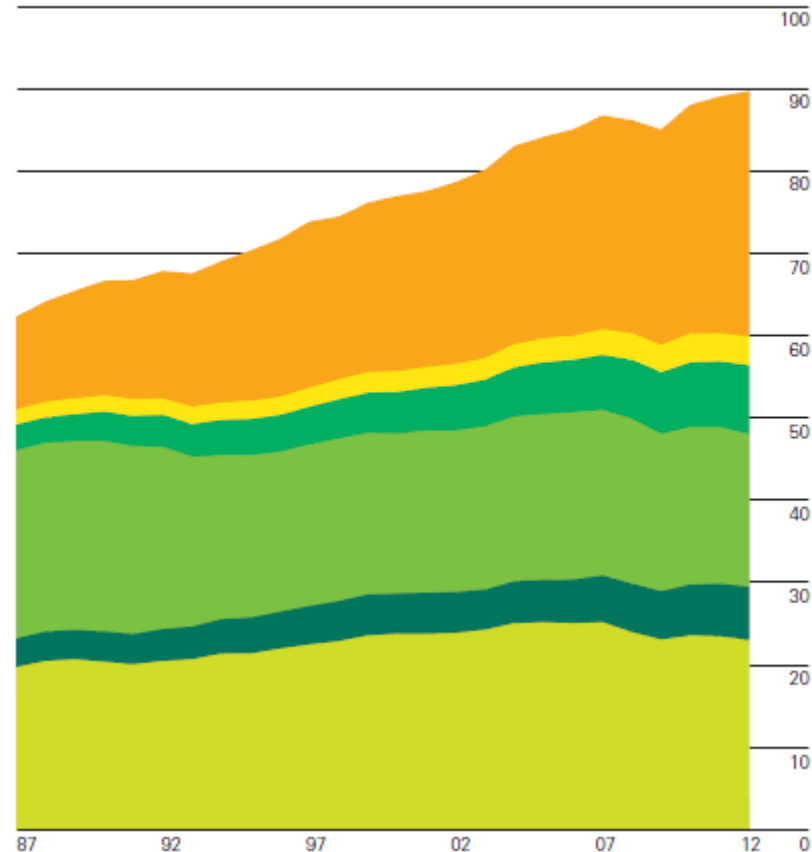
Production by region

Million barrels daily



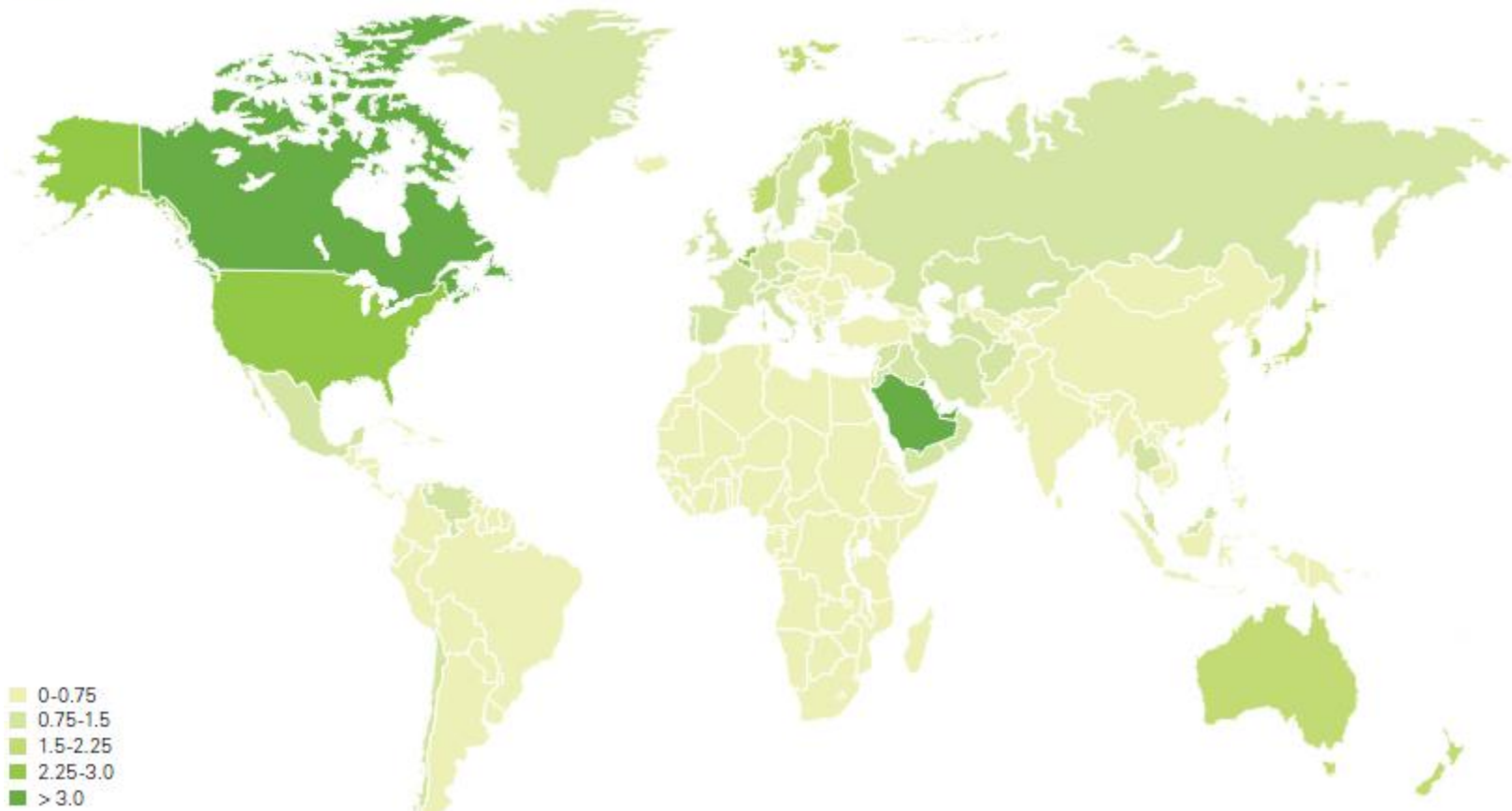
Consumption by region

Million barrels daily

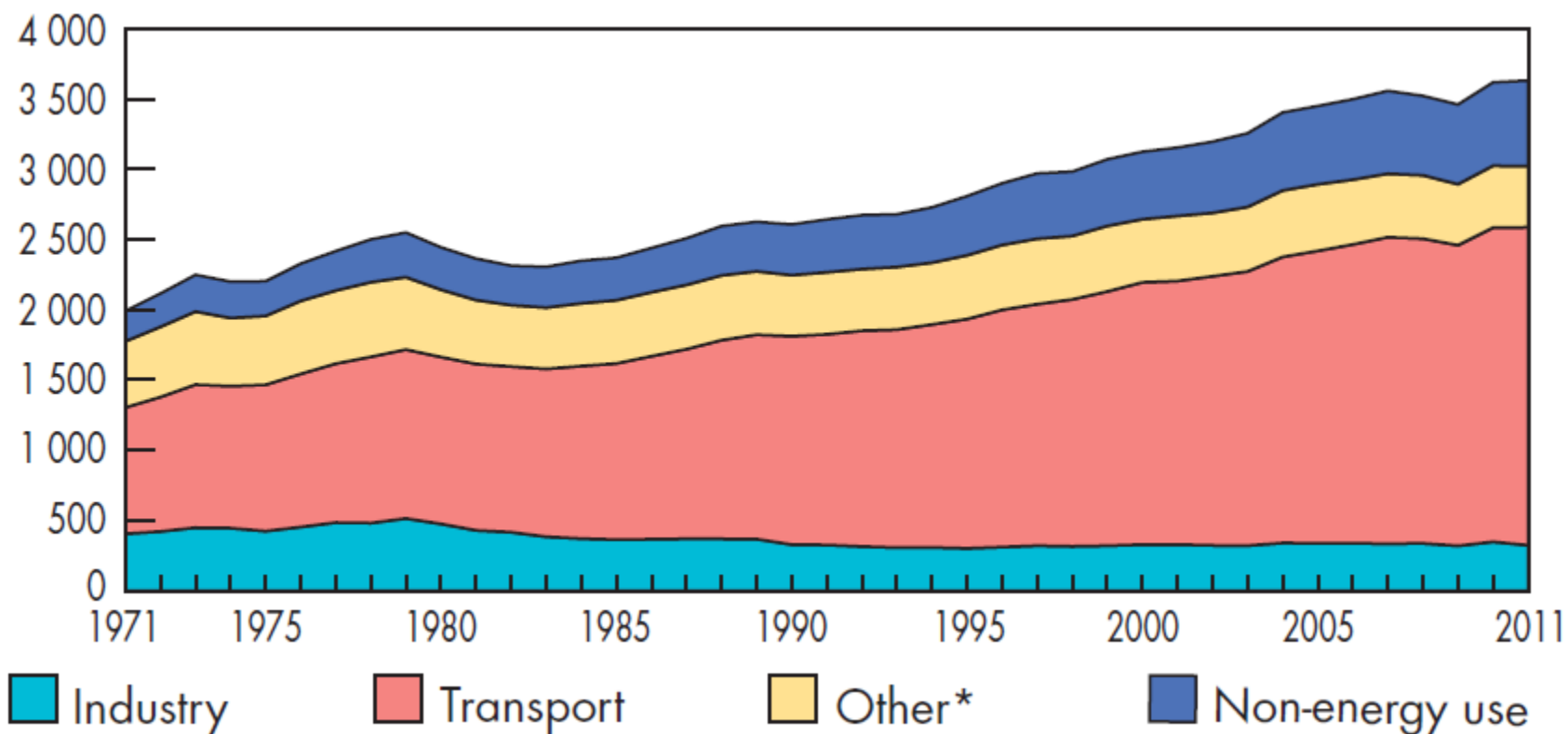


Consumption per capita 2012
Tonnes

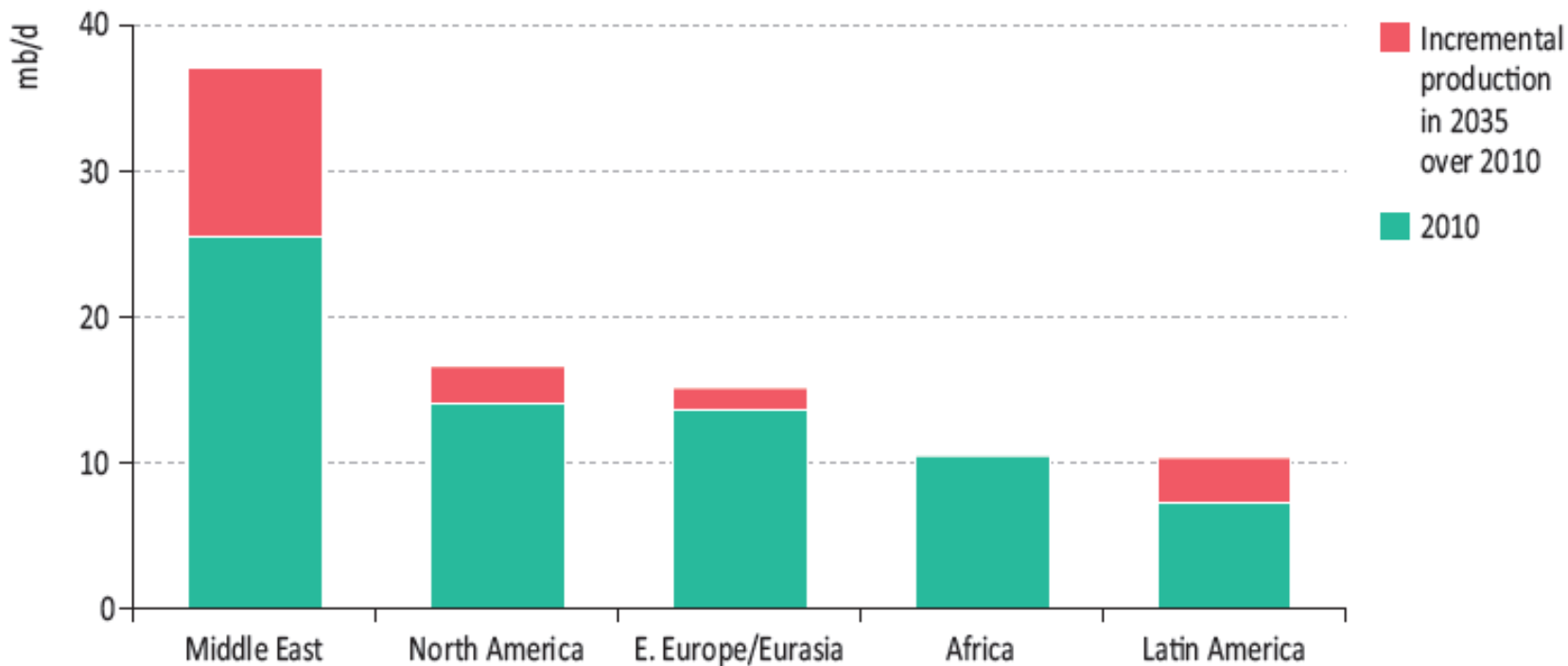
Zużycie ropy per capita w 2012 r. [Mg] (BP, 2013)



Zużycie energii ropy wg sektorów [toe] (BP, 2013)

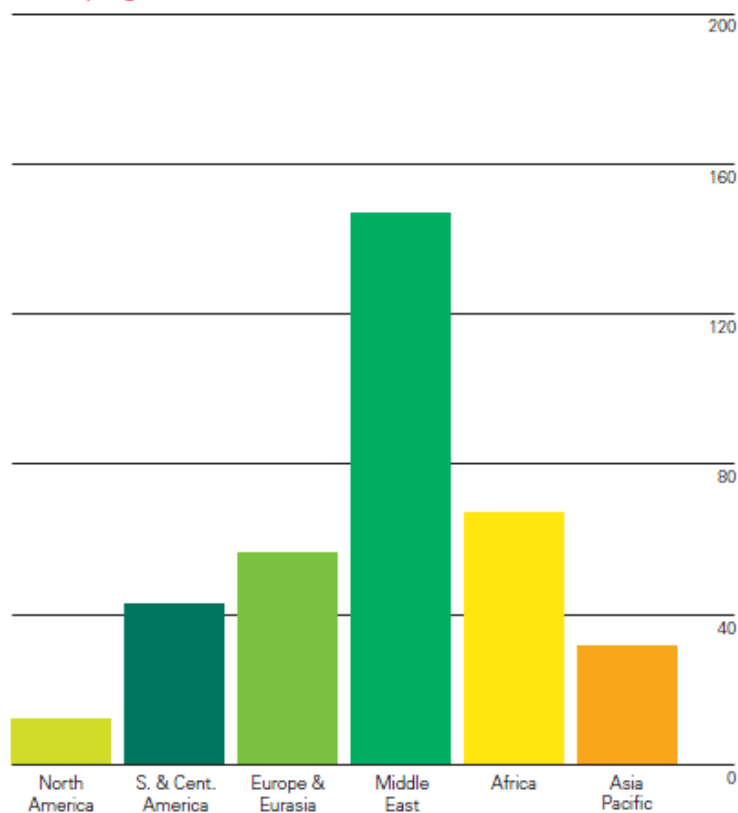


Prognoza zmian wydobycia ropy naftowej 2010-2035 (IEA, 2011)

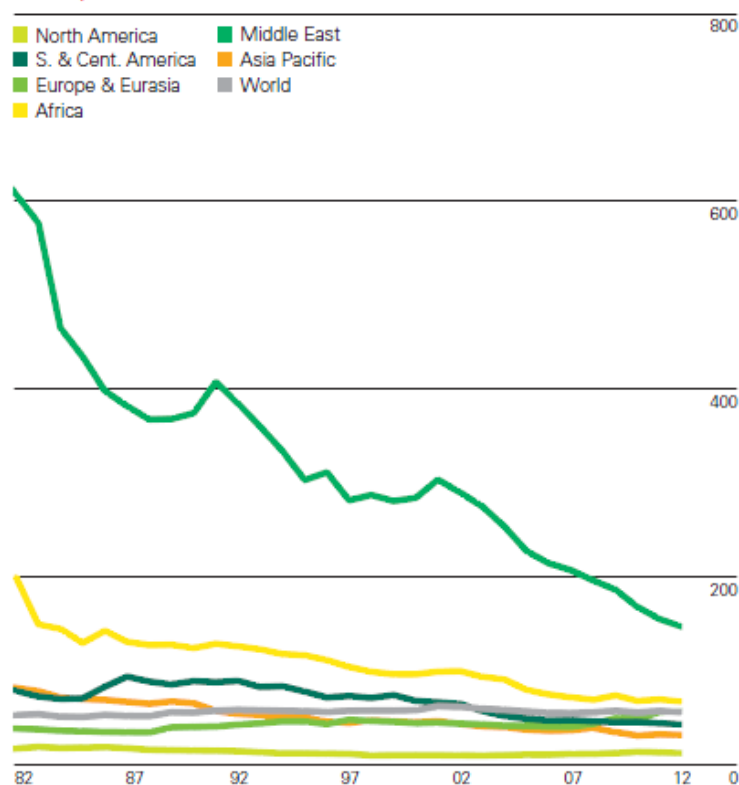


Stosunek zasobów do bieżącego rocznego wydobycia (BP, 2013)

2012 by region

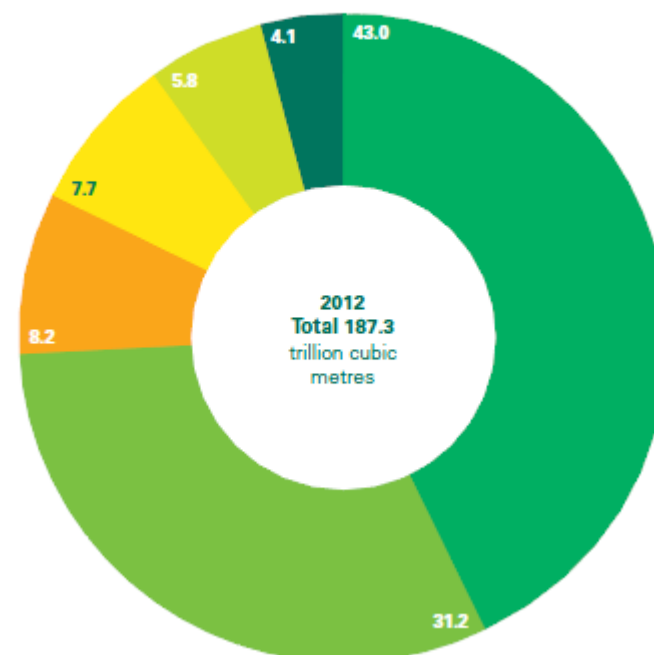
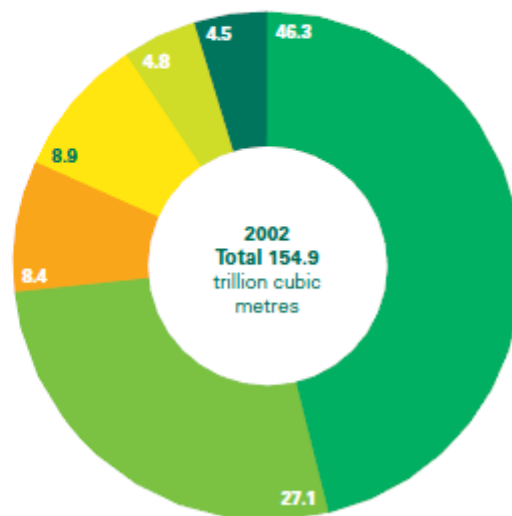
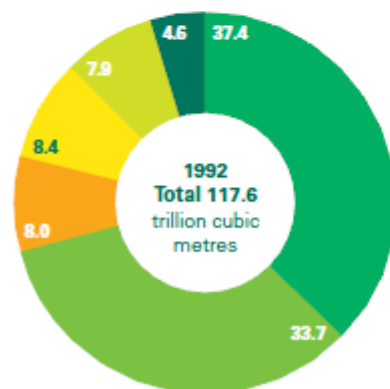


