

Material informacyjny

opracowany przez Departament Energii Jądrowej
Ministerstwa Klimatu i Środowiska

Maj 2021

Energetyka jądrowa na świecie

Na świecie działają obecnie 444 energetyczne reaktory jądrowe w 32 krajach¹. W ostatnich dwóch latach liczba ta pozostawała prawie na niezmienionym poziomie. W budowie znajduje się kolejnych 53 bloków energetycznych, a około 100 jest planowanych.

Światowe zdolności do produkcji energii elektrycznej w siłowniach jądrowych nieznacznie rosną, ponieważ większe reaktory są włączane do sieci, a wycofywane są jednostki o mniejszej mocy. Ponadto modernizacje i ulepszenia niektórych istniejących reaktorów również zwiększyły światową moc elektrowni jądrowych, która wynosi obecnie 394,07 GWe.

Stale rośnie produkcja energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, a ilość wytworzonego w nich prądu w roku 2019 wyniosła 2657,16 TWh.

Udział energetyki jądrowej w światowym bilansie energetycznym od pięciu lat utrzymuje się na podobnym poziomie i w roku 2019 wyniósł ok. 10,1%.

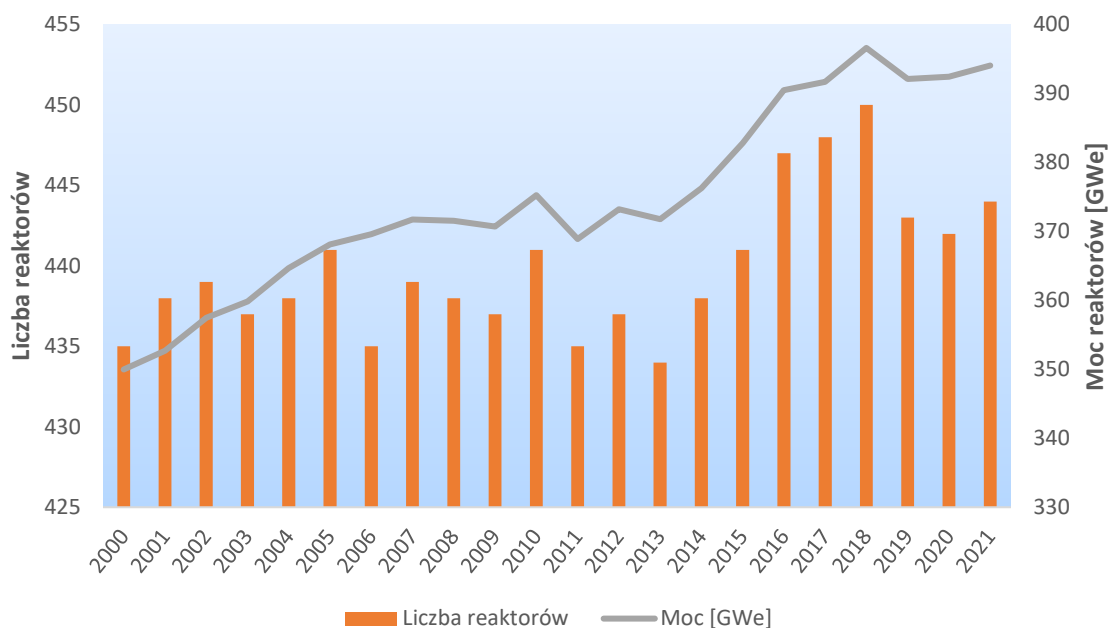
I. REAKTORY JĄDROWE NA ŚWIECIE

Energetyka jądrowa jest dobrze rozwinięta lub rozpoczyna się jej wdrażanie w 35 państwach. W maju 2021 r. **czynnych było 444 energetycznych reaktorów jądrowych o całkowitej mocy 394,068 GWe** (na koniec 2019 roku było to odpowiednio 443 reaktorów o mocy 392,1 GWe). Oprócz reaktorów energetycznych na świecie eksploatowanych jest obecnie **222 reaktorów badawczych** przeznaczonych do prowadzenia prac naukowo-badawczych, do celów dydaktycznych i szkolenia personelu oraz wytwarzania izotopów promieniotwórczych.

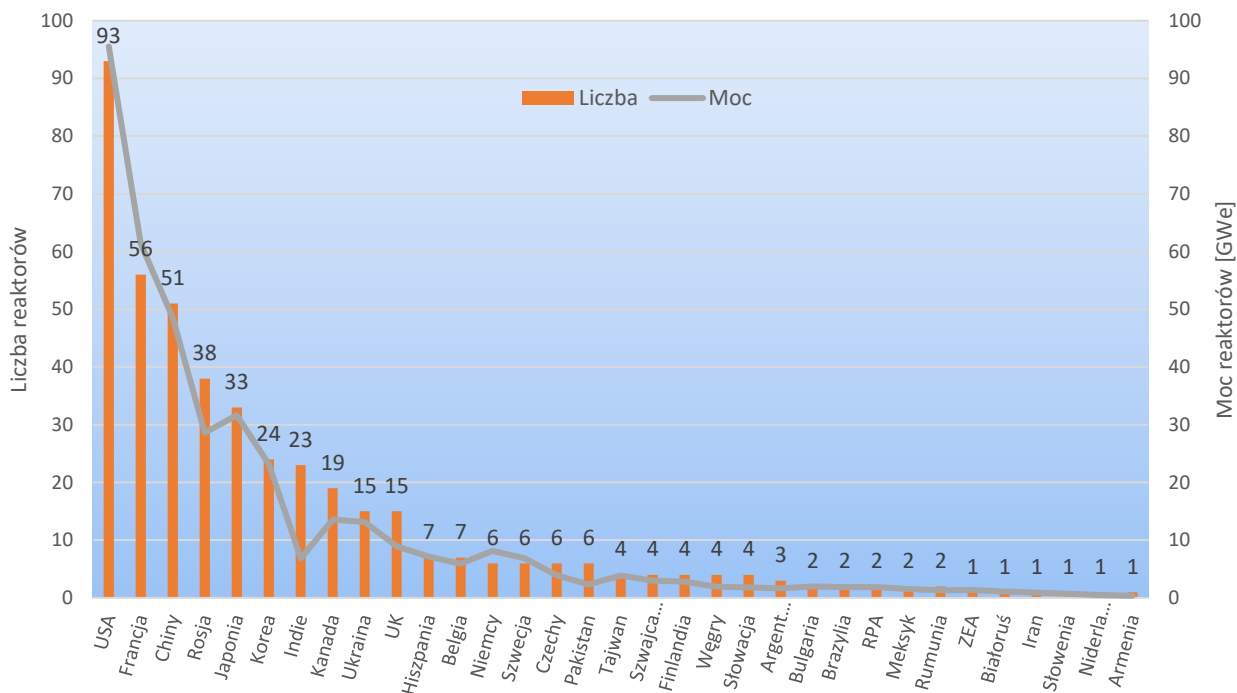
	Liczba czynnych reaktorów	Moc zainstalowana netto [GWe]	Produkcja energii [TWh]	Udział [%]
2005	441	368,12	2626,34	16
2006	435	369,58	2660,85	16
2007	439	371,71	2608,18	15
2008	438	371,56	2597,81	15
2009	437	370,70	2558,06	14
2010	441	375,28	2629,82	13,8
2011	435	368,92	2517,98	13,5
2012	437	373,24	2346,19	11
2013	434	371,78	2358,86	11
2014	438	376,26	2410,37	11
2015	441	382,81	2441,34	11,5
2016	447	390,49	2477,30	10,6
2017	448	391,72	2502,82	10,3
2018	450	396,62	2562,76	10,3
2019	443	392,10	2657,16	10,1
2020	442	392,45	2675,07	10,0
2021	444	394,07		

Tab.1. Liczba i moc reaktorów energetycznych oraz produkcja i udział energetyki jądrowej w wytwarzaniu energii elektrycznej na świecie w latach 2000-2021 [wg. MAEA]

¹ Energetyka jądrowa rozwija się także w Republice Chińskiej (Tajwan) - państwo nieuznawane przez większość społeczności międzynarodowej.