History



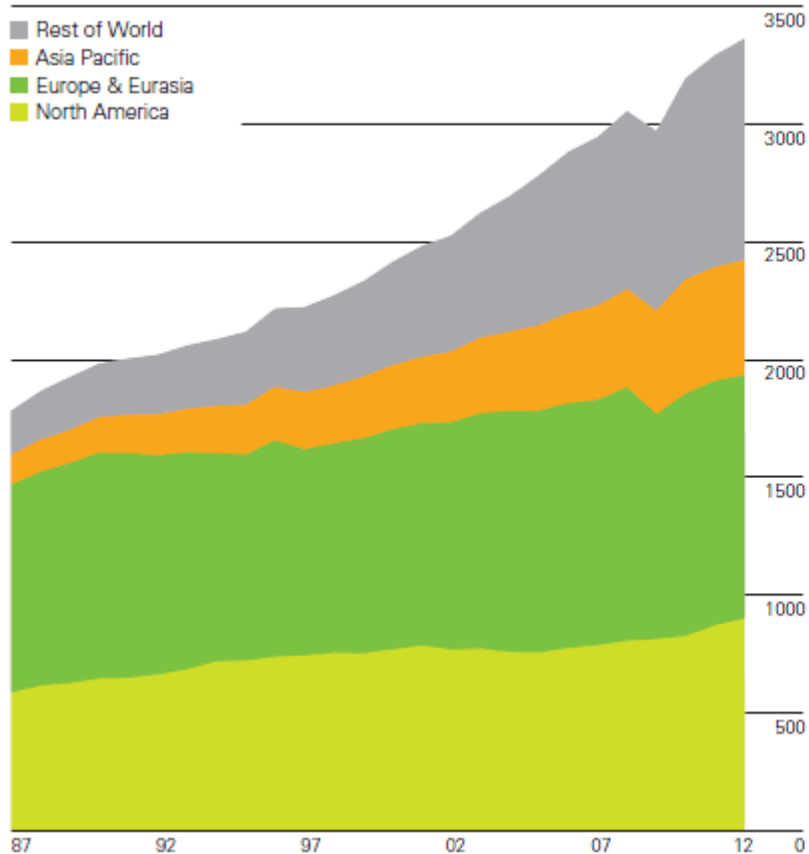
Rozkład geograficzny zasobów (BP, 2013)

- Middle East
- Europe & Eurasia
- Asia Pacific
- Africa
- North America
- S. & Cent. America



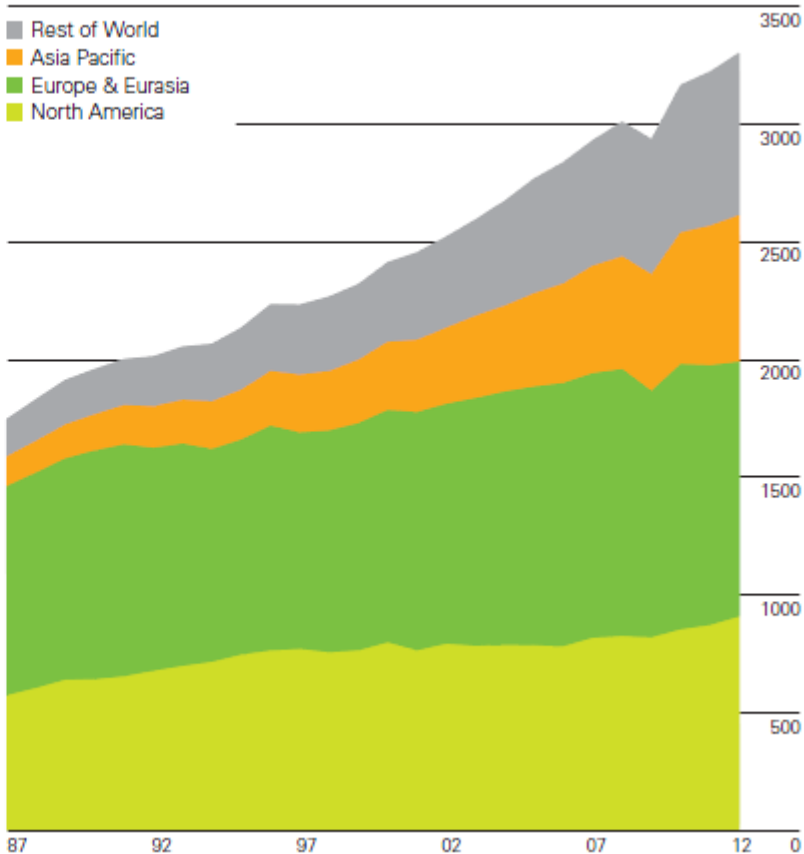
Production by region

Billion cubic metres



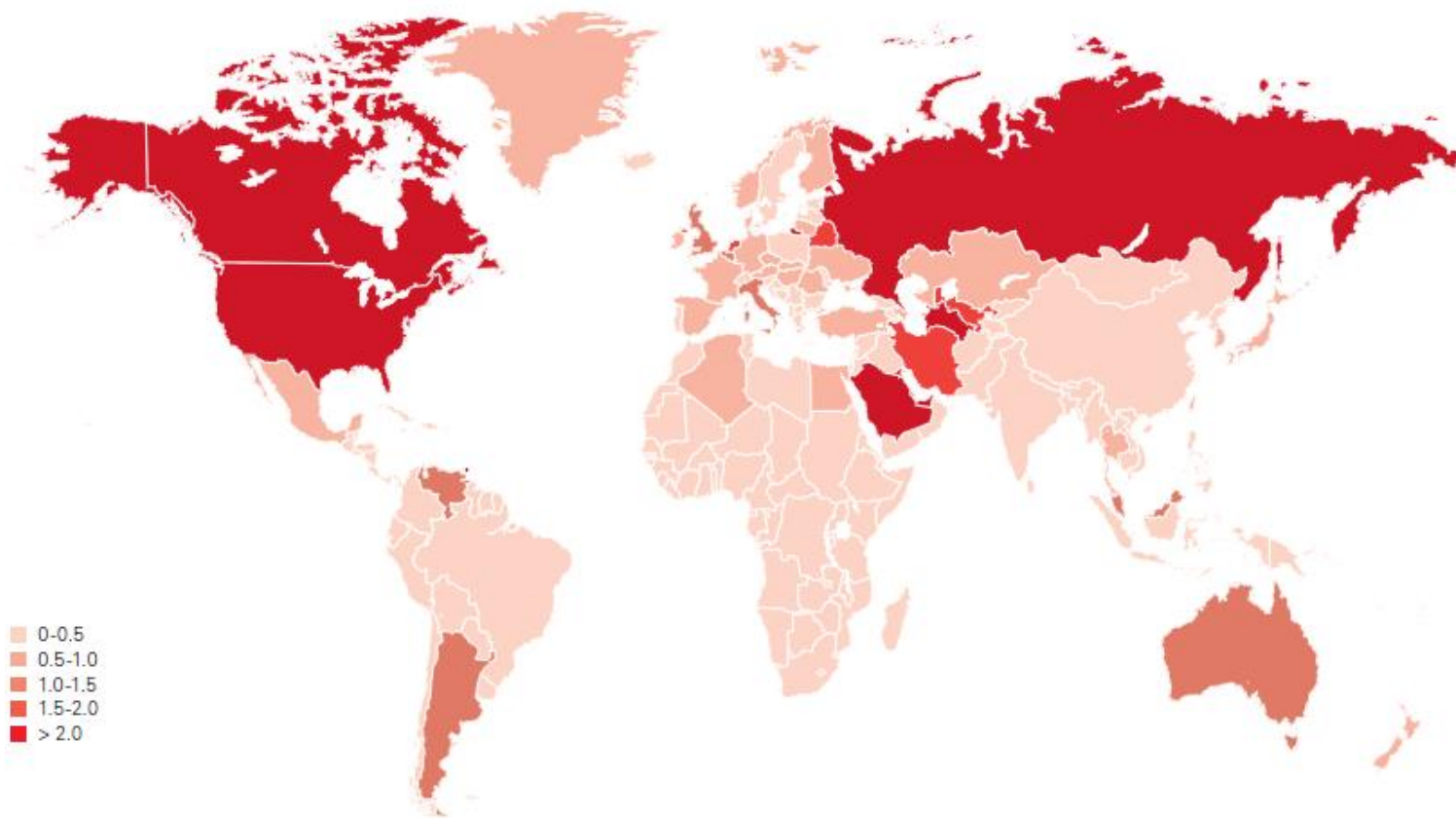
Consumption by region

Billion cubic metres



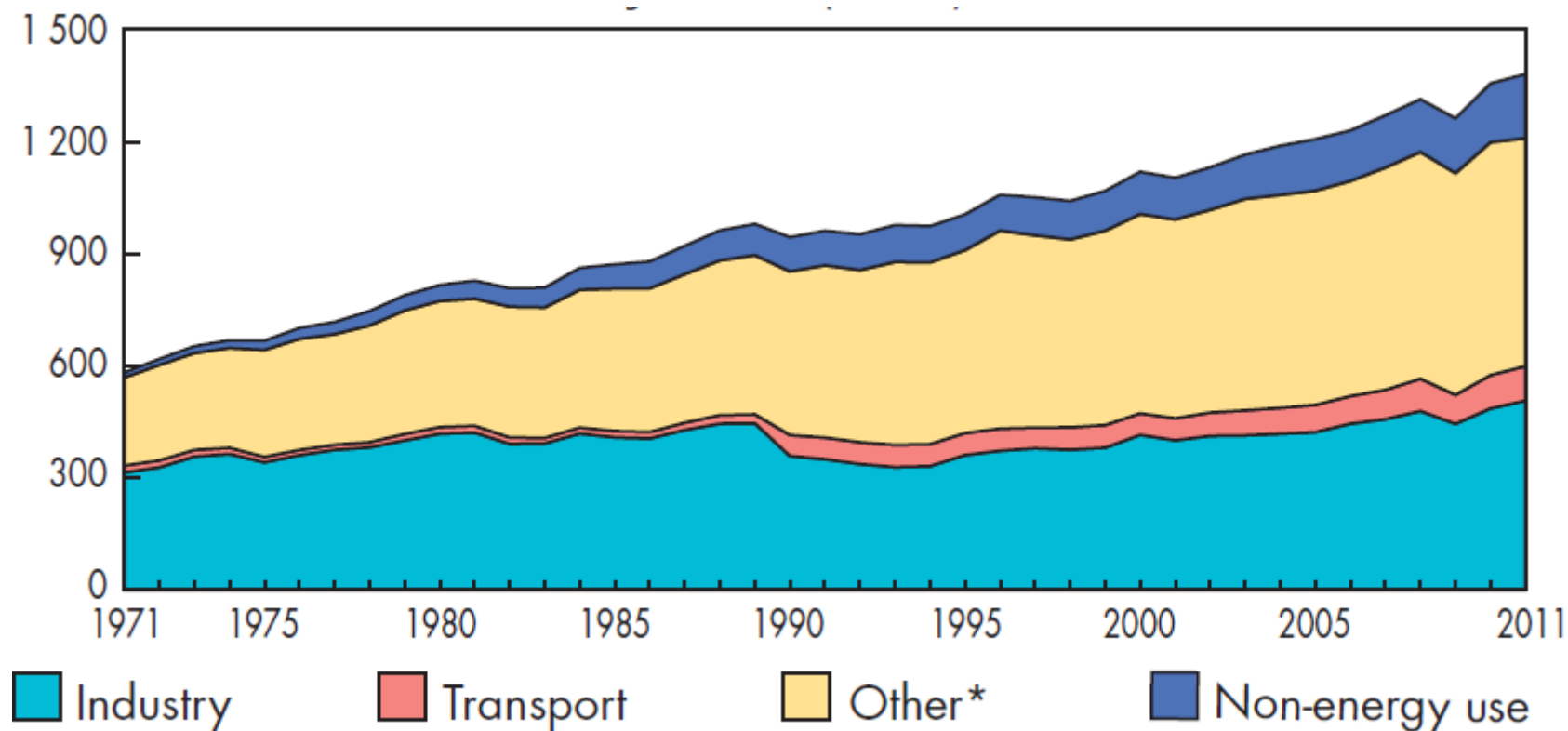
Consumption per capita 2012
Tonnes oil equivalent

Zużycie gazu per capita w 2012 r. [toe] (BP, 2013)



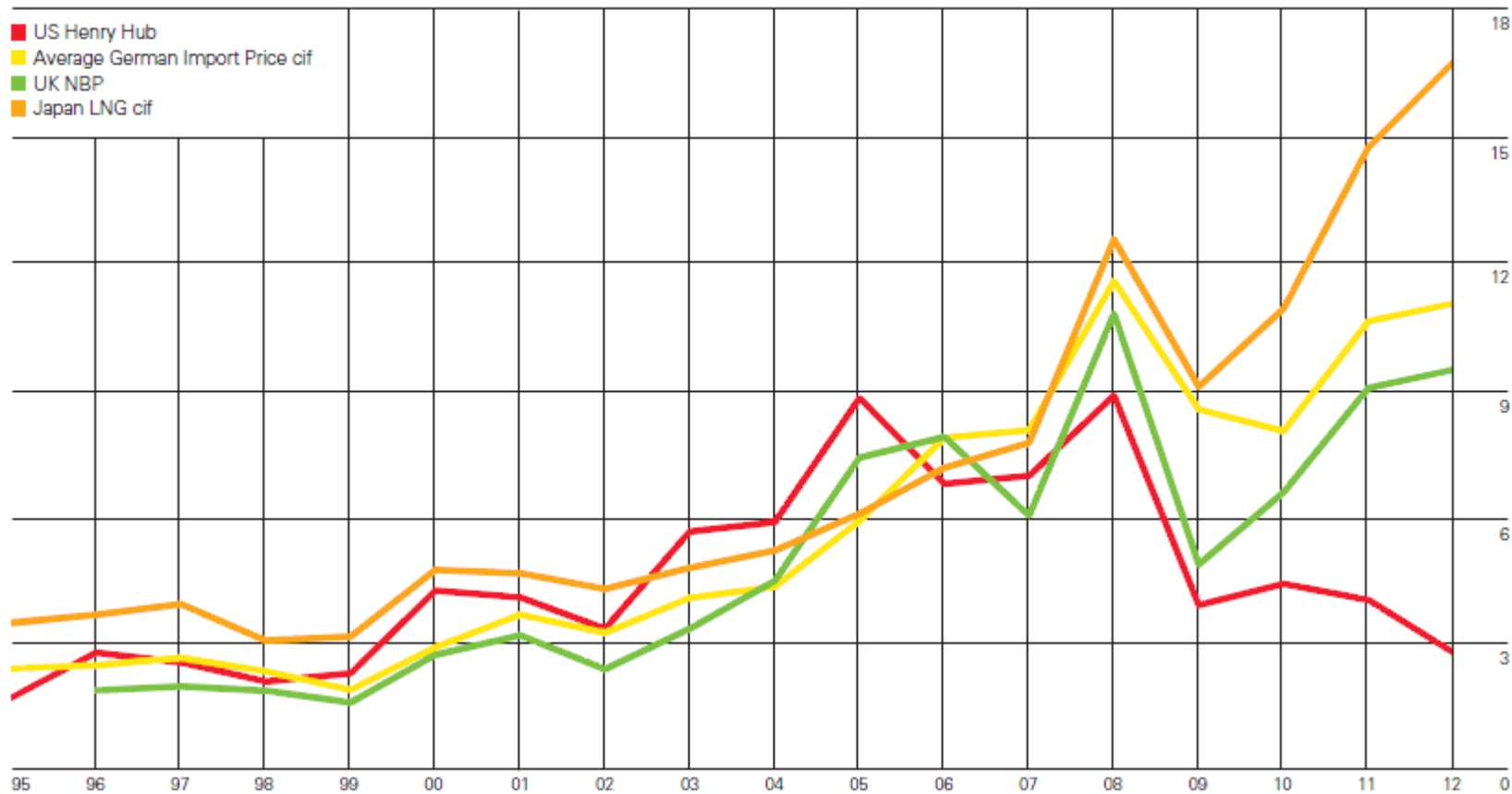
Source: Includes data from Cedigaz.

Zużycie energii gazu wg sektorów [toe] (BP, 2013)



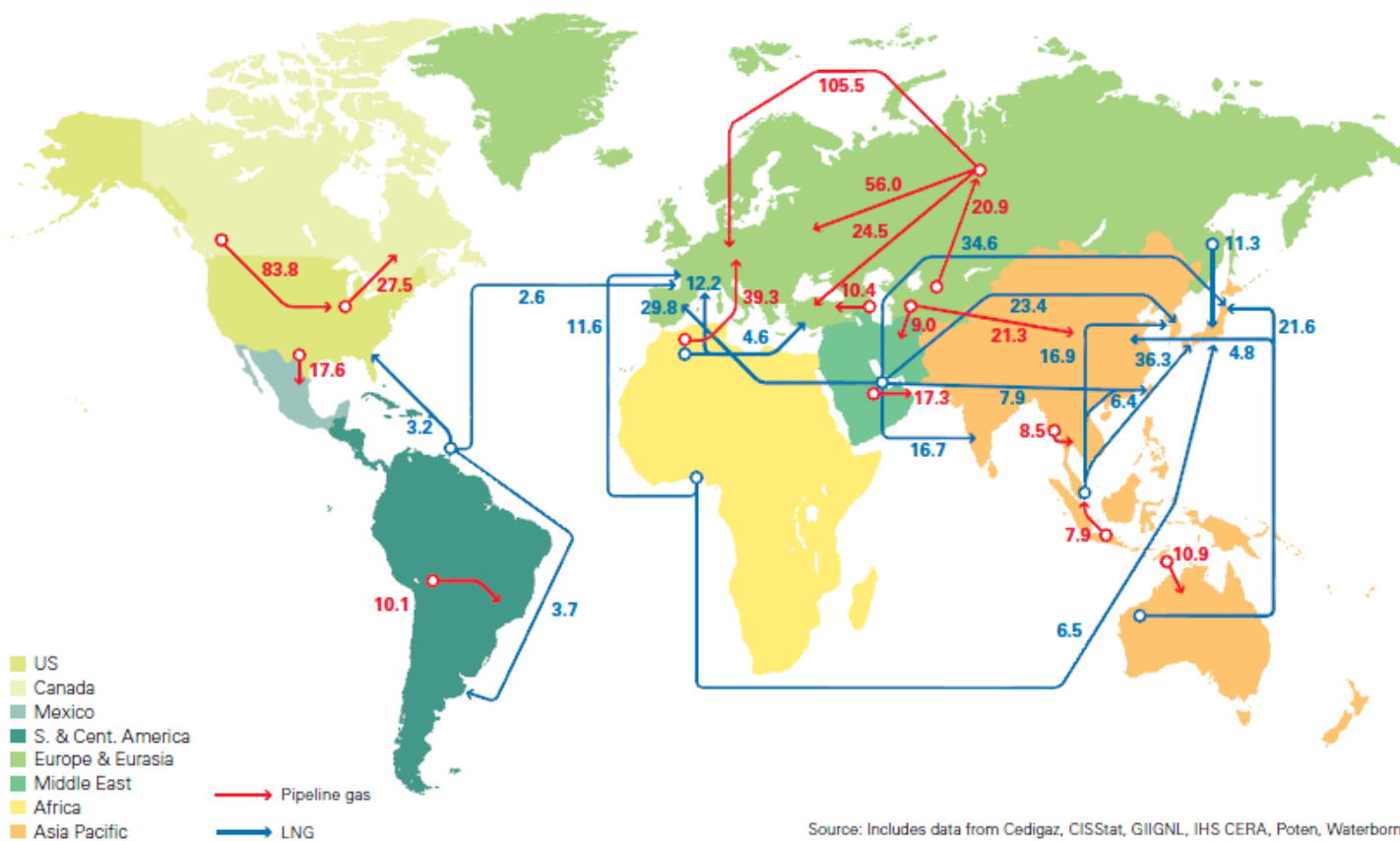
Prices
\$/Mmbtu

Ceny gazu ziemnego (USD/Mmbtu) (BP, 2013)



Major trade movements 2012

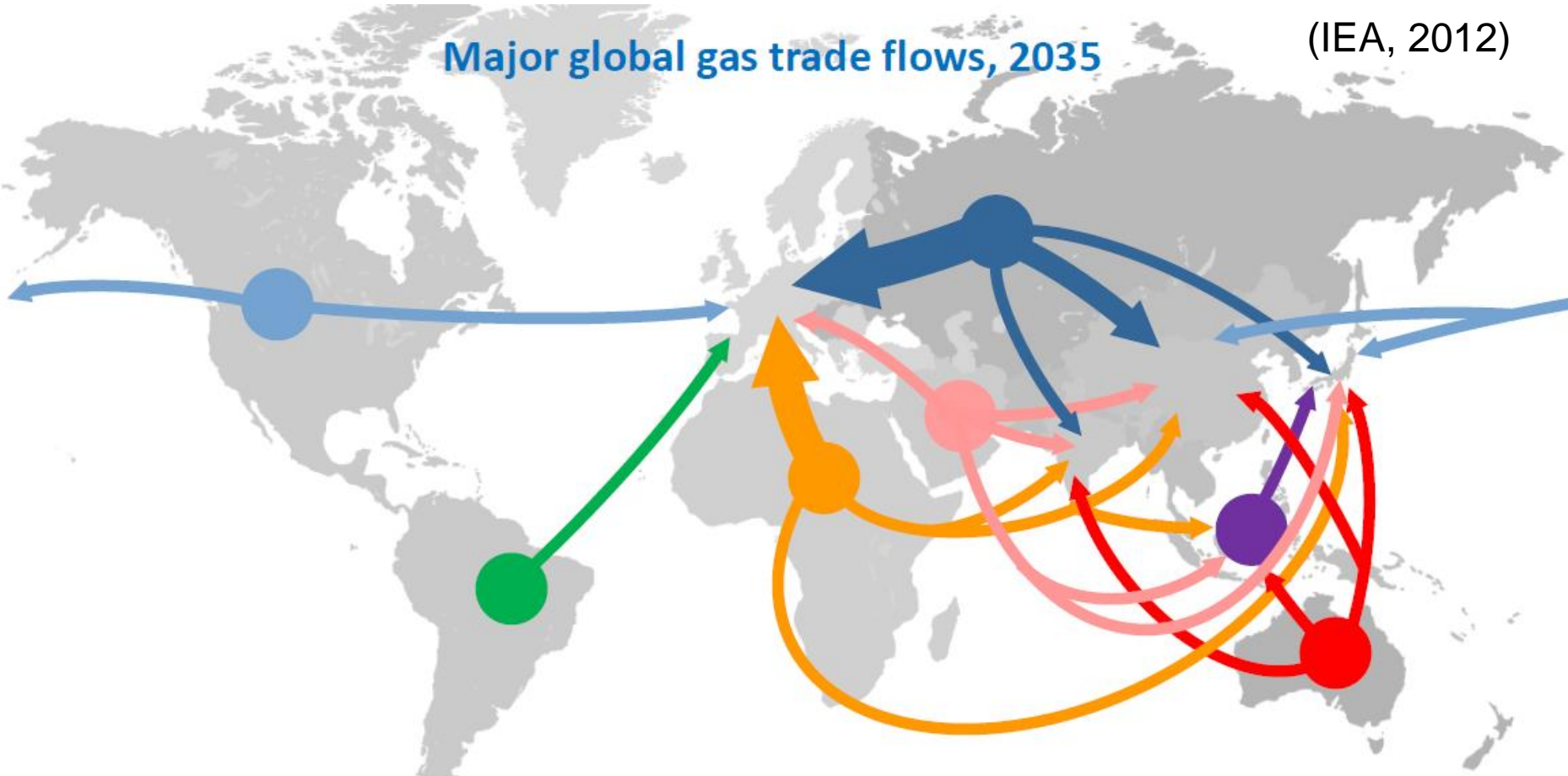
Trade flows worldwide (billion cubic metres)



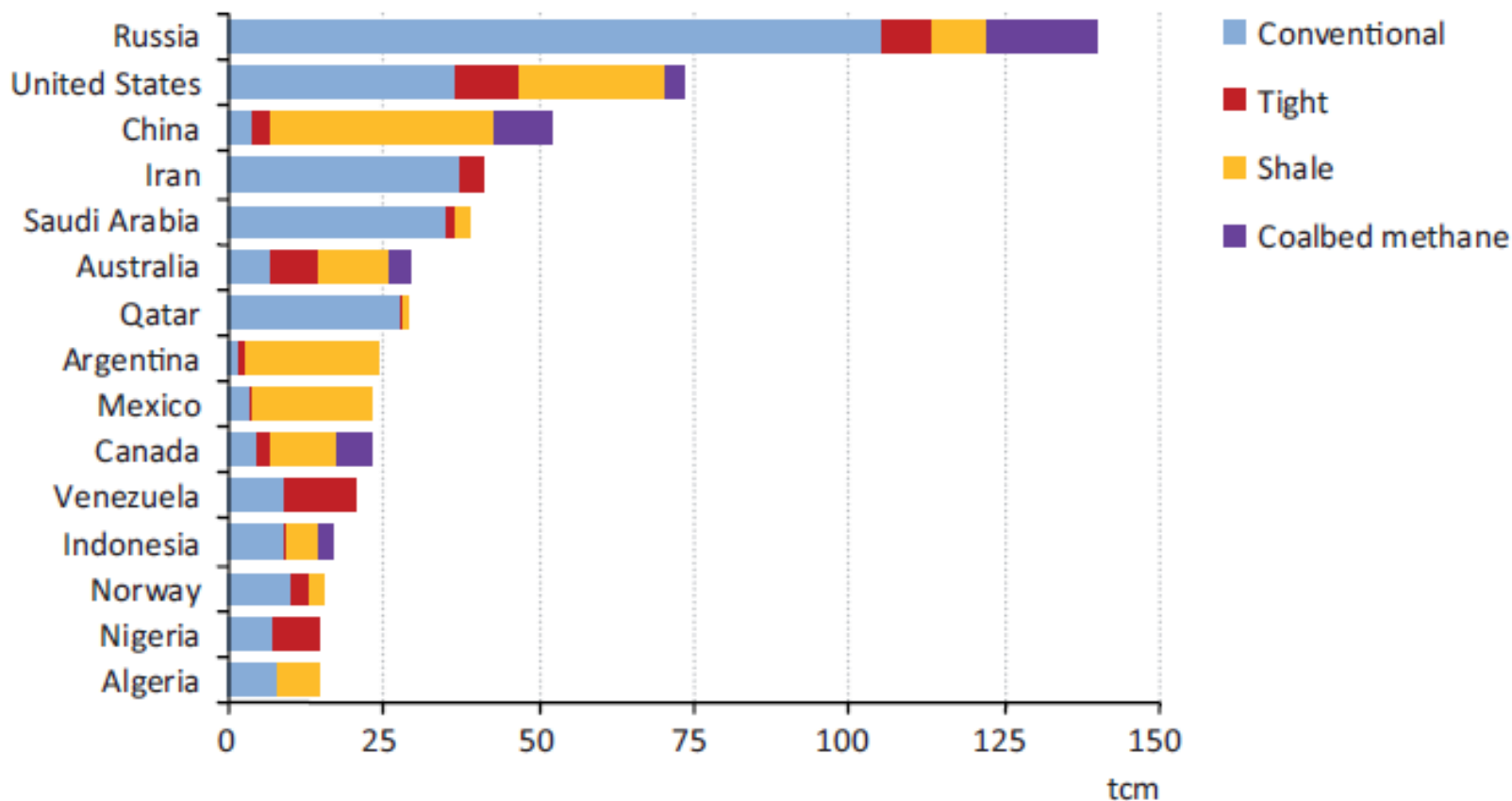
Source: Includes data from Cedigaz, CISStat, GIIIGNL, IHS CERA, Poten, Waterborne.

Major global gas trade flows, 2035

(IEA, 2012)



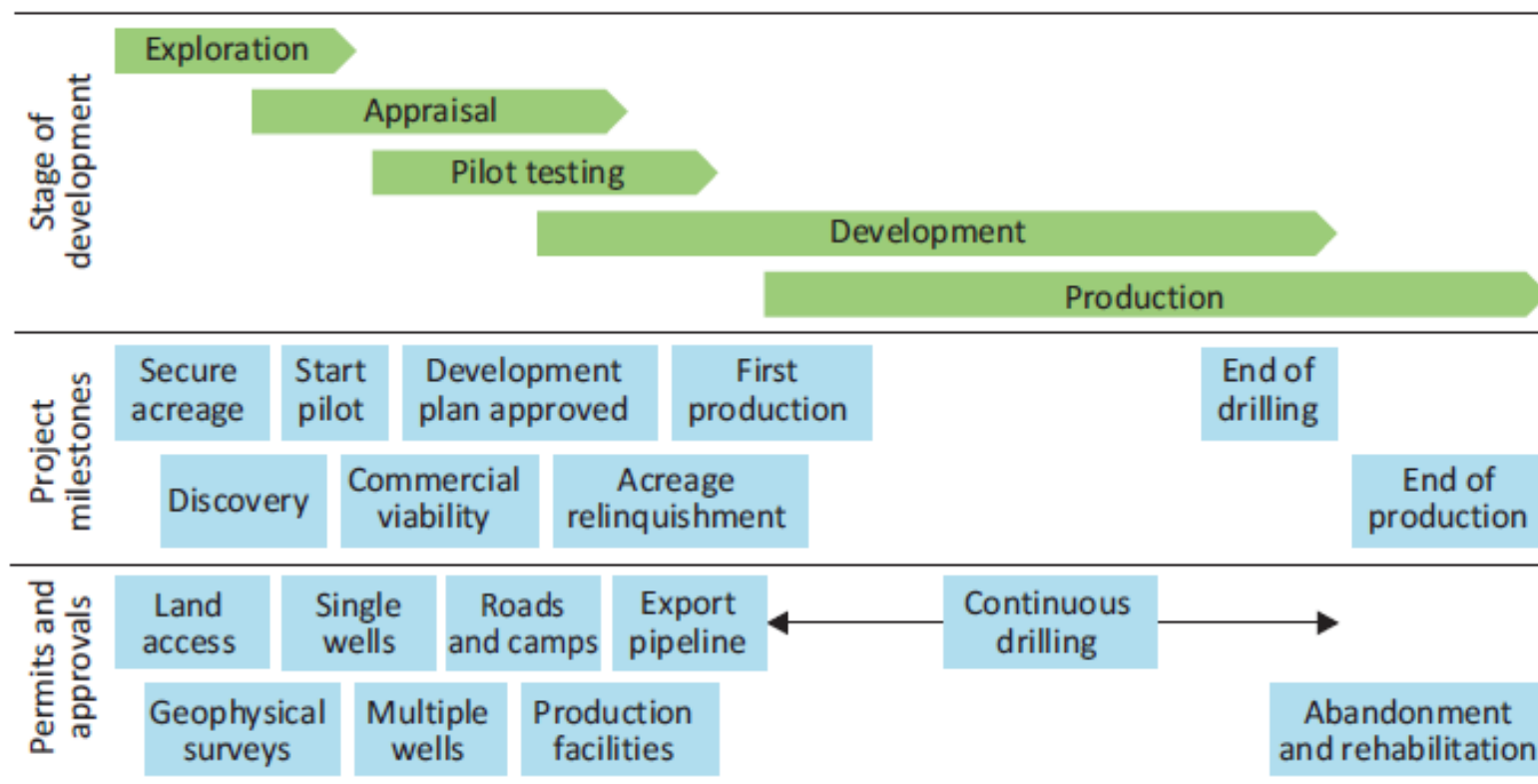
Technicznie dostępne zasoby gazu ziemnego, koniec 2011 (IEA, 2012)



Gaz łupkowy



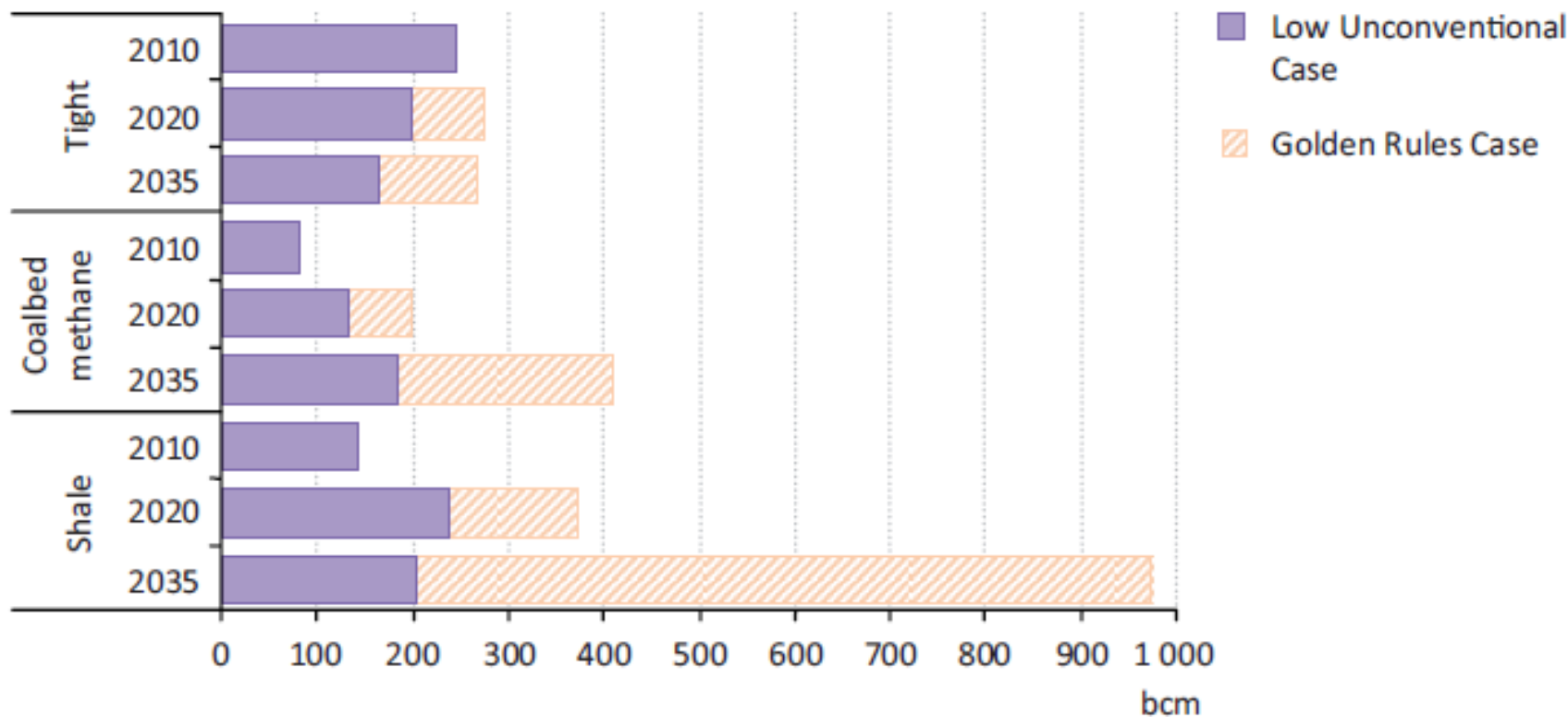
Etapy eksploatacji złoża gazu niekonwencjonalnego (IEA, 2012)



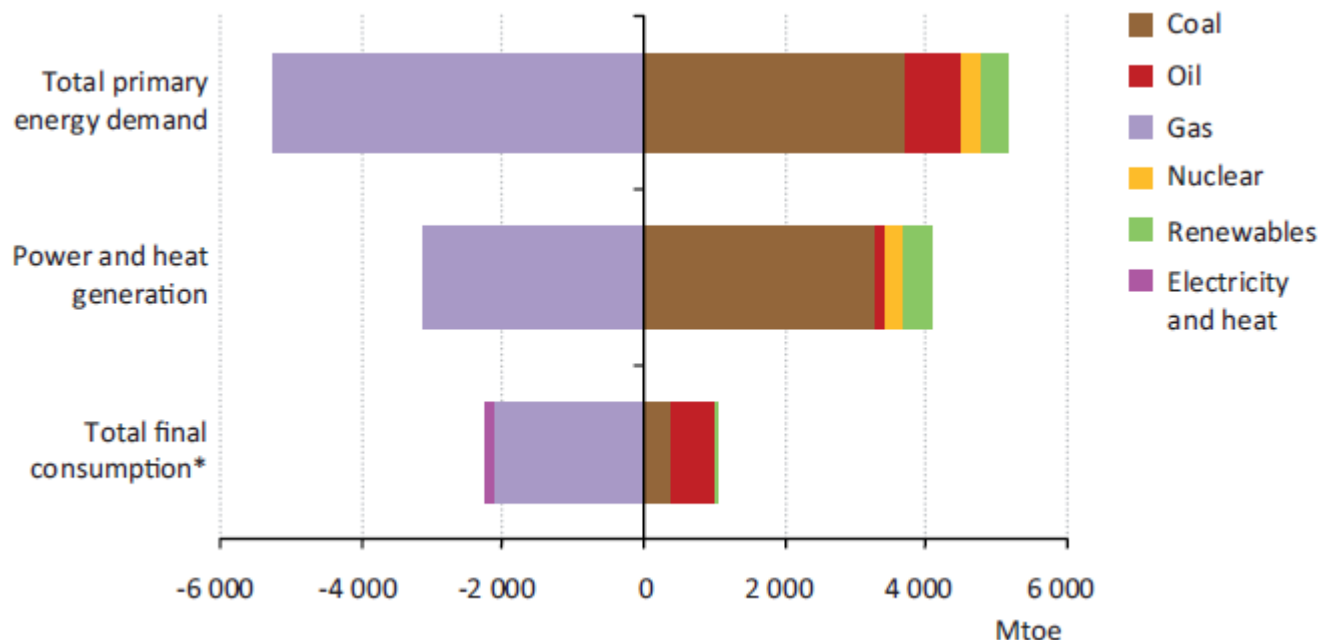
Niekonwencjonalne źródła gazu w Europie



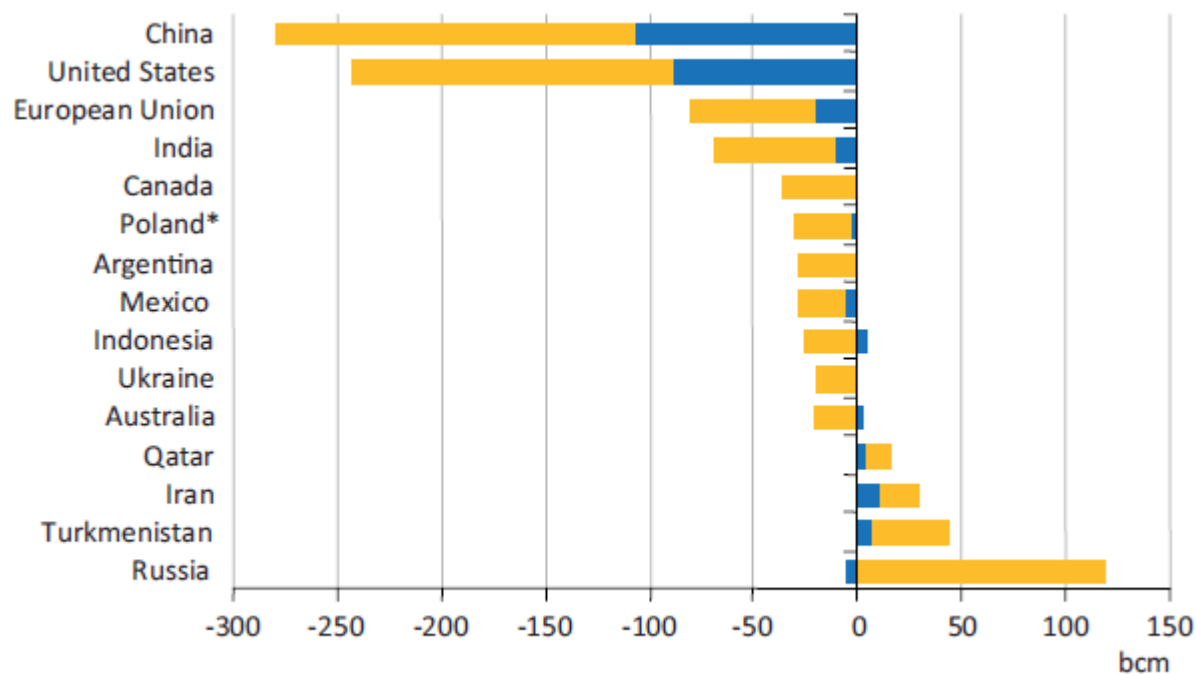
Scenariusze zmienności wydobycia gazu niekonwencjonalnego (IEA, 2012)



Znaczenie gazu niekonwencjonalnego (IEA, 2012)
Zmiany zapotrzebowania na energię pierwotną w scenariuszu
„Low unconventionalal względem „Golden rules”