Rys. 1. Zmiany liczby i mocy czynnych reaktorów energetycznych na świecie [wg. MAEA]



Rys. 2. Rozmieszczenie, liczba i moc czynnych reaktorów energetycznych na świecie [wg. MAEA]

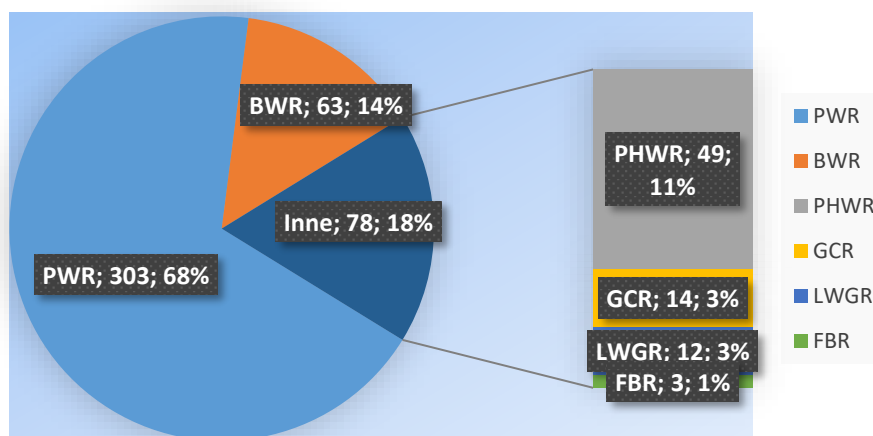
Światowa moc wytwórcza energetyki jądrowej od kilkunastu lat utrzymuje się w przedziale 360-395 GWe, a od roku 2012, po okresie spadku związanego z awarią jądrową w Fukushima i wyłączeniami reaktorów na skutek zmiany polityki energetycznej kilku państw, odnotowuje się stały niewielki wzrost. Największą flotą reaktorów jądrowych dysponują obecnie Stany Zjednoczone, które eksploatują 93 energetyczne reaktory jądrowe o sumarycznej mocy 95,523 GWe. Kolejne dziewięć państw (Francja, Chiny, Rosja, Japonia, Korea, Indie, Kanada, Ukraina i UK) posiadają liczbę reaktorów mieszczącą się w przedziale 15-56. Pozostałe kraje eksploatują nie więcej niż 10 reaktorów.

Moce wytwórcze energetycznych bloków jądrowych zawierają się w przedziale od 600 GWe (z reaktorami PHWR) do 1600 MWe (z reaktorami PWR). Występują jeszcze najstarsze jednostki o mocach 200-440 MWe. Współcześnie budowane reaktory energetyczne mają moce od 1 do 1,6 GWe.

Lp	Elektrownia	Liczba reaktorów	Typ reaktorów	Moc (netto) [MWe]	Lokalizacja	Właściciel
1	Kashiwazaki-Kariwa	7	BWR	7965	Japonia	Tokyo Electric Power Co. (TEPCO)
2	Bruce	8	PHWR	6358	Kanada	Ontario Power Generation (OPG)
3	Tianwan	6	PWR	6070	Chiny	Jiangsu Nuclear Power Corporation
4	Yangjiang	6	PWR	6000	Chiny	China Guangdong Nuclear Power Company (CGNPC)
5	Hanbit	6	PWR	5924	Korea Płd	Korea Hydro and Nuclear Power Co. (KHNP)
6	Hanul	6	PWR	5924	Korea Płd	Korea Hydro and Nuclear Power Co. (KHNP)
7	Zaporoże	6	PWR	5700	Ukraina	Energoatom
8	Gravelines	6	PWR	5460	Francja	EDF
9	Paluel	4	PWR	5320	Francja	EDF
10	Cattenom	4	PWR	5200	Francja	EDF
11	Fuqing	5	PWR	5000	Chiny	CNNC
12	Shin-Kori	4	PWR	4826	Korea Płd	Korea Hydro and Nuclear Power Co. (KHNP)

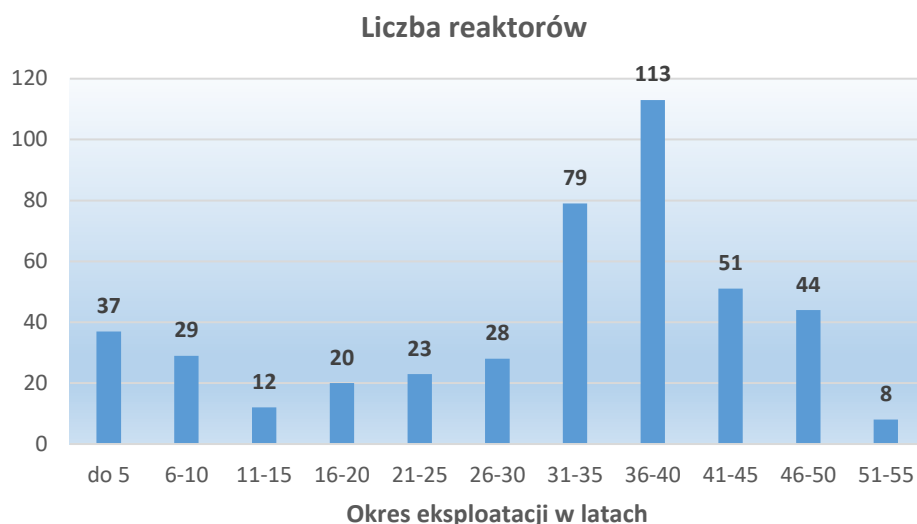
Tab.2. Wykaz największych elektrowni jądrowych na świecie pod względem mocy zainstalowanej [wg. MAEA]

Wśród eksploatowanych obecnie reaktorów energetycznych zdecydowanie dominują **reaktory lekkowodne**, które stanowią **82%** światowej floty. Są to w większości reaktory ciśnieniowe typu **PWR** (68%) lub z wodą wrzącą typu **BWR** (14%). Pozostałe 18% stanowią reaktory ciężkowodne (PHWR), gazowe (GCR), grafitowe (LWGR) oraz prędkie (FBR).



Rys. 3. Udział różnych typów reaktorów energetycznych eksploatowanych na świecie [wg. MAEA]

Większość reaktorów pracujących obecnie oddawano do użytku w latach 1975-1990. Należą one do II i III generacji i projektowane były na 40 lat pracy. Dziś prawie połowa z nich (217) przekroczyła okres 36 lat eksploatacji. Państwa posiadające przemysł jądrowy prowadzą politykę przedłużania dopuszczalnego okresu eksploatacji reaktorów (*long-term operation, LTO*) o 10-20 lat (do 50-60 lat). W USA pierwszy reaktor dostał już zgodę na pracę do 80 lat. Pozwoli to odsunąć w czasie decyzję o budowie nowych reaktorów, które powinny zastąpić starzejącą się flotę.



Rys. 4. Liczba i okres eksploatacji reaktorów energetycznych na świecie [wg. MAEA]

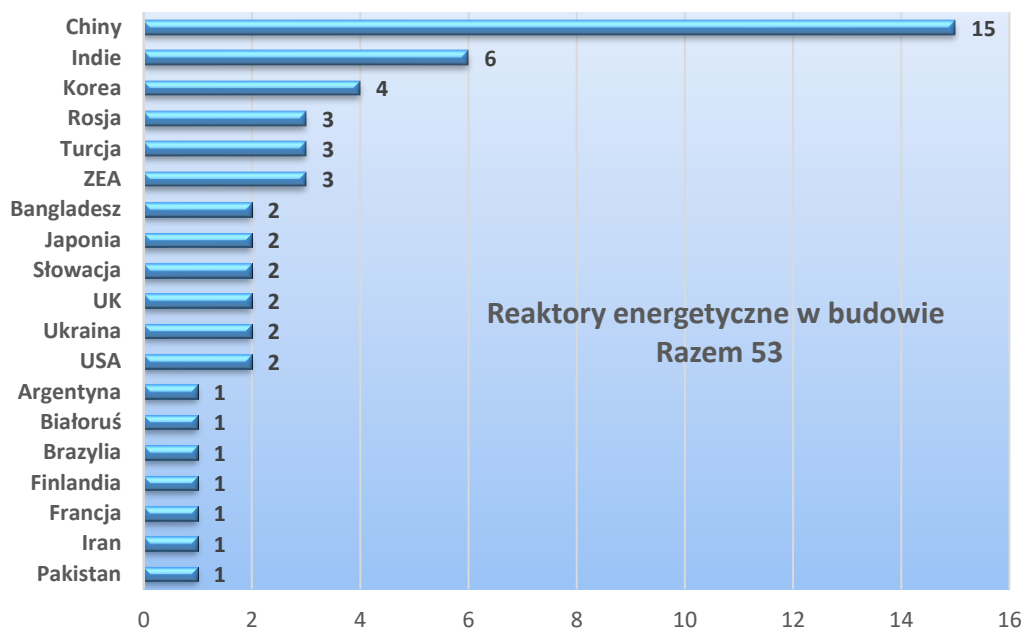
Niektóre kraje wyłączają reaktory przed upływem planowanego terminu ich eksploatacji, z uwagi na wysokie koszty modernizacji i brak ekonomicznego uzasadnienia dalszej pracy przestarzałych bloków (np. USA – Palisades, Indian Point, Clinton, Quad Cities i Diablo Canyon; Szwecja – Oskarshamn-2; Japonia – Ikata-1). Współcześnie budowane reaktory generacji III+ są projektowane do pracy przez okres 60 lat.

Fala koniecznych wyłączeń ze względu na wiek reaktorów - spodziewana ok. 2030 r. - zmniejszy w zasadniczy sposób (o ok. 150 GWe) potencjał państw w zakresie bezemisyjnych źródeł energii elektrycznej. **Może to w efekcie skutecznie zagrozić wysiłkom podejmowanym na rzecz ograniczenia zmian klimatu.** Wyłączenie reaktora jądrowego o mocy 1000 MWe może spowodować wzrost emisji CO₂ od 4,1 do 6,7 mln ton CO₂ rocznie lub 0,52-0,84 tony CO₂/MWh.

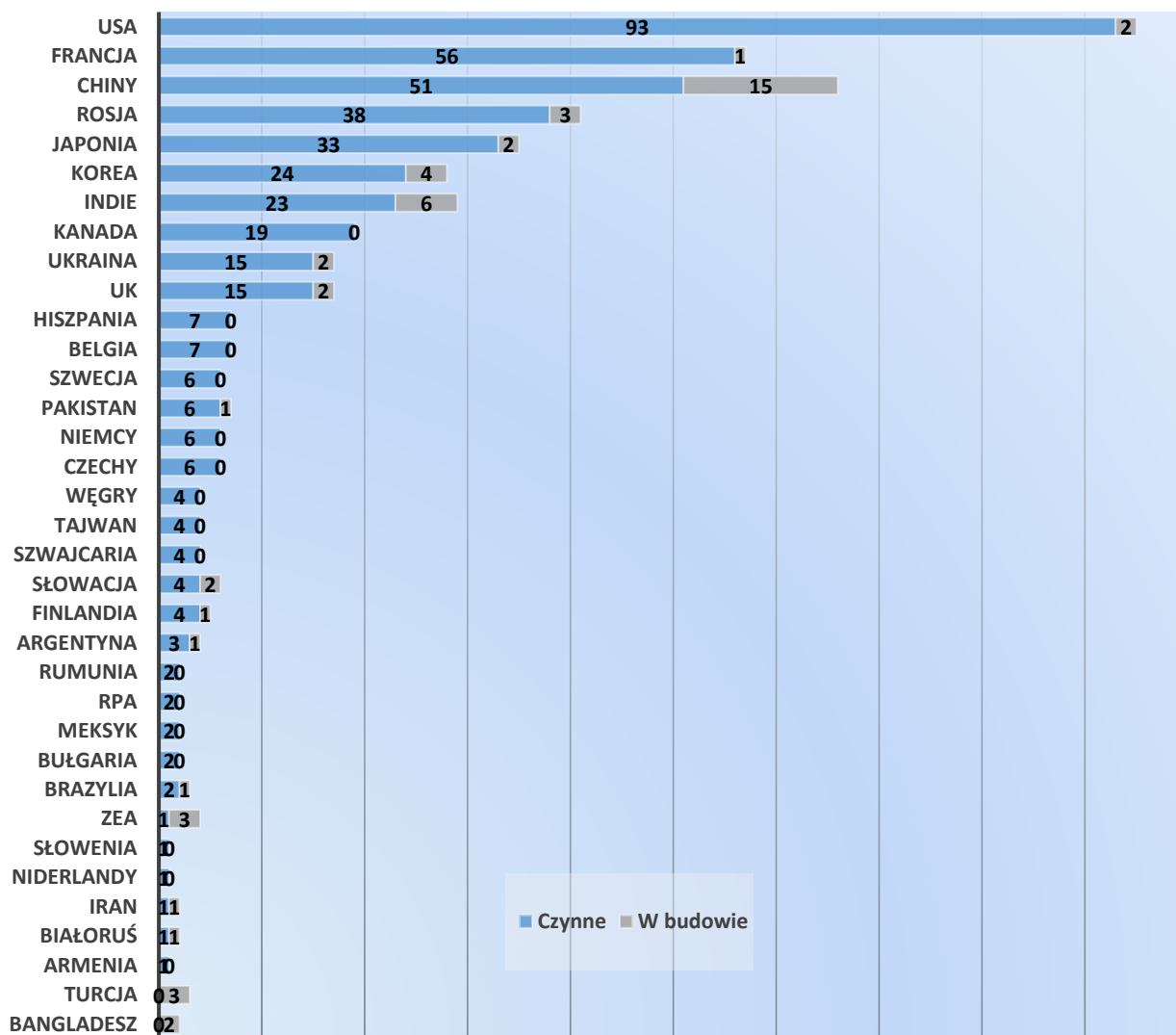
W ostatnich latach utrzymuje się wysoka dynamika inwestycji w energetyce jądrowej. Obecnie na świecie w budowie znajduje się **53 bloków jądrowych o całkowitej mocy 55,715 GWe**. Inwestycje te realizowane są głównie w państwach, które już dawno wdrożyły energetykę jądrową, takich jak Chiny (15), Indie (6), Korea Płd. (4) i Rosja (3). Ostatnio dołączyły do nich nowe państwa, które budują reaktory energetyczne po raz pierwszy - Turcja (3), ZEA (3), Bangladesz (2) i Białoruś (1).