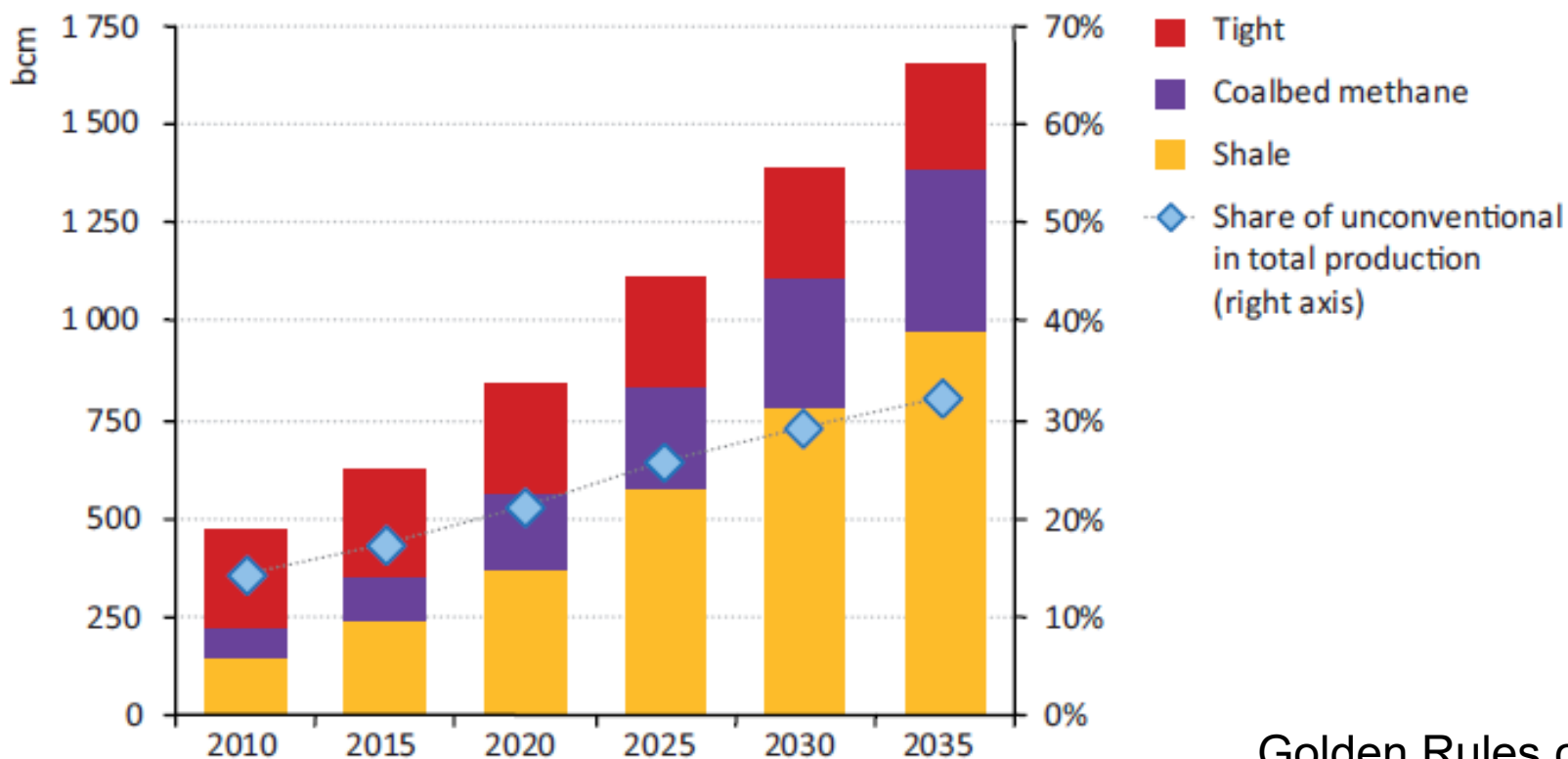


Znaczenie gazu niekonwencjonalnego (IEA, 2012)
Zmiany zapotrzebowania na energię pierwotną w scenariuszu
„Low unconventional względem „Golden rules”



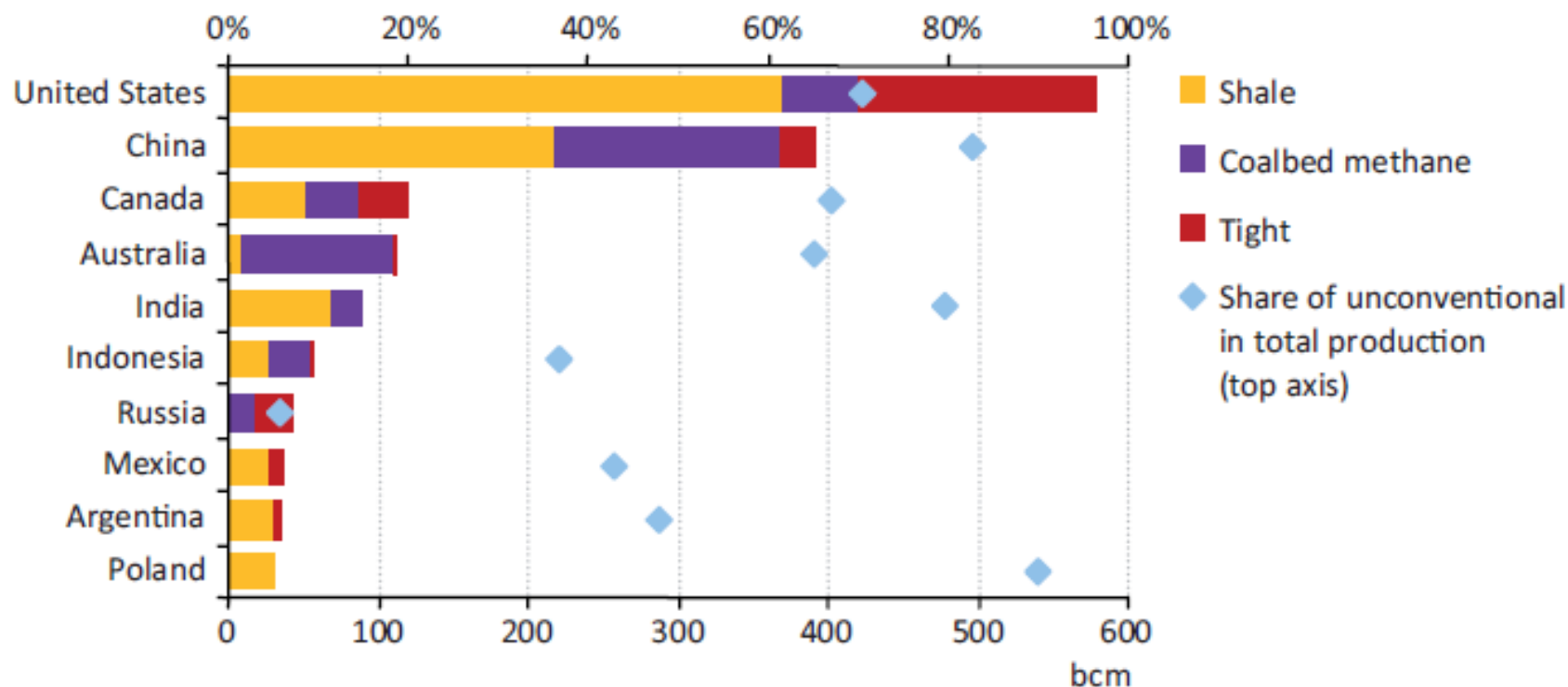
* The change in Polish output is included also in the figures for the European Union.

Prognoza wydobycia gazu ziemnego ze źródeł niekonwencjonalnych (IEA, 2012)



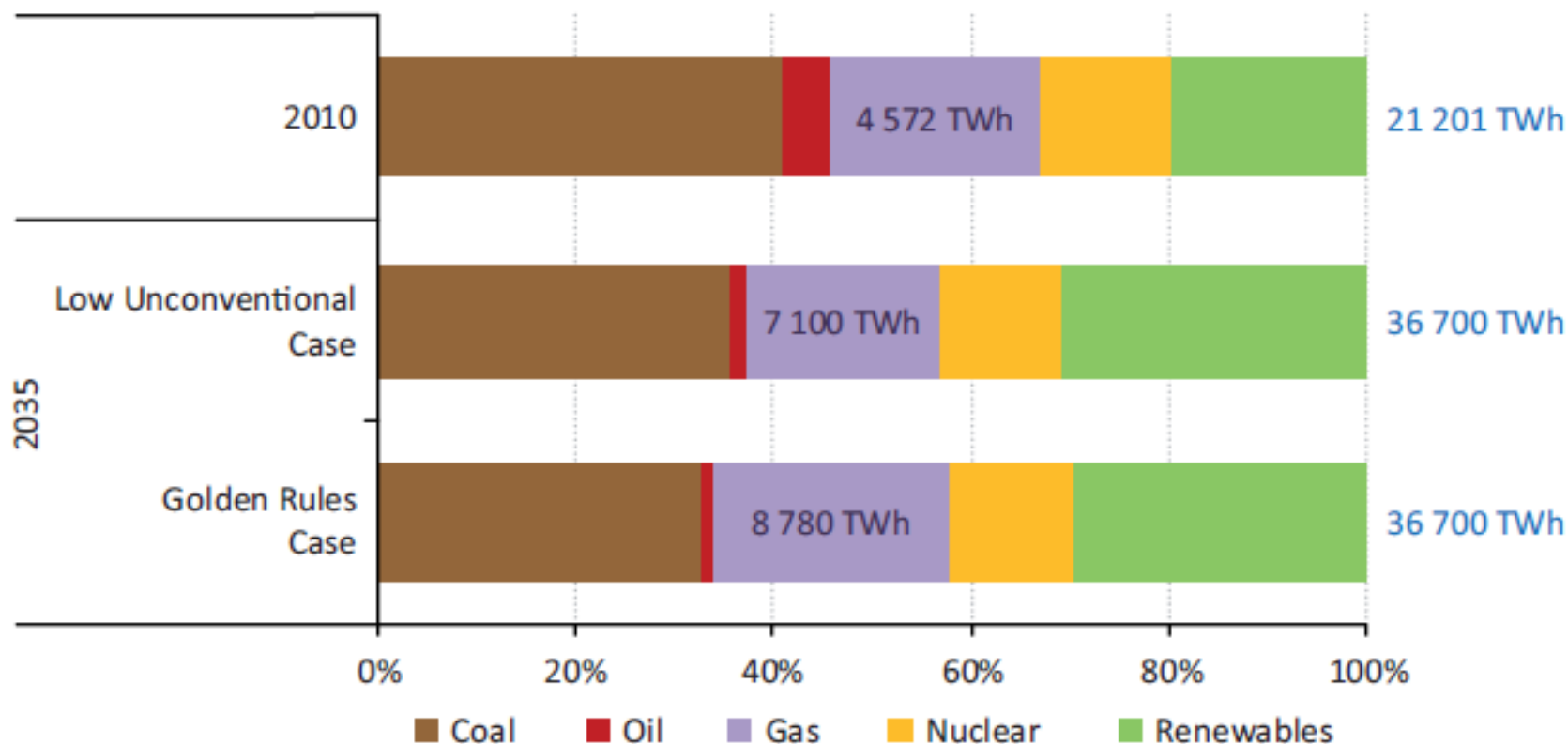
„Golden Rules case”

Prognoza wydobycia gazu ziemnego ze źródeł niekonwencjonalnych (IEA, 2012)

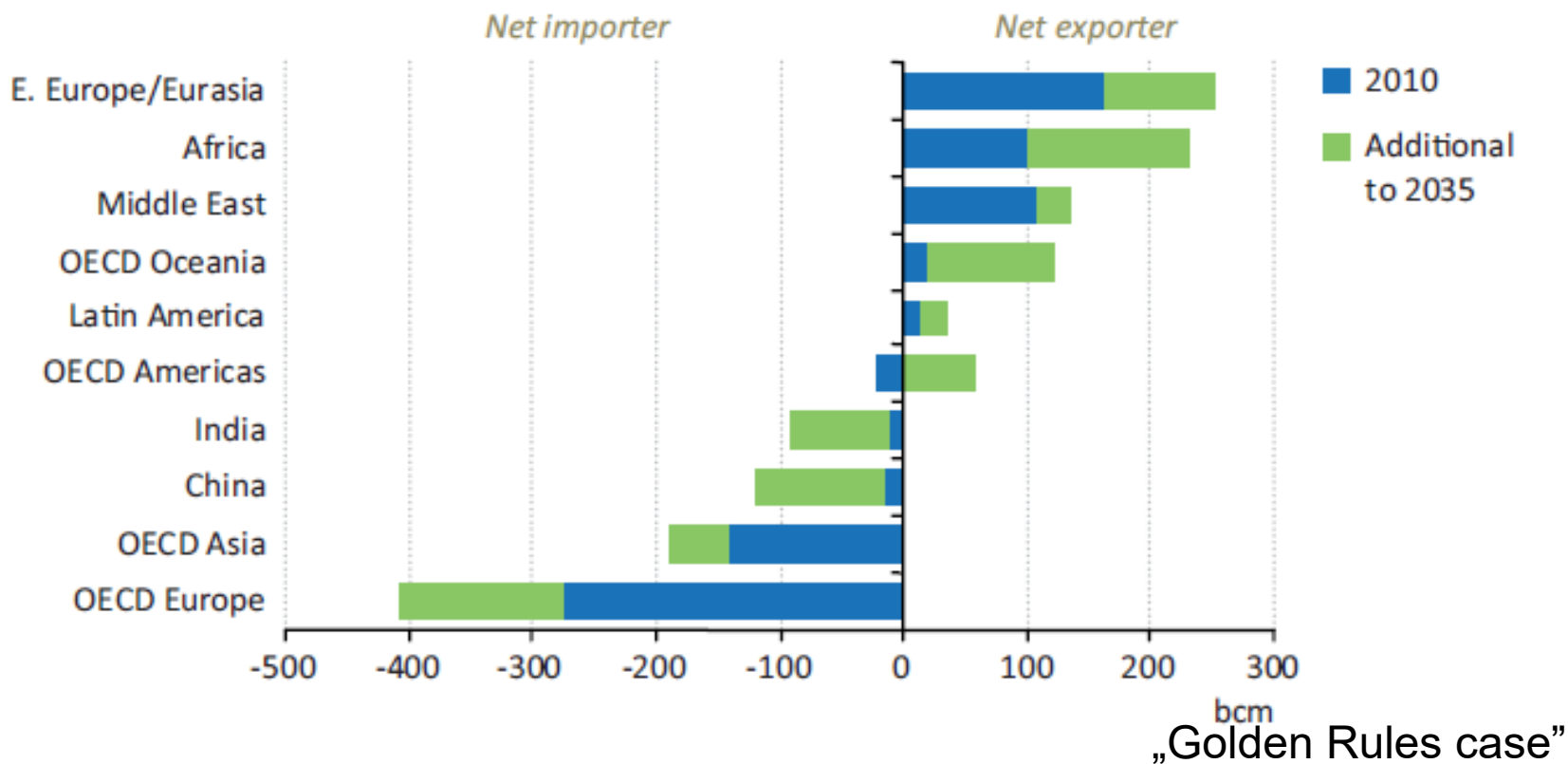


„Golden Rules case”

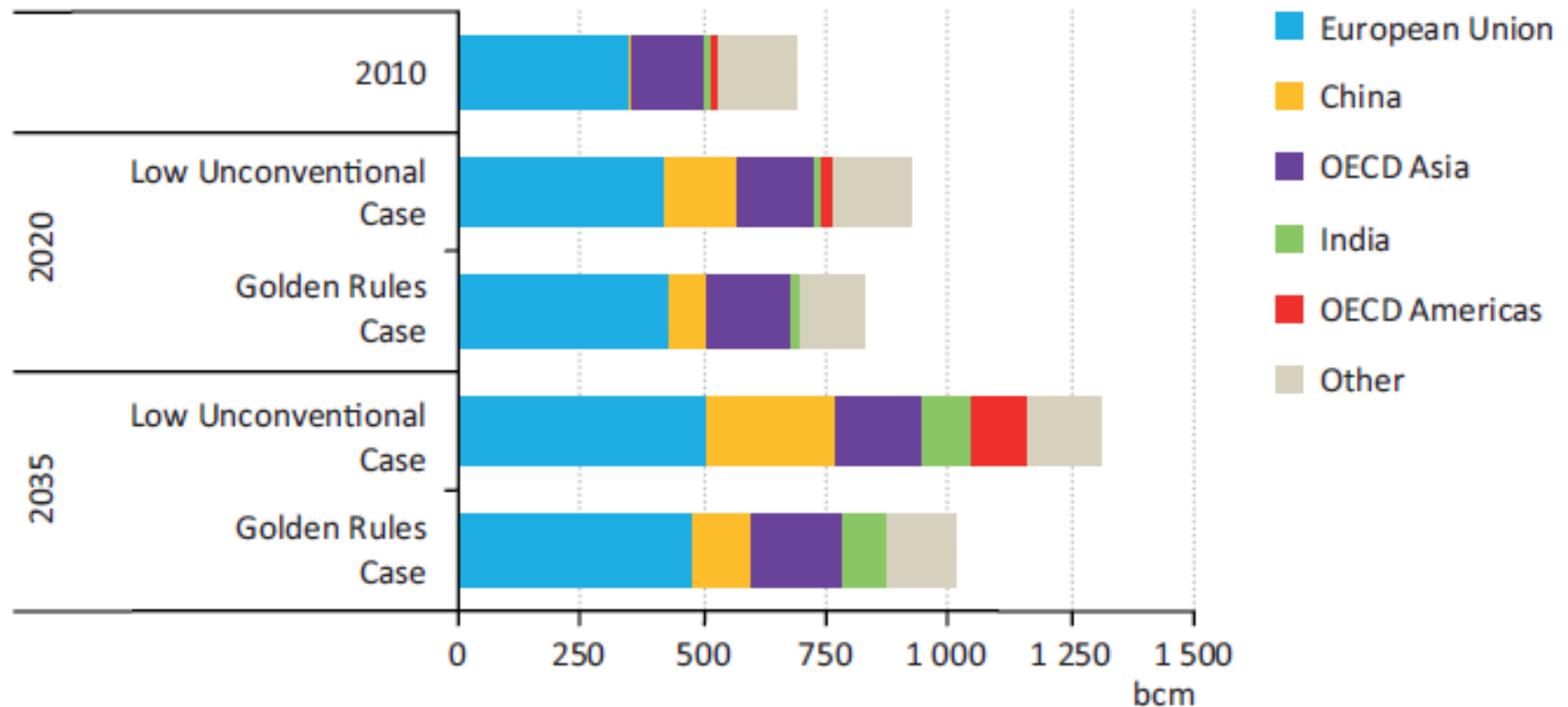
Prognoza wpływu gazu niekonwencjonalnego
na strukturę wytwarzania energii elektrycznej (IEA, 2012)



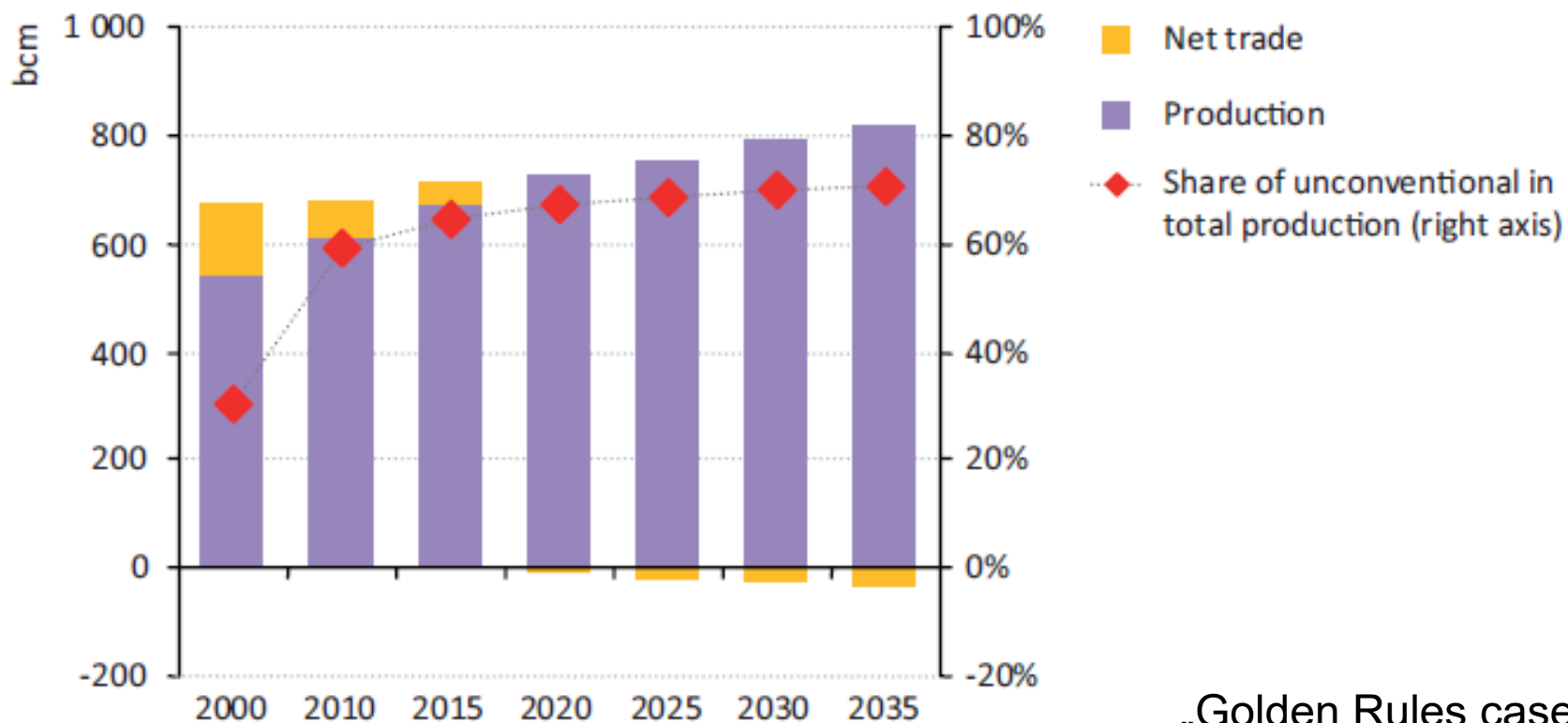
Prognoza przepływów gazu na rynku globalnym (IEA, 2012)