Nowe reaktory w większości należą do typu PWR (45). Budowane są także reaktory typu PHWR (3), BWR (2), HTGR (1) i FBR (2). Wśród tych reaktorów znajduje się 36 obiektów o najnowocześniejszej, zaawansowanej konstrukcji z pasywnymi systemami bezpieczeństwa, zaliczane do generacji III/III+:

- Hualong One (CGN, CNNC) – 10.
- WWER-1200 (Rosatom) – 11
- APR-1400 (KHNP) – 7,
- EPR (Areva) – 4,
- AP-1000 (Westinghouse/Toshiba) – 2,
- ABWR (GE Hitachi, Toshiba) – 2.



Rys. 5. Rozmieszczenie i liczba reaktorów energetycznych w budowie [wg. MAEA]



Rys. 6. Rozmieszczenie i liczba reaktorów energetycznych na świecie [wg. MAEA]

II. PRODUKCJA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W REAKTORACH JĄDROWYCH

Od roku 2012, po okresie spadku związanym z awarią w EJ Fukushima i zmianą polityki energetycznej Niemiec, stale rośnie produkcja energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych. Oznacza to **odwrócenie krótkotrwałej tendencji spadkowej i powrót do hossy** w sektorze energetyki jądrowej.

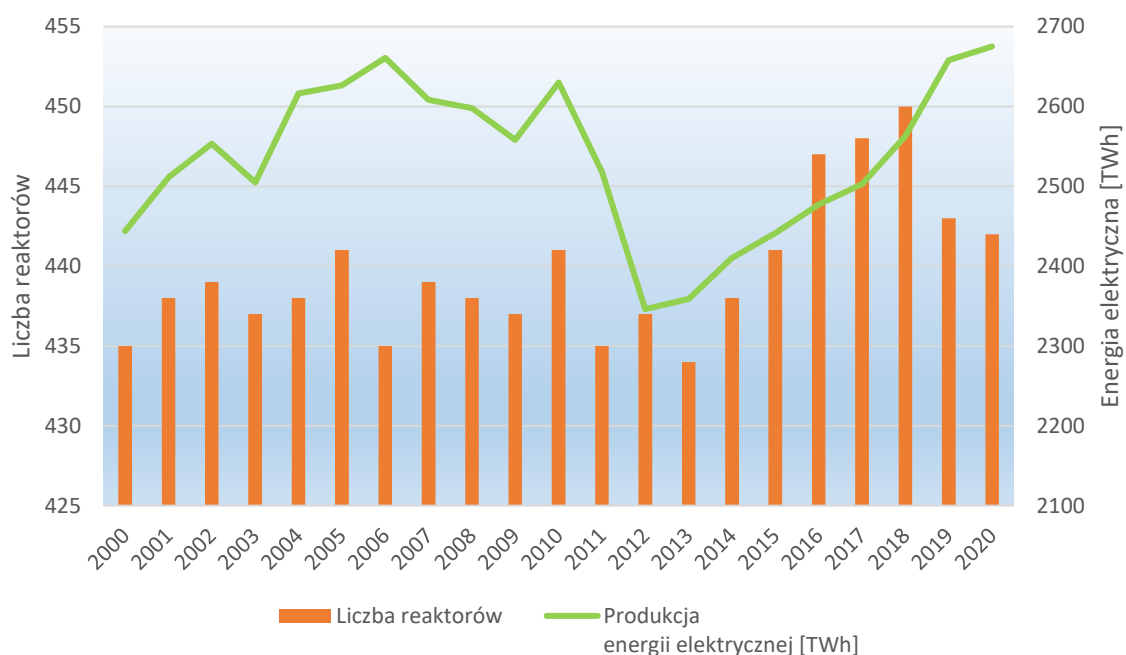
Ilość energii elektrycznej wytworzona w elektrowniach jądrowych w roku 2020 r. osiągnęła 2675,07 TWh – wynik porównywalny z okresem sprzed załamania produkcji, który nastąpił w latach 2011-2012 (spadek z 2629,82 TWh w roku 2010 do 2346,19 TWh w roku 2012).

Lp	Blok jądrowy	Model reaktora	Typ reaktora	Moc netto [MWe]	Produkcja energii [TWh]	Lokalizacja
1	Taishan 1	EPR-1750	PWR	1660	12,0	Chiny
2	Civaux 1	N4 REP 1450	PWR	1495	11,6	Francja
3	Peach Bottom 2	BWR-4 (Mark 1)	BWR	1300	11,5	USA
4	South Texas Project 1	W (4-loop)	PWR	1280	11,5	USA
5	Palo Verde 2	CE80 2LP	PWR	1314	11,4	USA
6	Isar 2	Konvoi	PWR	1410	11,4	Niemcy
7	Chooz B 1	N4 REP 1450	PWR	1500	11,1	Francja
8	Susquehanna 1	BWR-4 (Mark 2)	BWR	1257	11,1	USA
9	Grand Gulf 1	BWR-6 (Mark 3)	BWR	1401	11,0	USA
10	Nine Mile Point 2	BWR-5 (Mark 2)	BWR	1277	11,0	USA

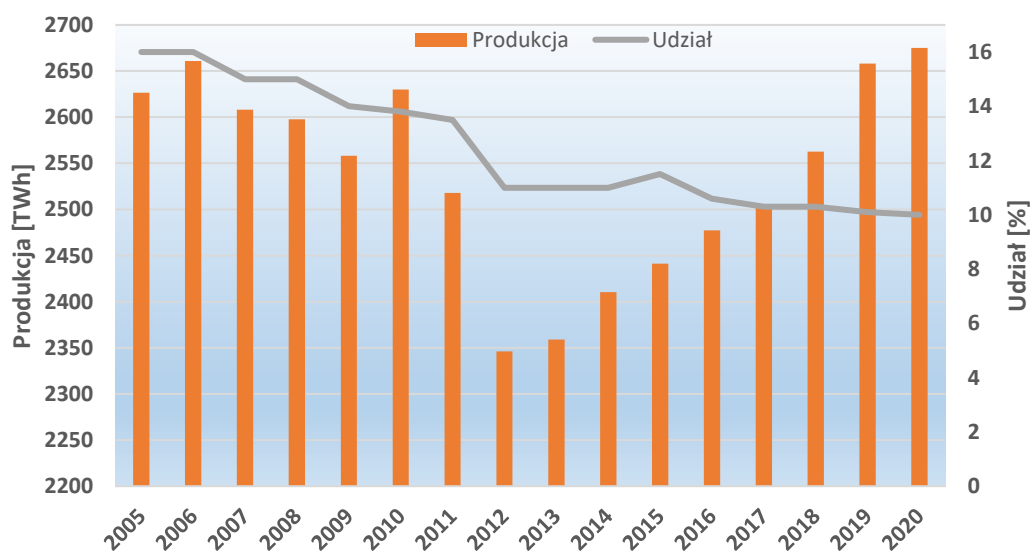
Tab.3. Wykaz największych jądrowych producentów energii elektrycznej na świecie w 2019 roku [wg. WNA]

Udział energii jądrowej w całkowitej produkcji elektryczności zmniejszył się o ok. 7p% w ciągu ostatnich 15 lat (maksimum 17,6% w 1996 r.), ale od pięciu lat utrzymuje się na prawie niezmiennym poziomie. W roku 2020 wynosił ok. **10%**, w porównaniu do 10,6% w 2016 r.

Dzieje się tak pomimo faktu, że liczba czynnych reaktorów nieco spadła. Oznacza to, że istniejąca flota reaktorów jądrowych eksploatowana jest niezwykle efektywnie. Elektrownie jądrowe pracują ze współczynnikiem wykorzystania mocy przekraczającym średnio 80% i dotyczy to reaktorów w każdym wieku, zarówno tych oddanych do użytku niedawno jak i tych 40-letnich.



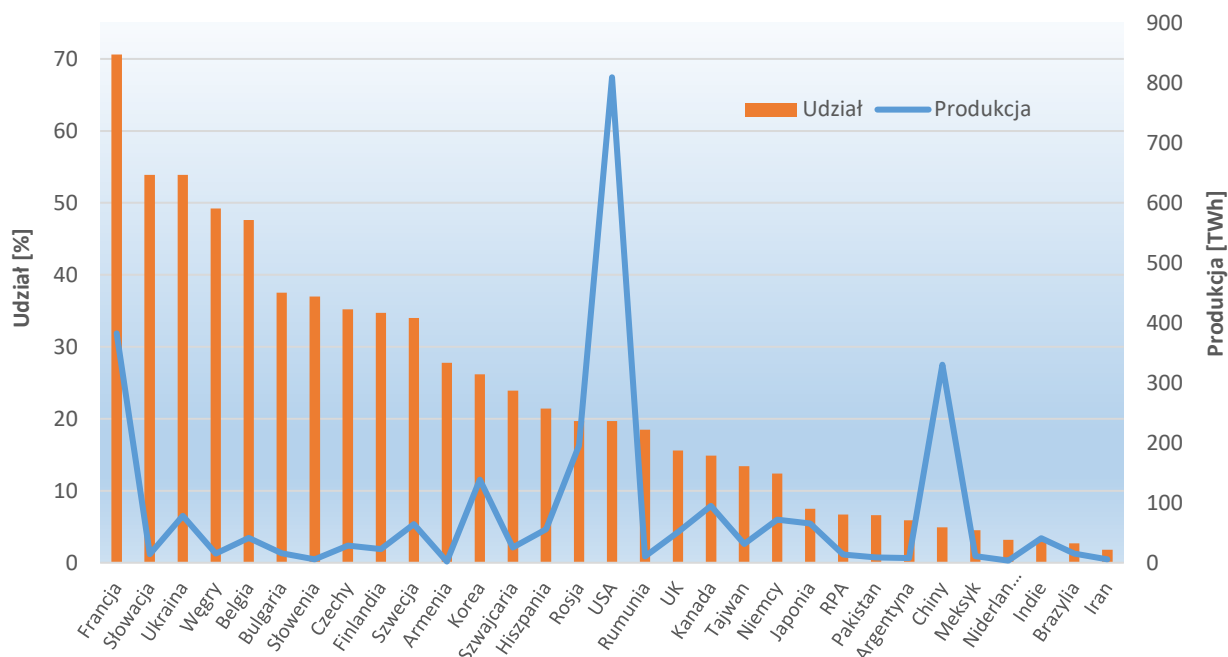
Rys.7. Zmiany liczby reaktorów energetycznych i wielkości produkcji energii elektrycznej na świecie [wg. MAEA]



Rys. 8. Zmiany wielkości produkcji i udziału energetyki jądrowej w wytwarzaniu energii elektrycznej na świecie [wg. MAEA]

Państwem o największej produkcji energii elektrycznej z energetyki jądrowej są Stany Zjednoczone (809,4 TWh w 2019 r.), a następnie Francja (382,4 TWh), Chiny (330,1 TWh), Rosja (195,5 TWh) i Korea Płd. (138,8 TWh). W pozostałych krajach roczna produkcja energetyki jądrowej kształtuje się poniżej 100 TWh.

Największy udział energetyki jądrowej w bilansie produkcji energii elektrycznej posiada Francja (70,6%), a następnie Słowacja (53,9%), Ukraina (53,9%), Węgry (49,2%) i Belgia (47,6%). Udział energetyki jądrowej w pozostałych krajach nie przekracza 40% krajowej produkcji elektryczności.



Rys. 9. Produkcja i udział energetyki jądrowej w wytwarzaniu energii elektrycznej w poszczególnych państwach w roku 2019 [wg. MAEA]

III. ZMIANY W ENERGETYCE JĄDROWEJ, JAKIE ZASZŁY W 2020 ROKU

W wyniku zmian, jakie zaszły w energetyce jądrowej 2020 r. liczba czynnych reaktorów energetycznych zmniejszyła się o 1 (z 443 w 2019 r. do 442 w 2020 r.), natomiast sumaryczna moc zainstalowana wzrosła o 356 MWe (z 392,1 GWe w 2019 r. do 392,45 GWe w 2020 r.).

W roku 2020 rozpoczęto również budowę czterech reaktorów o sumarycznej mocy 4,5 GWe.

Poniżej przedstawiono szczegółowy bilans energetyki jądrowej w roku 2020:

- Włączono do sieci energetycznej 5 nowych reaktorów w 4 krajach (Chiny-2, Rosja-1, Białoruś-1 i ZEA-1) o sumarycznej mocy 5521 MWe:

Czas budowy chińskich reaktorów wyniósł **4,6 i 5,5 roku**, natomiast pozostałych mieścił się w przedziale 6,9-10,5 lat.

- Wyłączono 6 reaktorów w 4 krajach (USA-2, Francja-2, Rosja-1 i Szwecja-1) o sumarycznej mocy 5165 MWe:
- Rozpoczęto budowę 4 nowych bloków w 2 krajach (Chiny-3 i Turcja-1) o projektowanej mocy 4473 MWe:

I. REAKTORY WŁĄCZONE DO SIECI ELEKTROENERGETYCZNYCH

	Kraj	Blok jądrowy	Model reaktora	Typ reaktora	Moc netto [MWe]	Włączenie do sieci	Rozpoczęcie budowy	Czas budowy [lata]
2021								
1	Indie	Kakrapar 3	PHWR-700	PHWR	630	10.01.2021	22.11.2010	10,1
2	Pakistan	Karaczi 3	Hualong One	PWR	1014	18.03.2021	20.08.2015	5,5
3	Chiny	Tianwan 6	ACPR-1000	PWR	1000	11.05.2021	7.09.2016	4,7
2020								
1	Chiny	Fuqing 5	Hualong One	PWR	1000	27.11.2020	07.05.2015	5,5
2	Białoruś	Ostrowiec 1	WWER V-491	PWR	1110	03.11.2020	08.11.2013	6,9
3	Rosja	Leningrad 2 2	WWER V-491	PWR	1066	22.10.2020	15.04.2010	10,5

4	ZEA	Barakah 1	APR-1400	PWR	1345	19.08.2020	19.07.2012	8,1
5	Chiny	Tianwan 5	ACPR-1000	PWR	1000	08.08.2020	27.12.2015	4,6
Razem 5 reaktorów o sumarycznej mocy					5521	MWe		

II. REAKTORY WYŁĄCZONE NA STAŁE

	Kraj	Blok jądrowy	Model reaktora	Typ reaktora	Moc netto [MWe]	Wyłączenie z sieci	Włączenie do sieci	Okres pracy [lata]
2021								
1	USA	Indian Point 3	WH 4LP	PWR	1030	30.04.2021	27.04.1976	45,0
2020								
1	Szwecja	Ringhals 1	AA-I	BWR	881	31.12.2020	14.10.1974	46,2
2	Rosja	Leningrad 2	RBMK-1000	LWGR	925	10.11.2020	11.07.1975	45,3
3	USA	Duane Arnold 1	BWR-4	BWR	601	12.10.2020	19.05.1974	46,3
4	Francja	Fessenheim 2	CP0	PWR	880	30.06.2020	07.10.1977	42,7
5	USA	Indian Point	WH-4LP	PWR	998	30.04.2020	26.06.1973	46,8
6	Francja	Fessenheim 1	CP0	PWR	880	22.02.2020	06.04.1977	42,8
Razem 6 reaktorów o sumarycznej mocy					5165	MWe		