Importerzy netto gazu ziemnego (IEA, 2012)

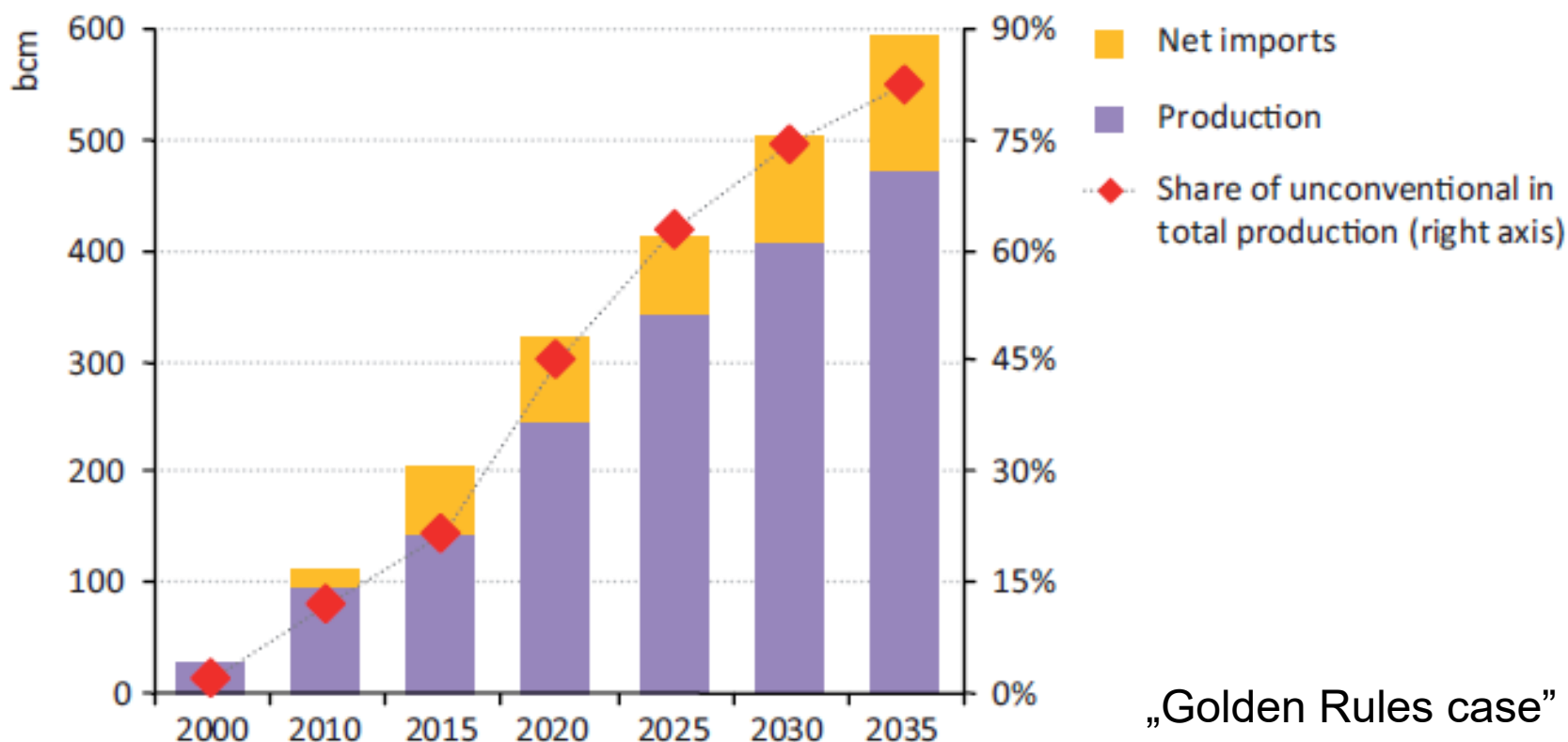


Prognoza zaspokojenia zapotrzebowania na gaz w USA (IEA, 2012)



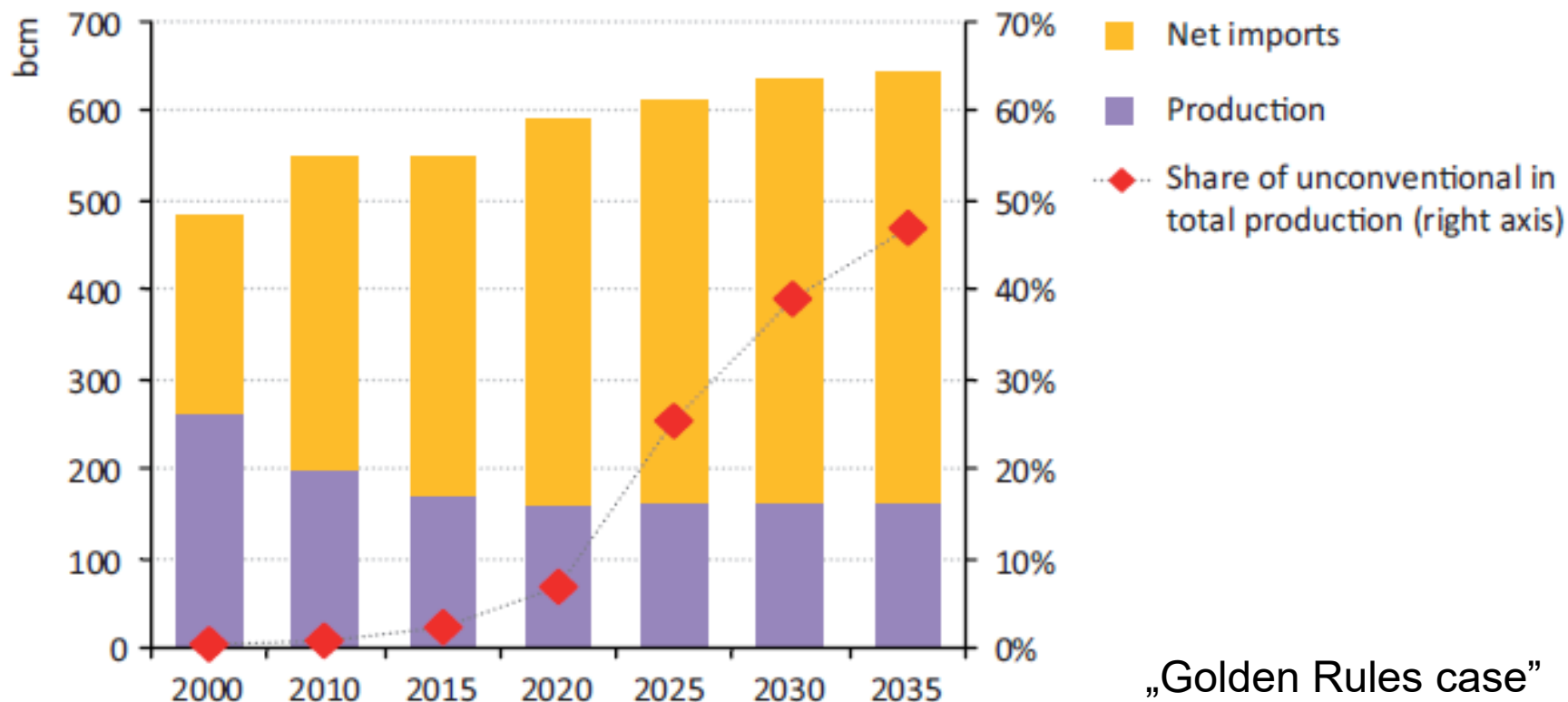
„Golden Rules case”

Prognoza zaspokojenia zapotrzebowania na gaz w Chinach (IEA, 2012)



„Golden Rules case”

Prognoza zaspokojenia zapotrzebowania na gaz w UE (IEA, 2012)



„Golden Rules case”

U-233

U-235

Pu-239

Pu-241

Izotopy rodne

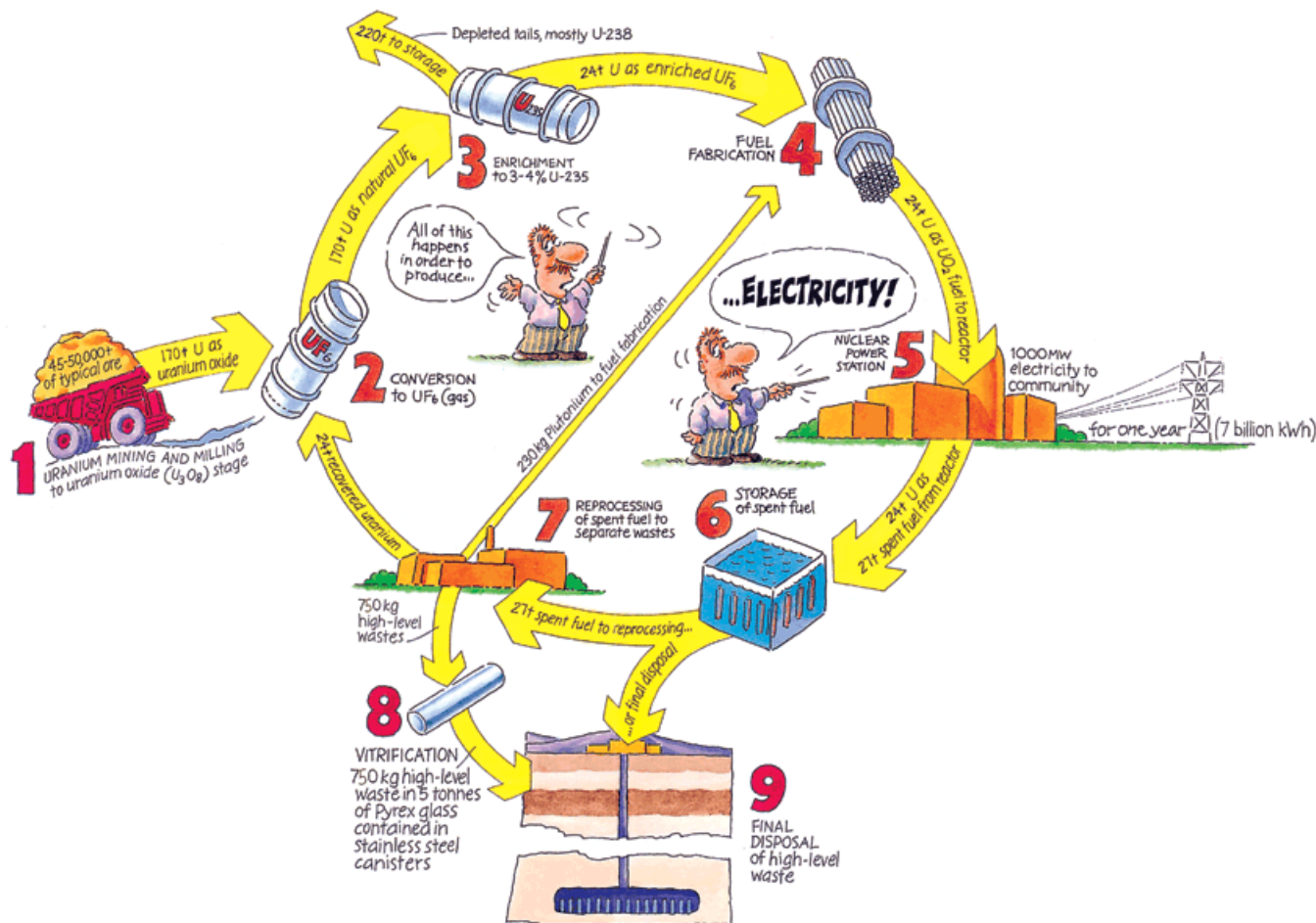
Th-232 → U-233

U-234 → U-235

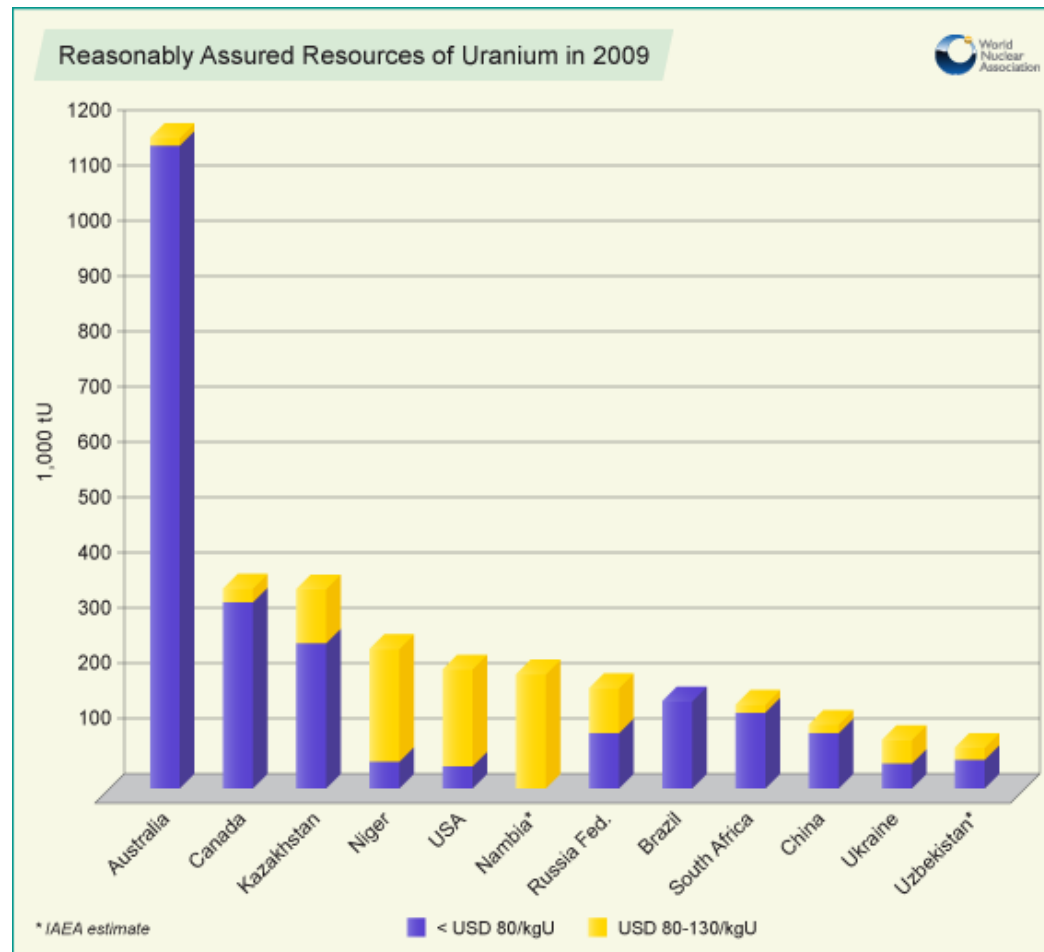
U-238 → Pu-239

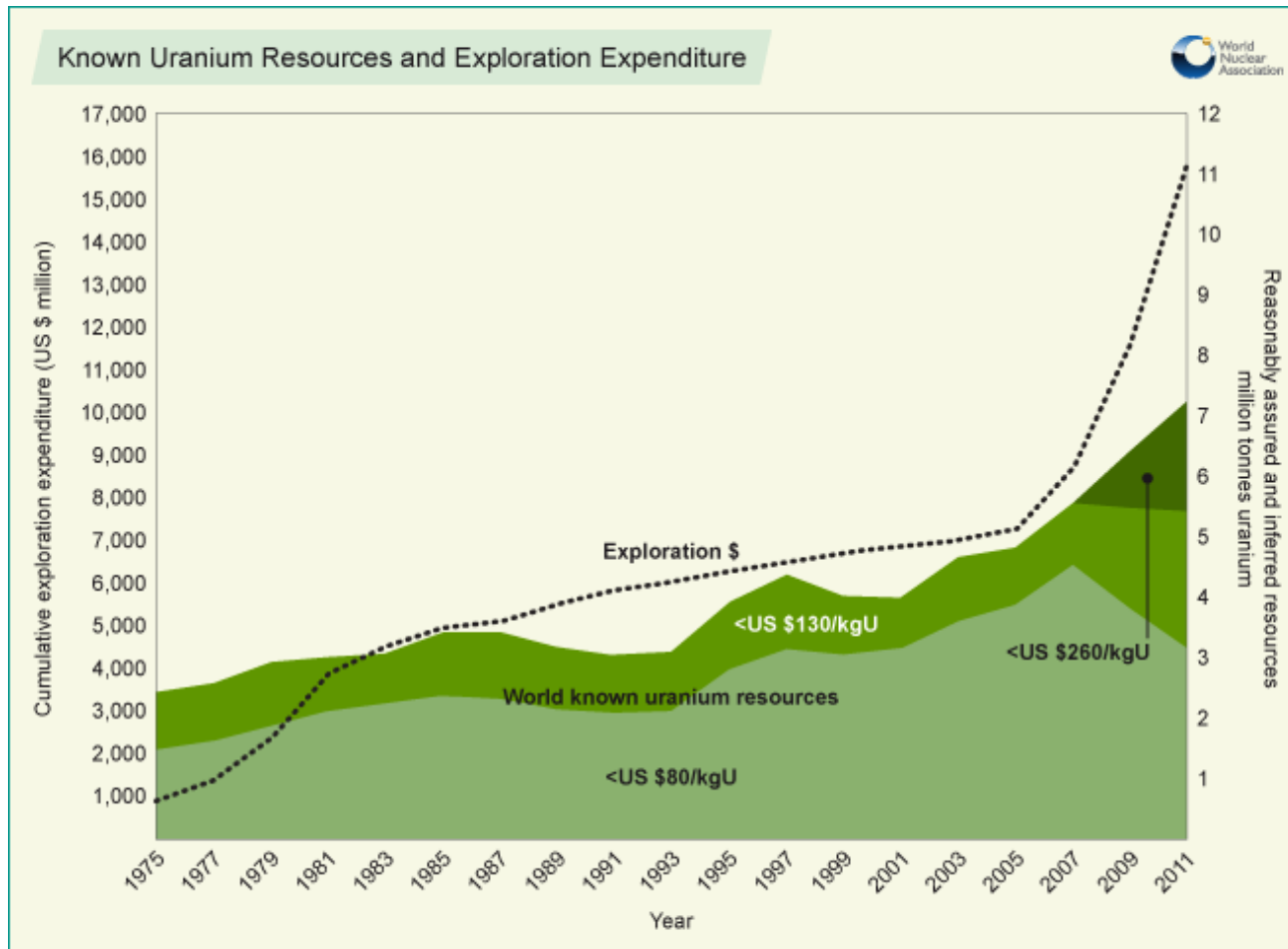
Pu-238 → Pu-239

Pu-240 → Pu-241

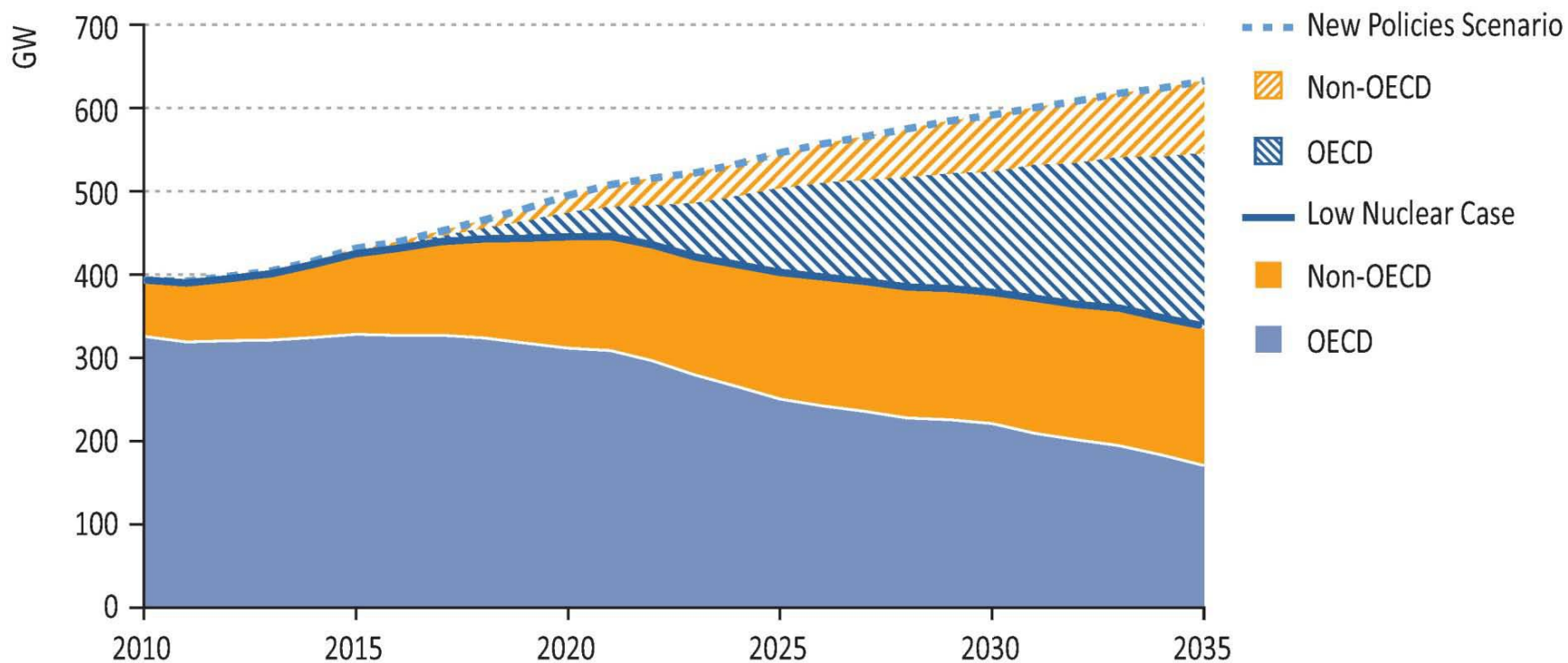


- Uran naturalny zawiera 0,7% U-235
- Typowe paliwo świeże jest wzbogacone do 4-5% U-235
- Paliwo wypalone zawiera ok. 1% U-235
- U-238 nie jest powszechnie wykorzystywany do produkcji Pu-239
- Pu-239 jest rzadko odzyskiwany z wypalonego paliwa
- Wykorzystujemy tylko kilka procent energii dostępnej w wydobytej rudzie uranu

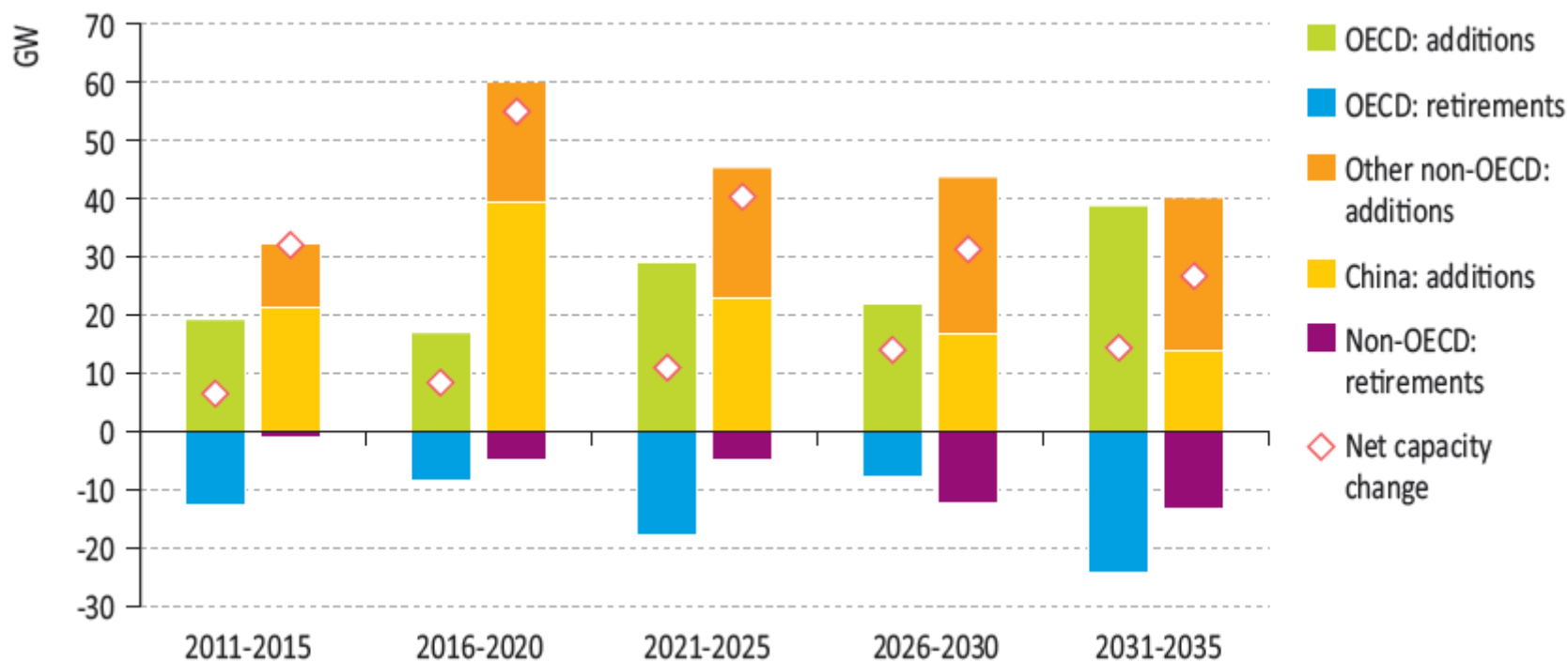




Prognozy zmian mocy zainstalowanej w EJ (IEA, 2010)



Prognozy zmian mocy zainstalowanej w EJ (IEA, 2011)



Scenariusz pośredni („nowej polityki”)