III. ROZPOCZĘTE BUDOWY NOWYCH REAKTORÓW

	Kraj	Blok jądrowy	Model reaktora	Typ reaktora	Moc netto [MWe]	Rozpoczęcie budowy		
2021								
1	Turcja	Akkuyu 3	WWER/V-509	PWR	1114	10.03.2021		
2	Chiny	Changjiang 3	Hualong One	PWR	1100	31.03.2021		
3	Chiny	Tianwan 7	WWER/V-491	PWR	1100	19.05.2021		
4	Chiny	Xudabao 3	WWER/V-491	PWR	1100	19.05.2021		
2020								
1	Chiny	San'oa 1	Hualong One	PWR	1117	31.12.2020		
2	Chiny	Taipingling 2	Hualong One	PWR	1116	15.10.2020		
3	Chiny	Zhangzhou 2	Hualong One	PWR	1126	04.09.2020		
4	Turcja	Akkuyu 2	WWER/V-509	PWR	1114	08.04.2020		
Razem 4 reaktory o sumarycznej mocy					4473	MWe		

Tab. 4. Bilans energetyki jądrowej w roku 2020-21 [wg. MAEA]

Zmiany, jakie zaszły od początku roku 2021:

- w Indiach włączono do sieci 1 reaktor energetyczny rodzimej konstrukcji PHWR-700 o mocy 630 MWe;
- w Pakistanie włączono 1 reaktor energetyczny chińskiej konstrukcji Hualong One (HPR-1000) o mocy 1014 MWe;
- w Turcji rozpoczęto budowę bloku jądrowego Akkuyu 3 z reaktorem WWER-1200 o mocy 1114 MWe;
- W Chinach rozpoczęto budowę bloku jądrowego Changjiang 3 z reaktorem HPR-1000 o mocy 1161 MWe;
- W USA na stałe wyłączyono blok jądrowy Indian Point 3 z reaktorem WH LP4 o mocy 1030 MWe.
- W Chinach włączono 1 reaktor energetyczny rodzimej konstrukcji z reaktorem ACPR-1000 o mocy 1000 MWe

- W Chinach rozpoczęto budowę bloku jądrowego Tianwan 7 z reaktorem WWER-1200 o mocy 1100 MWe;
- W Chinach rozpoczęto budowę bloku jądrowego Xudabao 3 z reaktorem WWER-1200 o mocy 1100 MWe.

Obecny stan energetyki jądrowej na świecie i w UE przedstawiają poniższe tabele:

Maj 2021

Lp.	Kraj	Reaktory 2021 (maj)				2019	
		czynne		w budowie		Produkcja [TWh]	Udział [%]
		Liczba	Moc [GWe]	Liczba	Moc [GWe]		
1	Argentyna	3	1,641	1	0,025	7,927	5,9
2	Armenia	1	0,375	0	0	2,029	27,8
3	Bangladesz	0	0	2	2,160	0	0
4	Belgia	7	5,930	0	0	41,422	47,6
5	Białoruś	1	1,110	1	1,110	0	0
6	Brazylia	2	1,884	1	1,340	15,224	2,7
7	Bułgaria	2	2,006	0	0	15,869	37,5
8	Chiny	51	48,518	15	14,375	330,122	4,9
9	Czechy	6	3,932	0	0	28,581	35,2
10	Finlandia	4	2,794	1	1,600	22,915	34,7
11	Francja	56	61,370	1	1,630	382,403	70,6
12	Hiszpania	7	7,121	0	0	55,856	21,4
13	Indie	23	6,885	6	4,194	40,740	3,2
14	Iran	1	0,915	1	0,974	5,866	1,8
15	Japonia	33	31,679	2	2,653	65,682	7,5
16	Kanada	19	13,554	0	0	94,854	14,9
17	Korea Płd.	24	23,172	4	5,360	138,809	26,2
18	Meksyk	2	1,552	0	0	10,881	4,5
19	Niderlandy	1	0,482	0	0	3,701	3,2
20	Niemcy	6	8,113	0	0	70,992	12,4
21	Pakistan	6	2,332	1	1,014	9,066	6,6
22	Rosja	38	28,578	3	3,459	195,535	19,7
23	RPA	2	1,860	0	0	13,603	6,7
24	Rumunia	2	1,300	0	0	10,368	18,5
25	Słowacja	4	1,814	2	0,880	14,282	53,9
26	Słowenia	1	0,688	0	0	5,533	37,0
27	Szwajcaria	4	2,960	0	0	25,370	23,9
28	Szwecja	6	6,859	0	0	64,429	34,0
29	Tajwan	4	3,844	0	0	31,147	13,4
30	Turcja	0	0	3	3,342	0	0
31	UK	15	8,923	2	3,260	51,032	15,6
32	Ukraina	15	13,107	2	2,070	78,144	53,9
33	USA	93	95,523	2	2,234	809,359	19,7
34	Węgry	4	1,902	0	0	15,415	49,2
35	ZEA	1	1,345	3	4,035	0	0
	Razem	444	394,068	53	55,715	2657,155	ok. 10,1

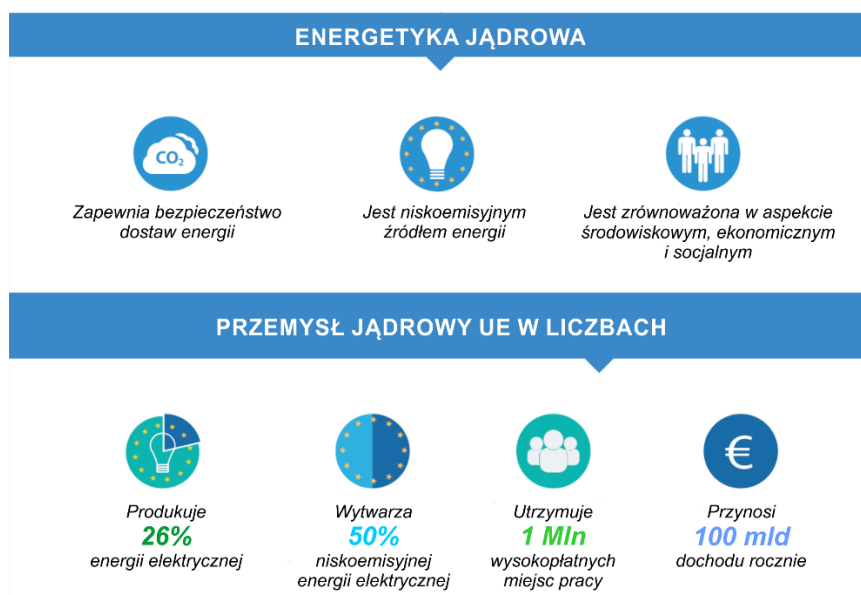
Tab. 5. Energetyka jądrowa na świecie [wg. MAEA]



Rys. 10. Energetyka jądrowa na świecie [wg MAEA]