Wiatrowe

Słoneczne

- Ciepłne
- Fotowoltaiczne

Wodne

- Rieczne/górskie
- Pływowe
- Falowe
- Maretermiczne
- Osmotyczne

Biomasa

- Biomasa leśna
- Biomasa rolnicza („agro”)
- Biopaliwa ciekłe
- Biogaz

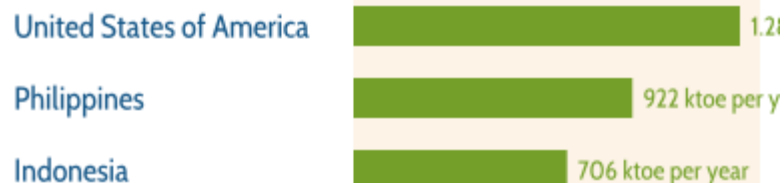
Geotermalne

Global hydropower production



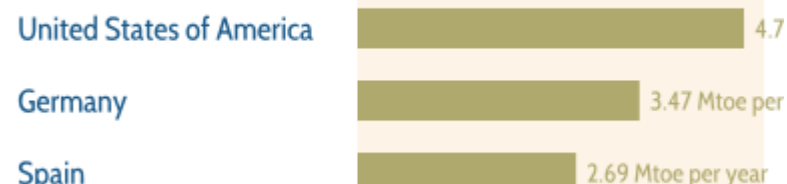
Copyright World Energy Council 2013

Global geothermal production



Copyright World Energy Council 2013

Global wind production

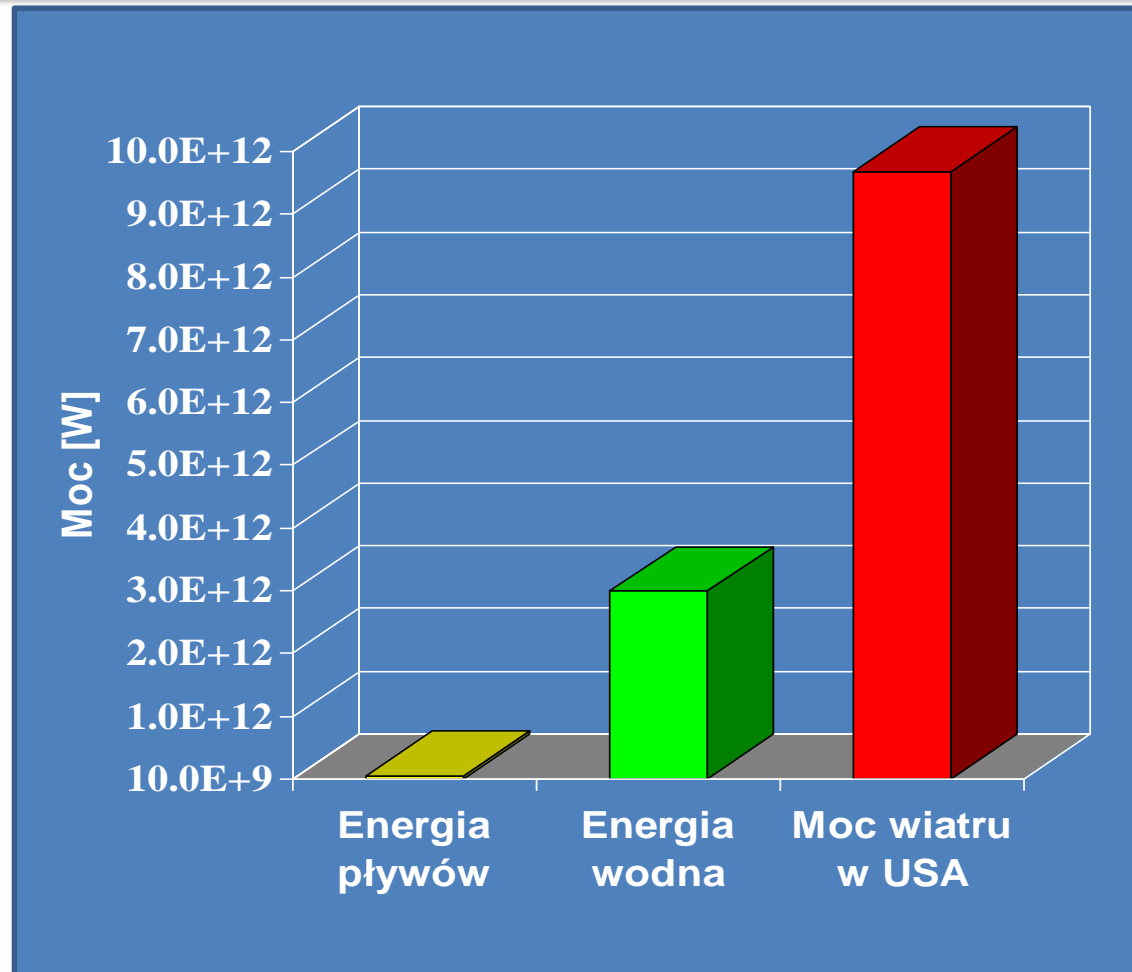


Copyright World Energy Council 2013

Global solar capacity

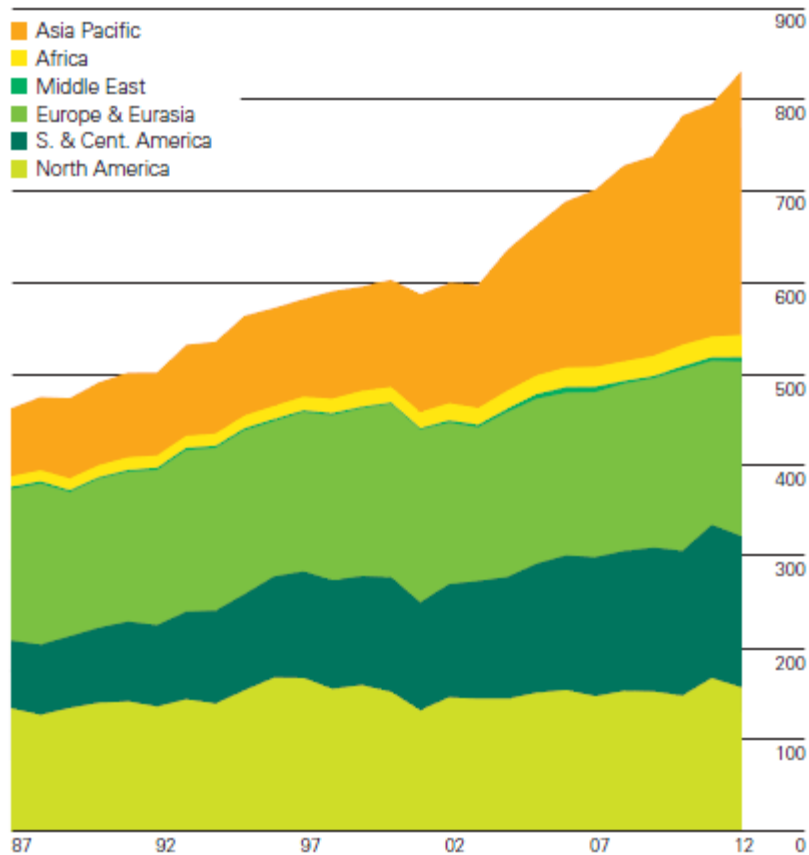


Copyright World Energy Council 2013



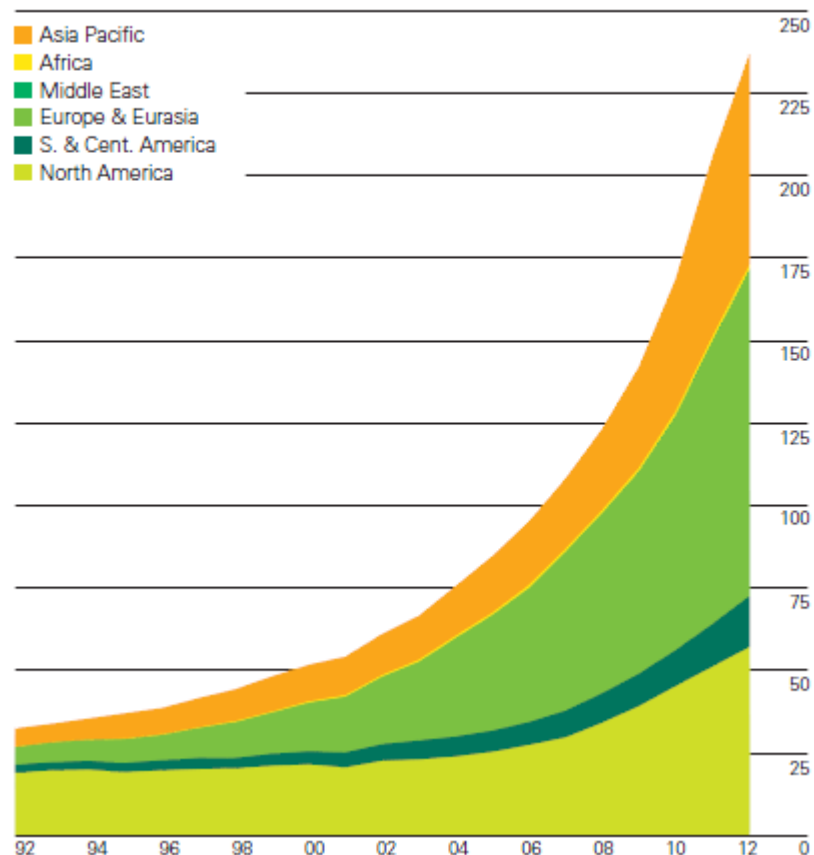
Hydroelectricity consumption by region

Million tonnes oil equivalent

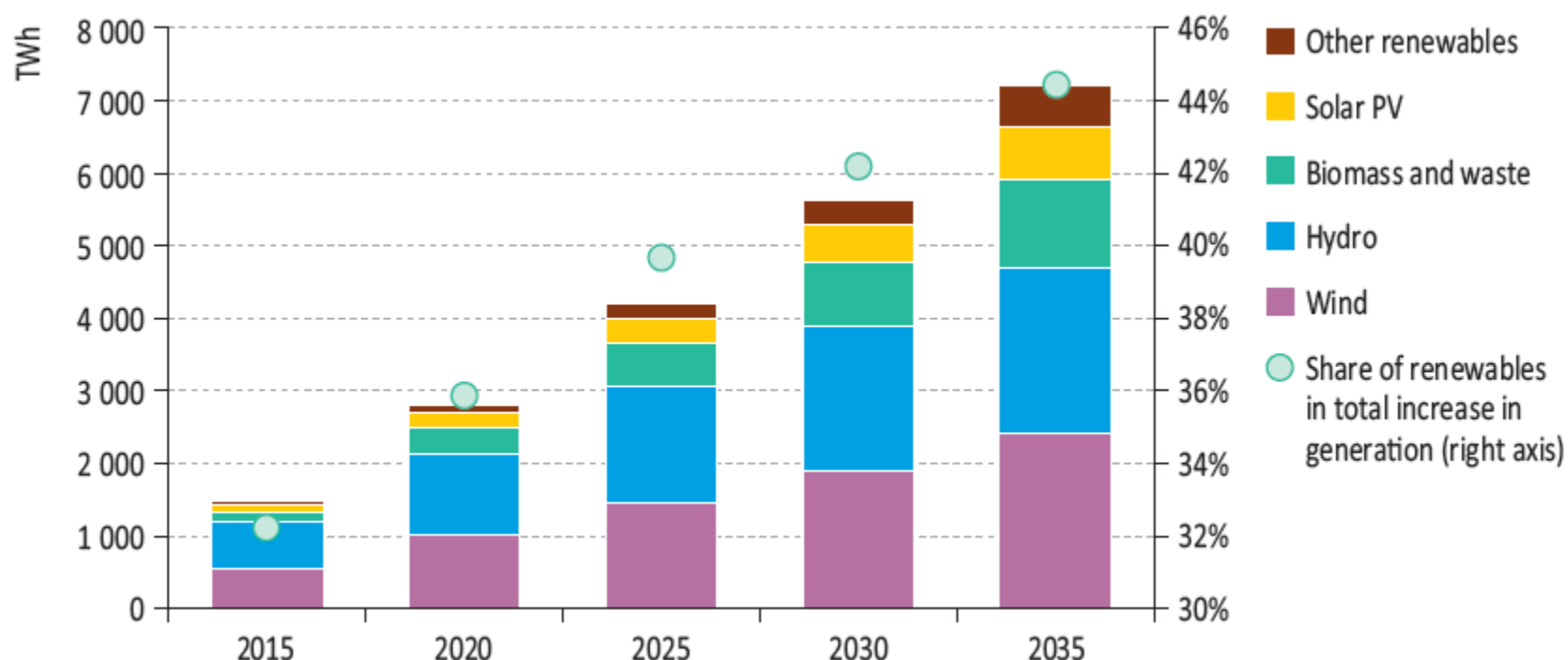


Other renewables consumption by region

Million tonnes oil equivalent

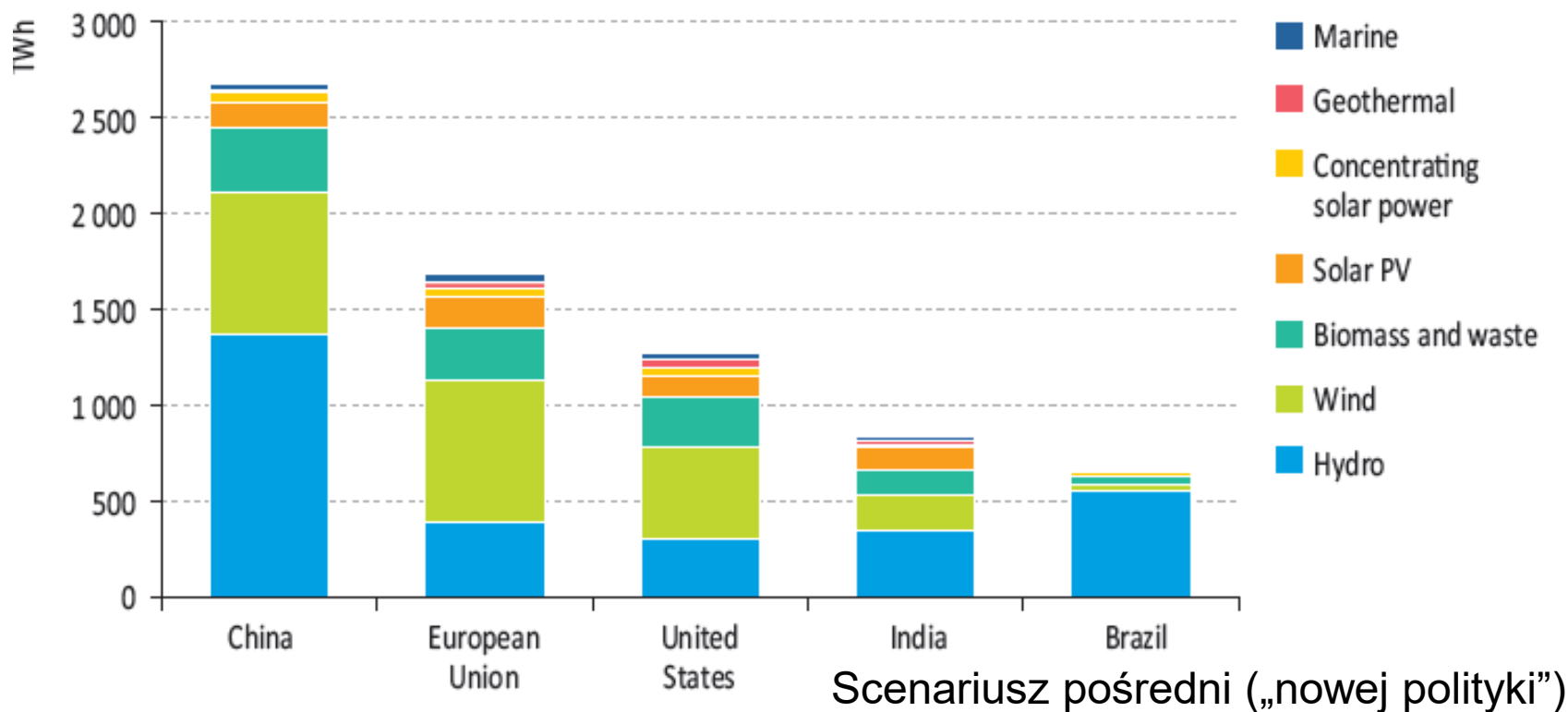


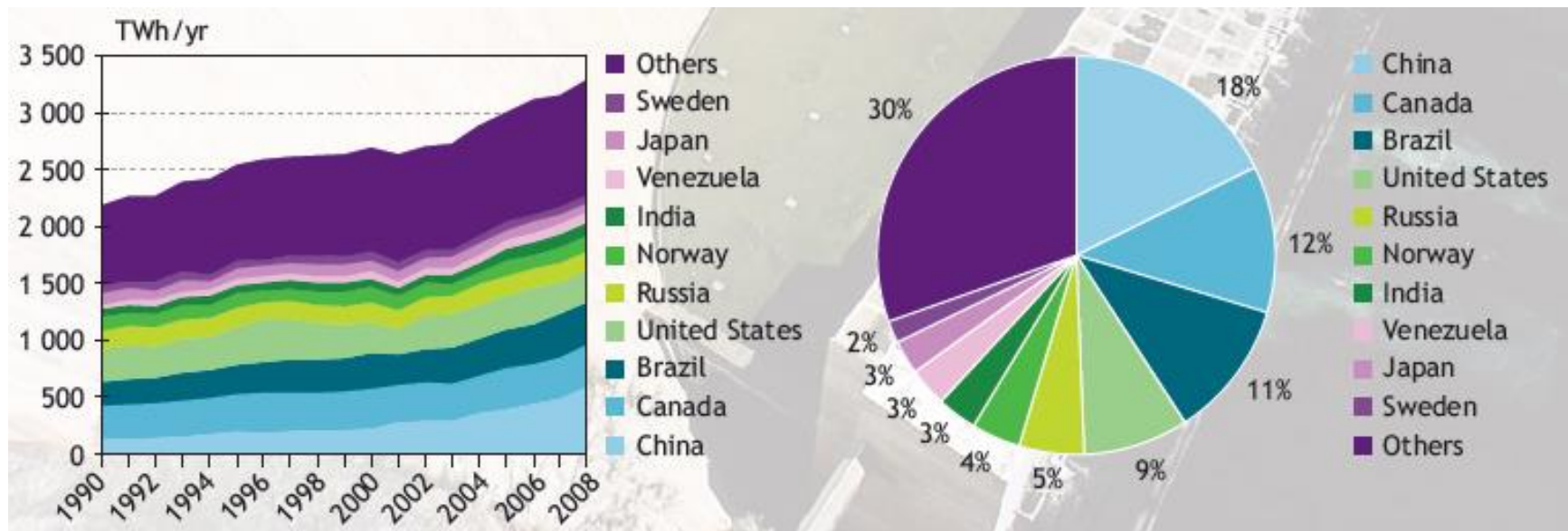
Prognoza produkcji energii elektrycznej z OZE (IEA, 2011)



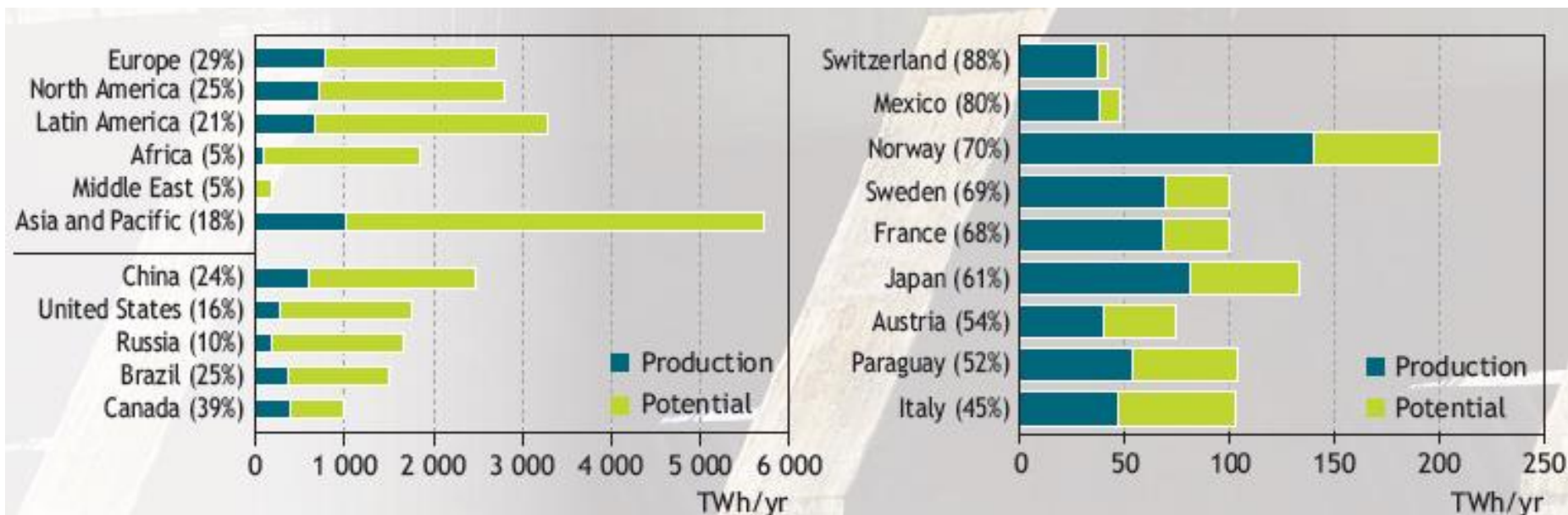
Scenariusz pośredni („nowej polityki”)

Prognoza produkcji energii elektrycznej z OZE, 2035 (IEA, 2011)





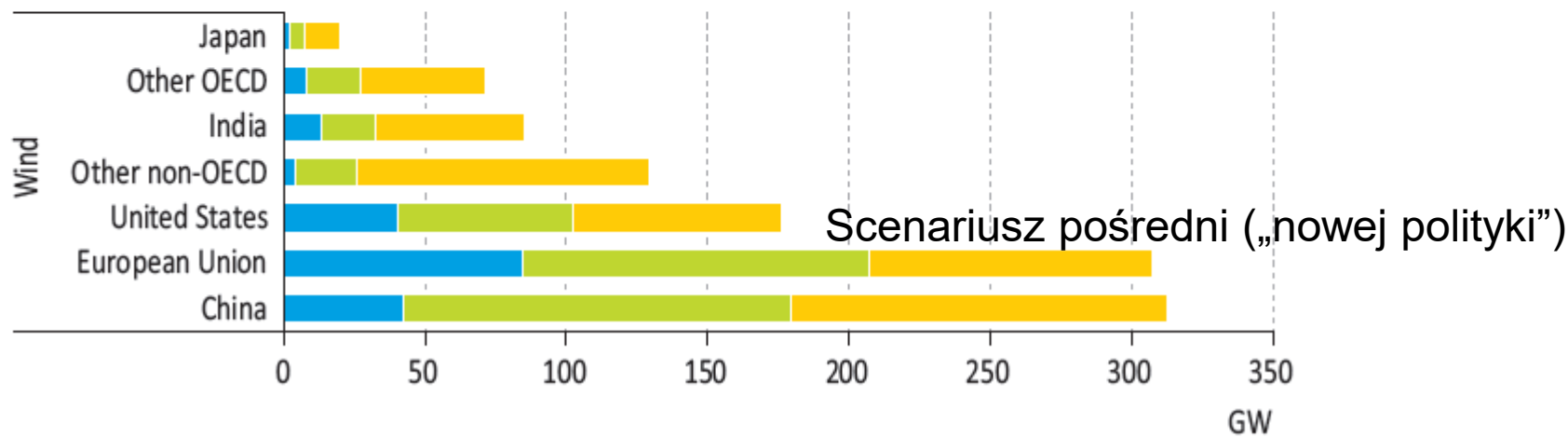
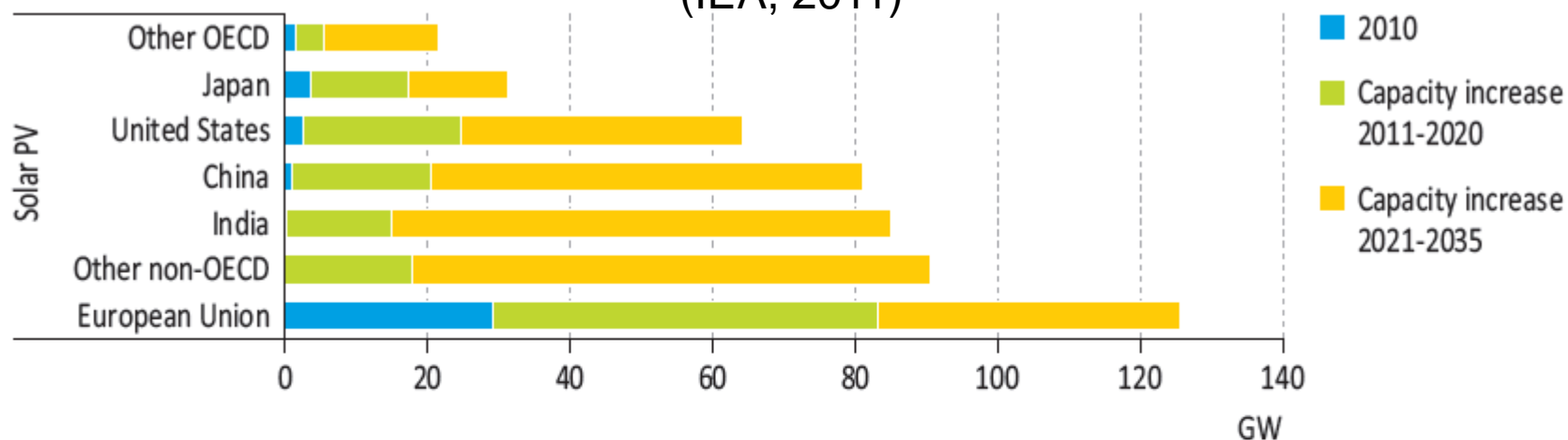
Wykorzystanie całkowitego potencjału hydroenergetyki, 2007-2008 (IEA)



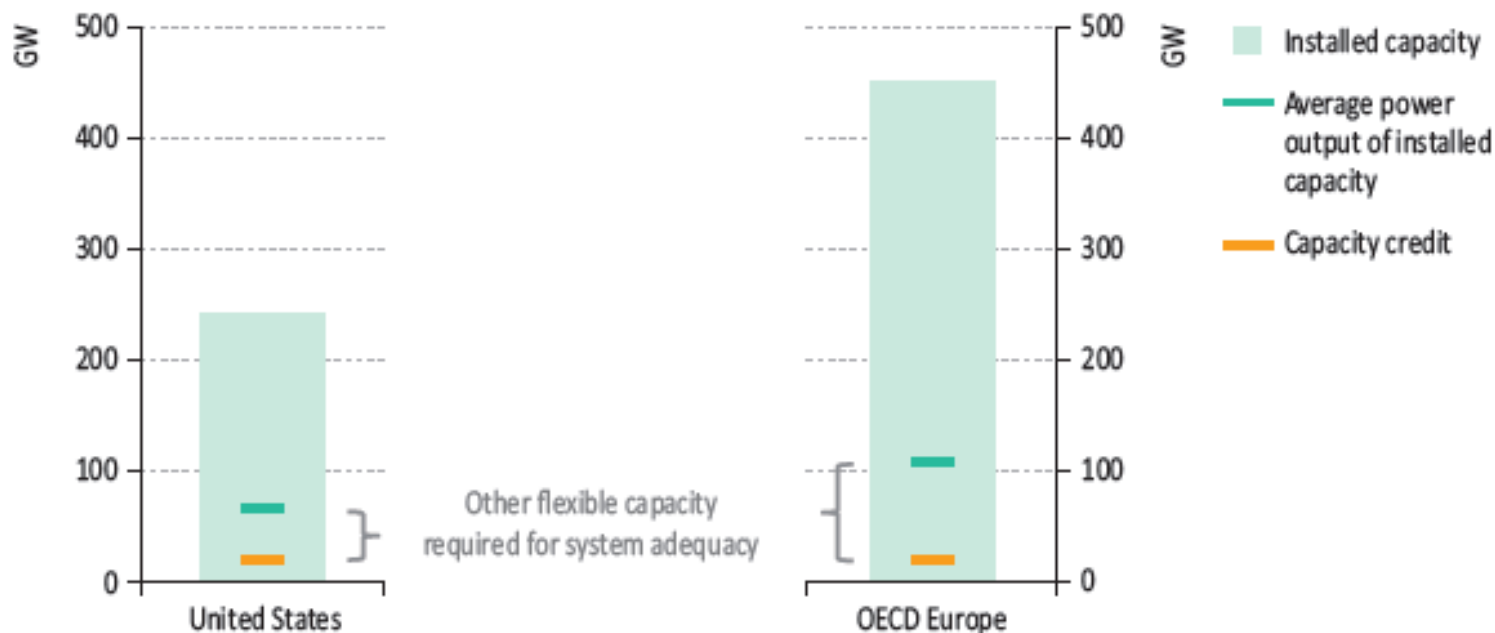
Zasoby teoretyczne

Typ	Moc [GW]	Roczna produkcja [TWh]
Fale	1000-9000	8 000-80 000
Prądy morskie	5000	50 000
Maretermiczne	1000	10 000
Pływowe	90	800
Osmotyczne	20	2 000

Prognoza mocy zainstalowanej w źródłach fotowoltaicznych i wiatrowych (IEA, 2011)



Wykorzystanie mocy zainstalowanej w źródłach fotowoltaicznych i wiatrowych, 2035 (IEA, 2011)



Scenariusz pośredni („nowej polityki”)

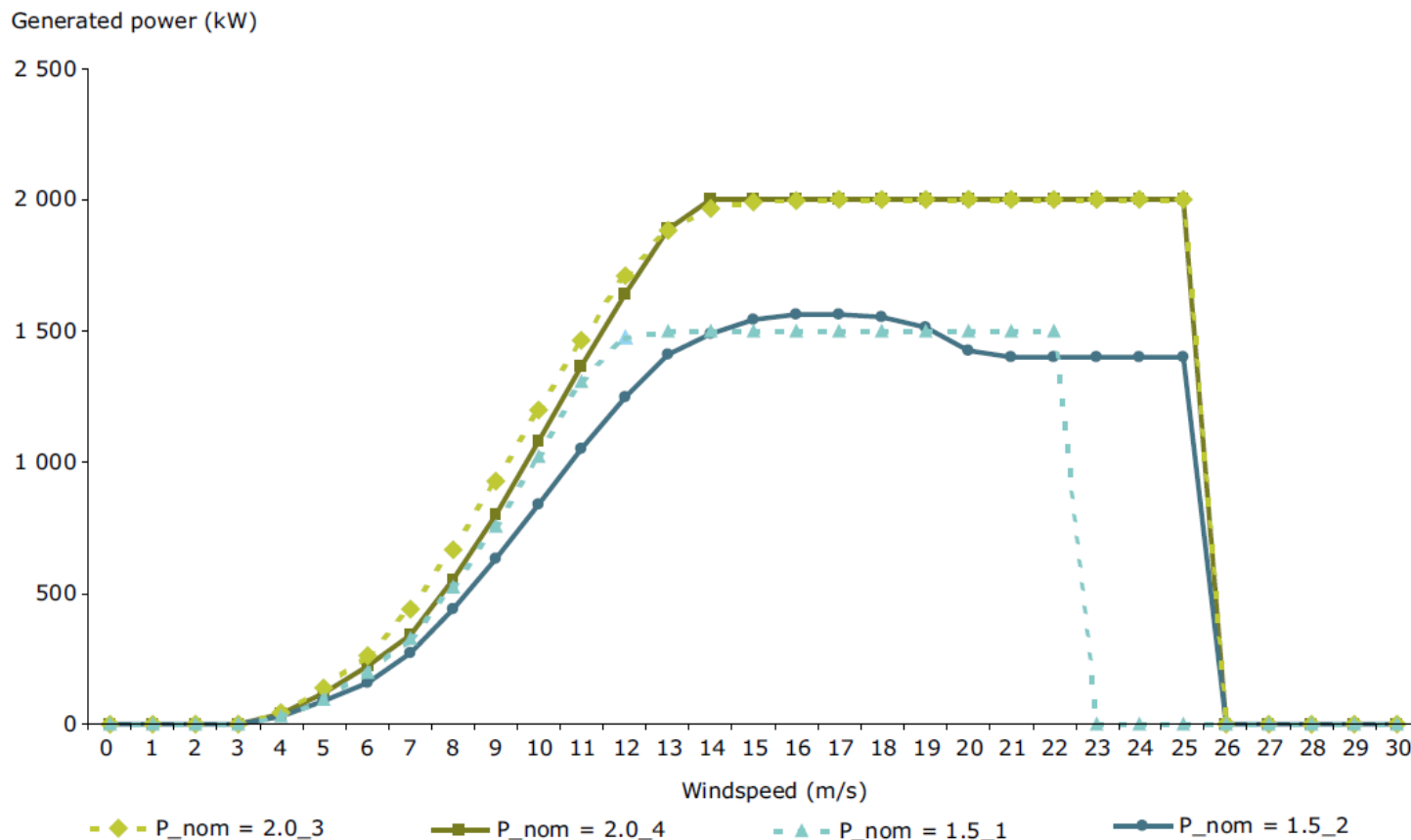
Energetyka wiatrowa

Potencjał w Europie



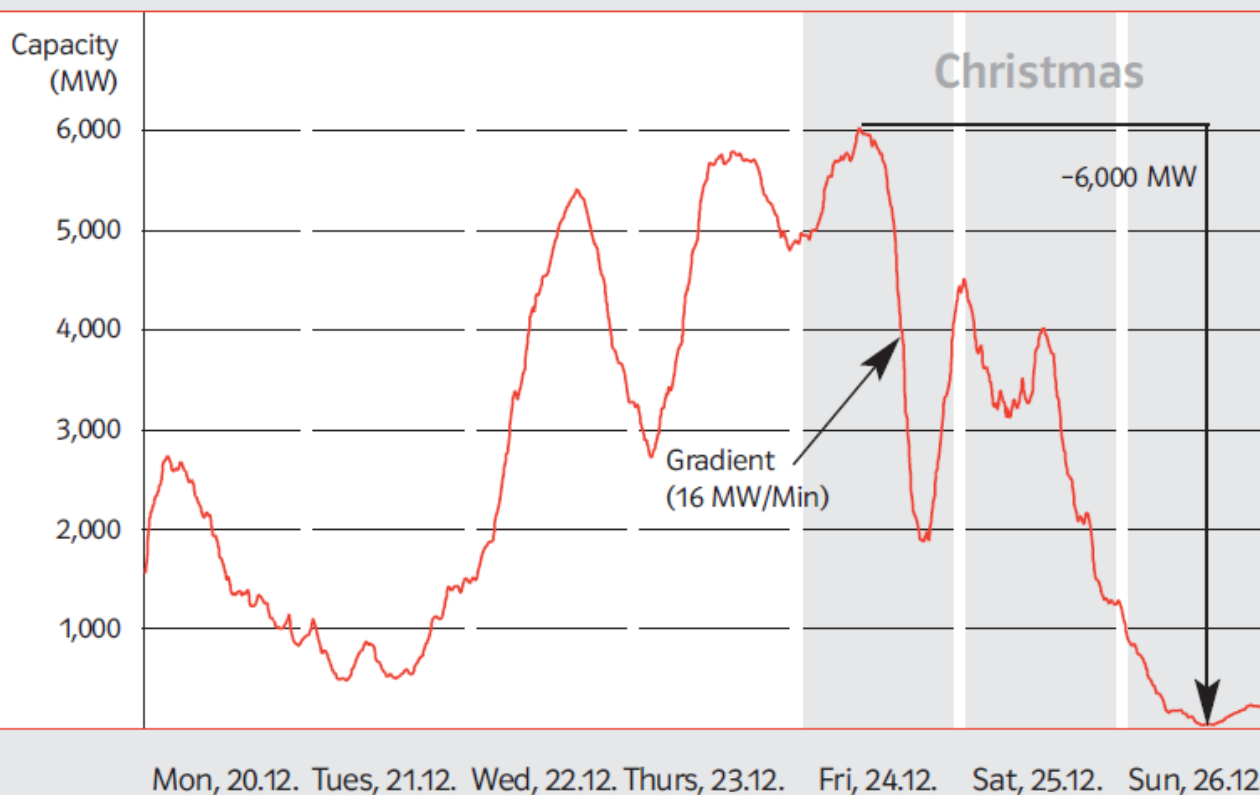
		Year	TWh	Share of 2020 and 2030 demand ^(a)
Technical potential	Onshore	2020	45 000	11–13
		2030	45 000	10–11
	Offshore	2020	25 000	6–7
		2030	30 000	7
	Total	2020	70 000	17–20
		2030	75 000	17–18
Constrained potential	Onshore	2020	39 000	10–11
		2030	39 000	9
	Offshore	2020	2 800	0.7–0.8
		2030	3 500	0.8
	Total	2020	41 800	10–12
		2030	42 500	10
Economically competitive potential	Onshore ^(b)	2020	9 600	2–3
		2030	27 000	6
	Offshore	2020	2600	0.6–0.7
		2030	3400	0.8–0.8
	Total	2020	12 200	3
		2030	30 400	7

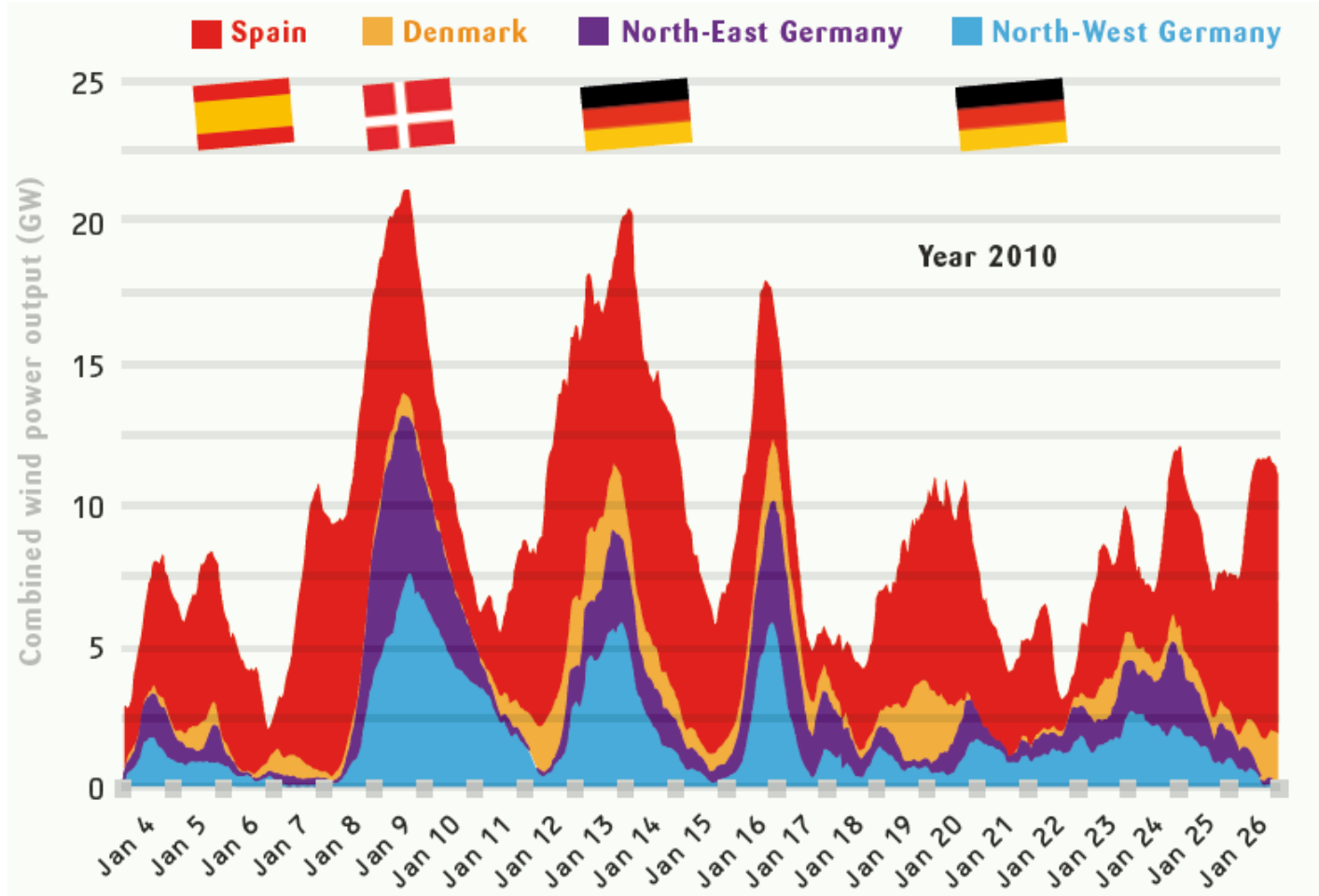
Źródło: EEA

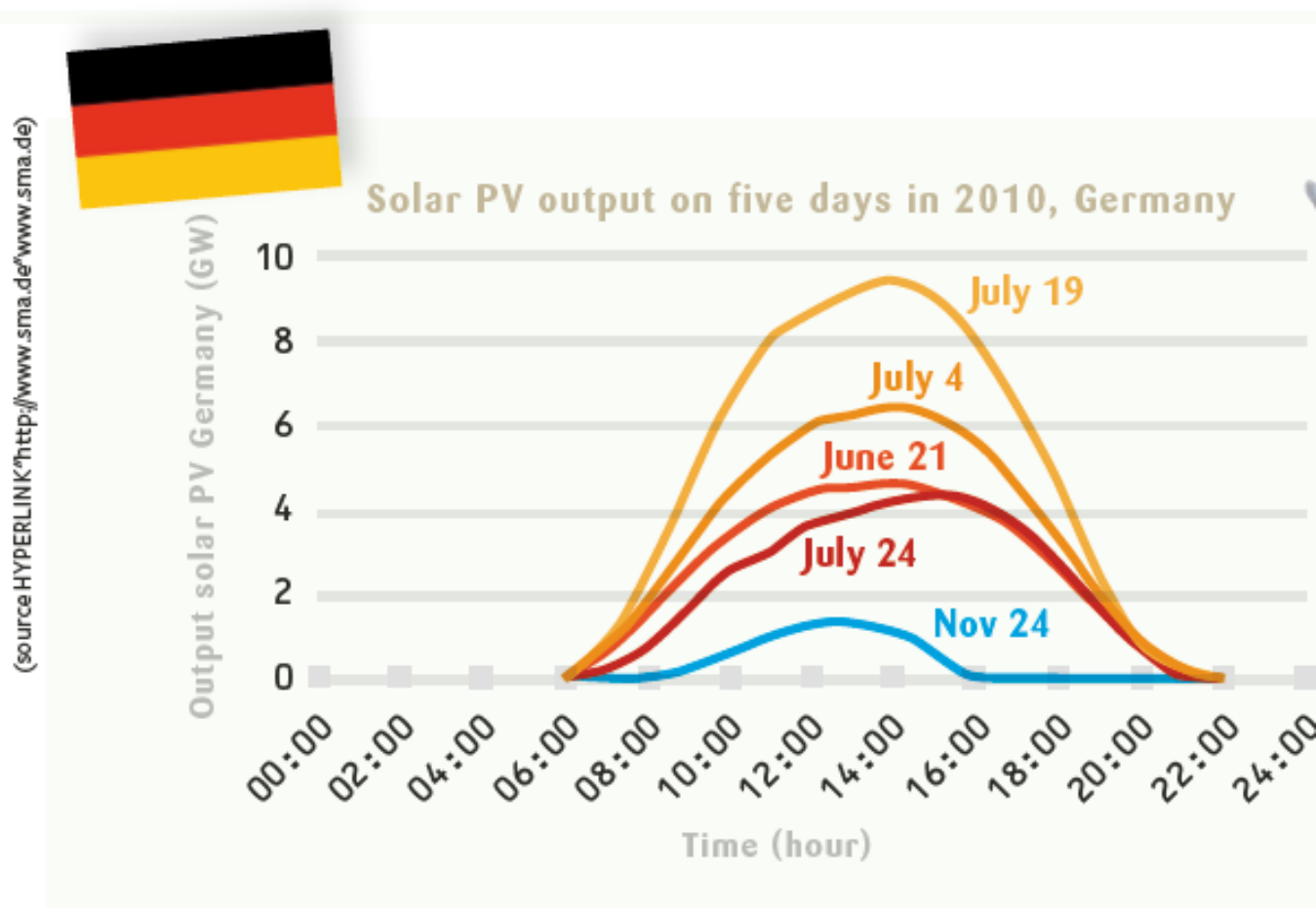


6. Short-term drop

in wind power feed-in over Christmas 2004

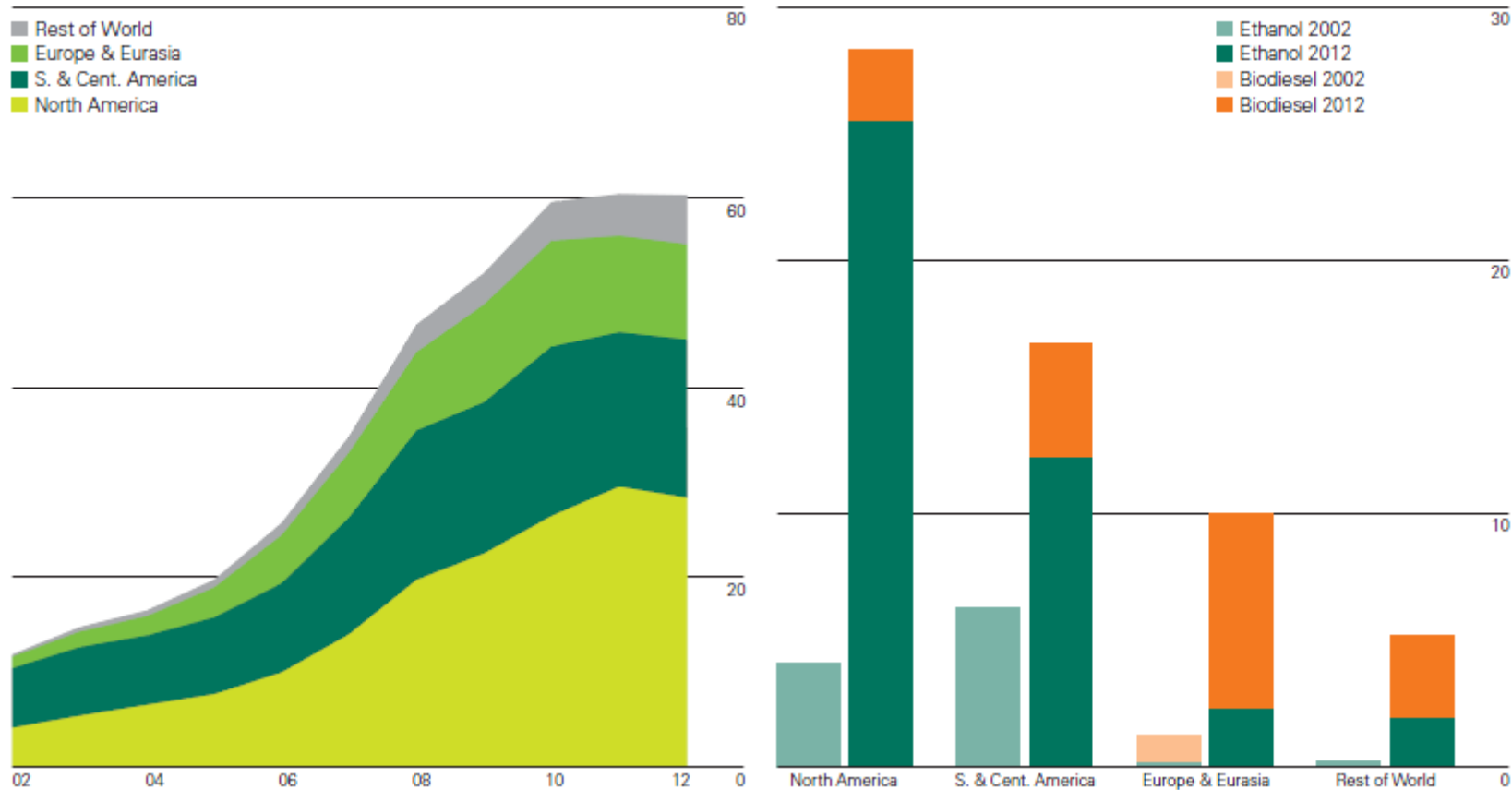




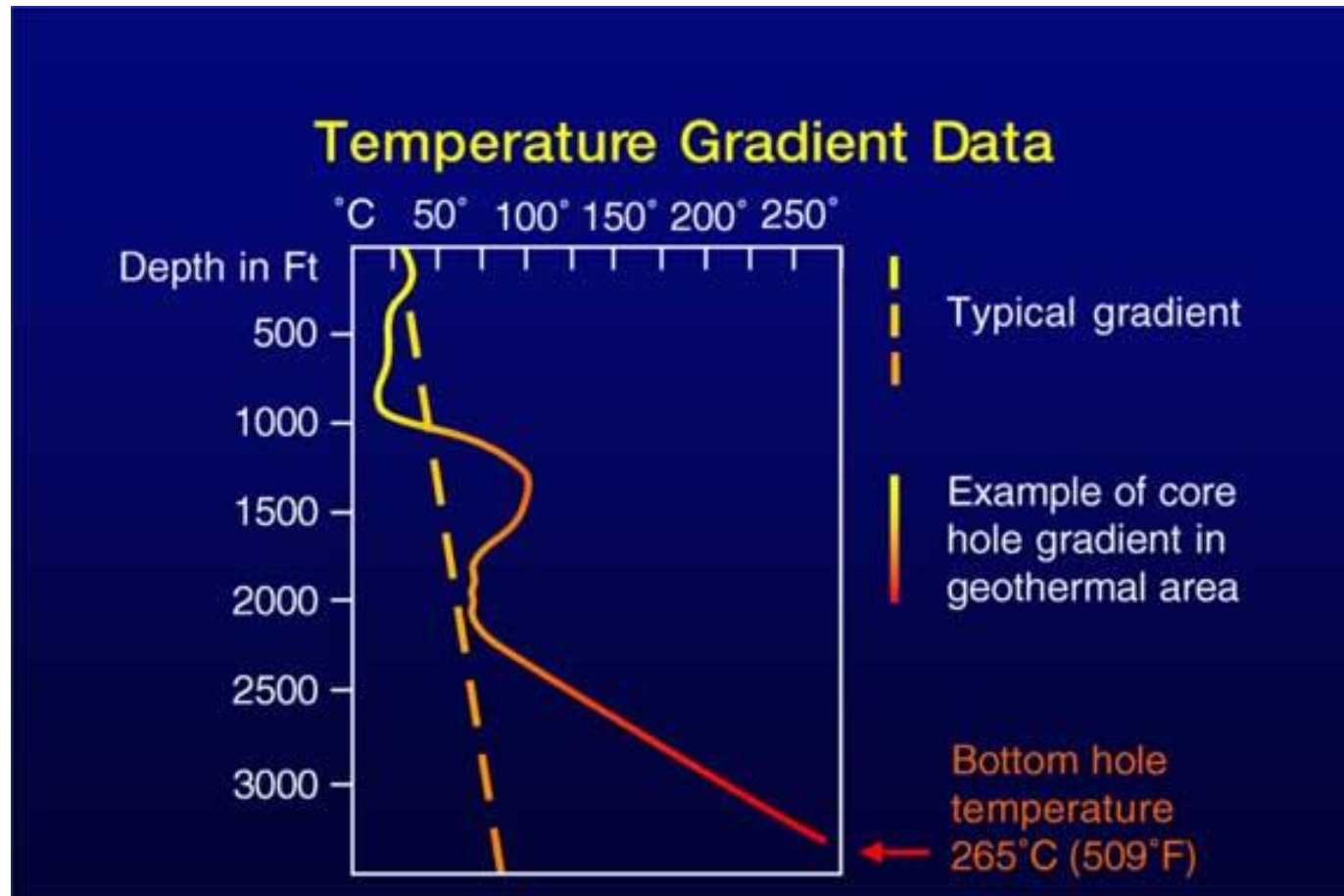


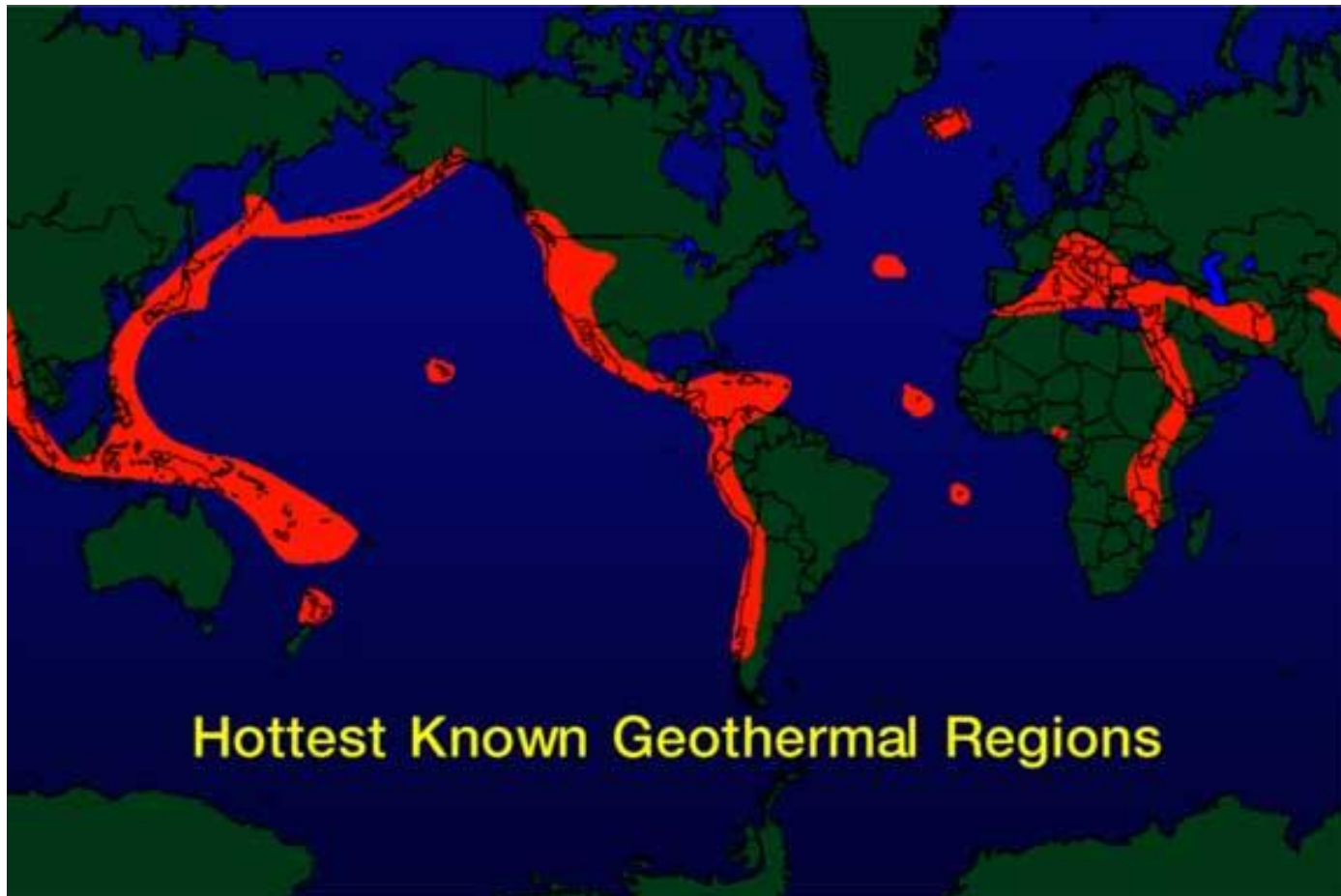
World biofuels production

Million tonnes oil equivalent



- Strumień energii: 44.2 TW
- Gęstość strumienia 0,1 MW/km²
- Ciepło z rozpadu promieniotwórczego: 30 TW
- Reszta – chłodzenie płaszcza i tarcie
- Gradient geotermalny:
 - W skorupie: 25-30°C/km
 - Ogólnie 15-80°C/km





- Kopaliny utrzymają dominującą rolę w ciągu najbliższych dekad, choć rosnąć będzie rola źródeł niekonwencjonalnych
- Spośród kopalin największy potencjał tkwi w perspektywicznych źródłach jądrowych. Technologia dla ich wykorzystania istnieje, ale nie jest powszechnie stosowana.
- Znaczący wzrost udziału OZE ograniczać się będzie głównie do krajów wysokorozwiniętych. Ich udział w globalnym bilansie pozostanie względnie niski.



Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
INSTYTUT TECHNIKI CIEPLNEJ

im. Bohdana Stefanowskiego



Dziękuję za uwagę.

adam.rajewski@itc.pw.edu.pl