Lp.	Kraj	Reaktory (maj 2021)				2019	
		czynne		w budowie		Produkcja [TWh]	Udział [%]
		Liczba	Moc [GWe]	Liczba	Moc [GWe]		
1	Belgia	7	5,930	0	0	41,422	47,6
2	Bułgaria	2	2,006	0	0	15,869	37,5
3	Czechy	6	3,932	0	0	28,581	35,2
4	Finlandia	4	2,794	1	1,600	22,915	34,7
5	Francja	56	61,370	1	1,630	382,403	70,6
6	Hiszpania	7	7,121	0	0	55,856	21,4
7	Holandia	1	0,482	0	0	3,701	3,2
8	Niemcy	6	8,113	0	0	70,992	12,4
9	Rumunia	2	1,300	0	0	10,368	18,5
10	Słowacja	4	1,814	2	0,880	14,282	53,9
11	Słowenia	1	0,688	0	0	5,533	37,0
12	Szwecja	6	6,859	0	0	64,429	34,0
13	Węgry	4	1,902	0	0	15,415	49,2
Razem w UE		106	104,311	4	4,11		ok. 26

Tab. 6. Energetyka jądrowa w UE [wg. MAEA]



Rys. 11. Energetyka jądrowa w UE [wg Foratom]

IV. PRZEGLĄD GŁÓWNYCH WYDARZEŃ W ENERGETYCE JĄDROWEJ W 2020 ROKU

Poniżej przedstawiono przegląd najważniejszych wydarzeń jakie zaszły w energetyce jądrowej w 2020 r. – od uruchomienia pierwszej elektrowni jądrowej w Zjednoczonych Emiratach Arabskich i na Białorusi, po postępy w projekcie syntezy jądrowej ITER i zwiększone zainteresowanie małymi i zaawansowanymi reaktorami.

Pomimo pandemii koronawirusa, w 2020 r. dwa kraje – ZEA i Białoruś – uruchomiły pierwsze elektrownie jądrowe. Chiny podłączyły również do sieci pierwszy reaktor rodzimej konstrukcji Hualong One (HPR1000), podczas gdy Rosja rozpoczęła komercyjną eksploatację pływającej elektrowni jądrowej, Akademik Łomonosow.

Rozpoczął się montaż tokamaka ITER w Cadarache we Francji, a harmonogram międzynarodowego projektu syntezy jądrowej przewiduje uzyskanie pierwszej plazmy w 2025 roku.

Kanada potwierdziła zaangażowanie we wdrażanie małych i zaawansowanych reaktorów publikując w grudniu plan działania na rzecz SMR, a USA również ogłosiły finansowanie rozwoju zaawansowanych reaktorów.

1. Pierwsza elektrownia jądrowa w Zjednoczonych Emiratach Arabskich rozpoczyna pracę

Korporacja jądrowa *Emirates Nuclear Energy Corporation* (Enec) w sierpniu 2020 r. uruchomiła blok nr 1 elektrowni jądrowej Barakah, zlokalizowanej w regionie Al Dhafrah w Abu Dhabi, w Zjednoczonych Emiratach Arabskich (ZEA). Jest to pierwsza elektrownia jądrowa w świecie arabskim.

W grudniu reaktor w bloku nr 1 osiągnął 100% projektowanej mocy i 6 kwietnia 2021 r. blok rozpoczął działalność komercyjną.

Budowa wartej 22,4 miliardów dolarów EJ Barakah, z czterema blokami energetycznymi wyposażonymi w reaktory wodne ciśnieniowe (PWR) konstrukcji koreańskiej APR-1400 o mocy 1345 MWe, rozpoczęła się w 2012 roku. Blok jądrowy Barakah 1 został ukończony w 2018 roku, a blok Barakah 2 w lipcu 2020 roku.

Blok nr 2 zakończył obecnie proces załadunku paliwa i przechodzi wszystkie wymagane testy przed uruchomieniem, które planowane jest na koniec tego roku. Budowa bloków 3 i 4 jest ukończona odpowiednio w 94% i 89%. Elektrownia Barakah jako całość jest obecnie ukończona w ponad 95%.

Gdy cztery reaktory zostaną włączone do sieci elektroenergetycznej, EJ Barakah będzie dysponować mocą 5380 MWe i dostarczać około 25% energii elektrycznej w kraju. Strategia energetyczna ZEA zakłada 6% udziału energii jądrowej w 50% wytwarzanej czystej energii w 2050 r.

2. Białoruś podłączyła do sieci pierwszy energetyczny blok jądrowy

Pierwszy blok energetyczny elektrowni jądrowej Białoruska, zlokalizowanej w pobliżu Ostrowca na zachodniej Białorusi w rejonie Grodna, został zsynchronizowany z siecią elektroenergetyczną 3 listopada o godzinie 12:03 i po raz pierwszy zaczął produkować energię elektryczną.

Jest on wyposażony w ciśnieniowy reaktor wodny (PWR) Generacji III + typu WWER-1200/V-491 o mocy 1110 MWe.

Budowa bloku Białoruś-1 rozpoczęła się w listopadzie 2013 roku, a drugiego bliźniaczego bloku Białoruś-2 w kwietniu 2014 roku. Gdy oba bloki osiągną pełną moc, elektrownia będzie dysponować mocą 2382 MWe co pozwoli uniknąć emisji ponad 18 milionów ton dwutlenku węgla każdego roku, zastępując produkcję energii elektrycznej z węgla.

3. Kanada kontynuuje wsparcie dla rozwoju SMR

Małe reaktory modułowe (SMR) stanowią obiecującą nową technologię niskoemisyjną, która ma potencjał do produkcji niezawodnej energii elektrycznej w Kanadzie oraz do wspierania transformacji kraju do zerowej emisji netto do 2050 r., poinformowało w grudniu Ministerstwo Zasobów Naturalnych Kanady (*Natural Resources Canada*, NRCan), ogłaszając **krajowy plan działania**

SMR. Plan opiera się na 53 zaleceniach określonych w kanadyjskiej mapie drogowej wdrażania SMR, która została przyjęta w listopadzie 2018 r.

"SMRs stanowią wielką szansę dla Kanady - pomagając nam stopniowo wycofywać węgiel i elektryfikować wysokoemisyjne gałęzie przemysłu, takie jak górnictwo i wydobywanie ropy naftowej" - powiedział Minister Zasobów Naturalnych, Seamus O'Regan.

Wcześniej trzy kanadyjskie prowincje – Ontario, Saskatchewan i New Brunswick – zobowiązały się do współpracy nad rozwojem SMR.



Rys. 12. Energetyka jądrowa na Bliskim Wschodzie

4. Podłączenie do sieci pierwszego reaktora Hualong One

Pierwszy na świecie reaktor Hualong One (HPR-1000) zainstalowany w bloku nr 5 chińskiej elektrowni jądrowej Fuqing w prowincji Fujian został w listopadzie podłączony do sieci elektroenergetycznej. Koncern jądrowy CNNC ogłosił 30 stycznia 2021 r., że blok nr 5 jako pierwszy blok jądrowy wykorzystujący reaktor Hualong One rozpoczął działalność komercyjną.

Obecnie w Chinach jest w budowie dziewięć jednostek Hualong One.

Z dwu jednostek Hualong One budowanych w EJ Karaczi (Kanupp) w Pakistanie blok nr 2 (K-2) został już zsynchronizowany z siecią elektroenergetyczną i 18 marca rozpoczął produkcję energii elektrycznej; ma wejść do komercyjnej eksploatacji do końca tego roku. Następny blok K-3 ma zostać uruchomiony w 2022 roku. Reaktory Hualong One budowane w Pakistanie są pierwszymi tego typu obiektami powstającymi poza Chinami.

General Nuclear Services - spółka zależna EDF i CGN - proponuje zastosowanie projektu HPR1000 w przyszłej nowej elektrowni jądrowej w Bradwell w Anglii.

Hualong One to reaktor wodny ciśnieniowy (PWR) trzeciej generacji, zaprojektowany przez chińskie koncerny CGN i CNNC na 60 lat pracy z 18-miesięcznym cyklem pomiędzy przeładunkiem paliwa. W listopadzie 2021 r. Hualong One pomyślnie przeszedł ocenę zgodności z wymaganiami europejskich przedsiębiorstw energetycznych dla elektrowni jądrowych z reaktorami lekkowodnymi (*European Utility Requirements*, EUR) i uzyskał certyfikat EUR.

5. Rosyjska pływająca elektrownia jądrowa Akademik Łomonosow – pierwsza z wielu

Jedyna na świecie pływająca elektrownia jądrowa (FNPP), Akademik Łomonosow, w maju rozpoczęła działalność komercyjną w Arktyce w mieście Pewek.

Rosyjski Rosatom ogłosił następnie plany aktualizacji projektu FNPP w celu opracowania elektrowni, które mogłyby działać zarówno w strefie arktycznej, jak i w regionach tropikalnych (np. do odsalania wody). Kirił Komarow, dyrektor rozwoju i międzynarodowego biznesu w Rosatom powiedział, że obecnie istnieje duże zapotrzebowanie na FNPP rozmieszczone wzdłuż wybrzeży Północnej Drogi Morskiej, gdzie planowane jest uruchamianie dużej liczby projektów wydobywczych różnych surowców (głównie węglowodorów i metali).

Rosatom planuje również budowę małego naziemnego reaktora SMR w Jakucji w oparciu o serię reaktorów RITM. W potencjalnej lokalizacji we wsi Ust-Kuyga przeprowadzono już wstępne badania terenowe. Prace mają rozpocząć się w styczniu 2021 roku.

6. Opracowanie amerykańskiej strategii jądrowych napędów kosmicznych

W grudniu administracja Donalda Trumpa ogłosiła **Narodową Politykę Kosmiczną**, w której opowiada się za opracowywaniem i wdrażaniem energii jądrowej i jądrowych systemów napędowych do misji kosmicznych.

Memorandum *Space Policy Directive-6* (SPD-6), wydane przez Białą Domu, ustanawia krajową strategię w celu zapewnienia rozwoju i wykorzystania systemów SNPP (*space nuclear power and propulsion systems*), przeznaczonych do zasilania pojazdów kosmicznych w misjach, w których alternatywne źródła energii są nieodpowiednie - na przykład w środowiskach, gdzie dociera zbyt mało (lub wcale) energii słonecznej lub są zbyt odległe, aby dostarczyć wystarczającej ilości paliw chemicznych.

SPD-6 zwraca uwagę na cztery główne obszary rozwoju energii jądrowej dla celów kosmicznych: nowe paliwa jądrowe, reaktory do zasilania obiektów na powierzchni ciał niebieskich, technologia jądrowego napędu termicznego i systemy RTG do eksploracji kosmosu.

7 Rozpoczyna się montaż reaktora termojądrowego ITER

Grupa ITER rozpoczęła montaż tokamaka - Międzynarodowego Eksperymentalnego Reaktora Termojądrowego (*International Thermonuclear Experimental Reactor*, ITER).

Podczas ceremonii inaugurującej budowę 28 lipca w Cadarache we Francji rozpoczęto instalowania 1250-tonowej stalowej podstawy kriostatu.

Projekt ITER został uruchomiony w 2006 roku. Pierwotny harmonogram zakładał przetestowanie pierwszej supergorącej plazmy do 2020 r. i uzyskanie pełnej fuzji jądrowej do 2023 r., ale zostało to kilkakrotnie zmienione.

Dyrektor projektu Bernard Bigot powiedział, że pierwsza plazma spodziewana jest w grudniu 2025 r., co powinno udowodnić, że koncepcja reaktora jest poprawna, a pełną moc przewiduje się uzyskać do 2035 r. Przyznał jednak, że wyzwania związane z tym harmonogramem są znaczne.

8. US NRC wydaje certyfikat projektowy dla NuScale SMR

Firma NuScale Power ogłosiła w sierpniu, że amerykańska Komisja Regulacji Jądrowych (NRC) zakończyła przegląd fazy 6 – ostatniego etapu przeglądu projektu Design Certification Application (DCA) małego reaktora modułowego (SMR) i wydała końcowy raport oceny bezpieczeństwa Final Safety Evaluation Report (FSER). Oznacza to zakończenie przeglądu technicznego i zatwierdzenie projektu NuScale SMR.

Po zakończeniu tej ostatniej fazy DCA dla reaktora SMR firmy NuScale jej klienci mogą kontynuować plany budowy elektrowni NuScale przyjmując, że NRC zatwierdziła aspekty bezpieczeństwa projektu NuScale.

NuScale SMR to w pełni wykonany fabrycznie moduł zasilania o mocy 60 MWe oparty na technologii wodnych reaktorów ciśnieniowych (PWR). Skalowalna konstrukcja oznacza, że elektrownia może składać się z kilku (do 12) pojedynczych modułów zasilania.

Pierwszy klient NuScale, *Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS)*, planuje budowę 12-modułowej elektrowni SMR na terenie *Idaho National Laboratory*. NuScale podpisała również wstępne umowy z podmiotami w USA, Kanadzie, Rumunii, Czechach i Jordanii.

V. ENERGETYKA JĄDROWA W 2021 ROKU

Pomimo wszystkich wyzwań związanych z pandemią COVID-19, światowa branża jądrowa odniosła duże sukcesy w 2020 roku, a ten rok może być jeszcze bogatszy w kluczowe wydarzenia - od eksploracji Marsa do nowego historycznego reaktora, który zostanie uruchomiony w Waynesboro w stanie Georgia.

W 2021 roku spodziewane są kolejne ważne wydarzenia dotyczące wykorzystania energii jądrowej, spośród których pięć wydaje się być najbardziej spektakularnymi:

1. Uruchomienie bloku Vogtle-3

W tym roku wszystkie oczy zwrócone będą na projekt rozbudowy elektrowni jądrowej Vogtle w Georgii. Blok nr 3 jest na dobrej drodze do uruchomienia w listopadzie 2021 r., pomimo pewnych opóźnień w testach spowodowanych COVID-19. Dwa budowane reaktory AP-1000 to pierwsze nowe bloki, które zostaną zbudowane w Stanach Zjednoczonych od ponad 30 lat. Biuro Programów Pożyczkowych Departamentu Energii USA (DOE) udzieliło ponad 12 miliardów dolarów gwarancji pożyczkowych, aby pomóc w zakończeniu projektu rozbudowy obiektu Vogtle, który będzie największym w kraju źródłem czystej energii. Blok nr 4 w tej elektrowni ma zostać uruchomiony w 2022 r.

2. NRC wyda pierwszą pełną certyfikację projektu SMR

Amerykańska Komisja Regulacji Jądrowych (NRC) ma wydać w sierpniu ostateczne zezwolenie certyfikujące projekt małego reaktora modułowego NuScale Power. NuScale jest pierwszym SMR w USA, który otrzyma ostateczny raport oceny bezpieczeństwa od NRC i będzie siódmym reaktorem certyfikowanym dotychczas przez Komisję. DOE zgodził się w ubiegłym roku na wieloletnią dotację w postaci udziału w kosztach, która mogłaby zapewnić do 1,4 miliarda dolarów na projekt Carbon Free Power Project budowy pierwszej w kraju elektrowni NuScale SMR w Idaho National Laboratory. Oczekuje się, że pierwszy moduł mocy zacznie działać do 2029 roku.

3. Energetyka jądrowa w kosmosie, lądowanie łazika *Perseverance* na Marsie.

Łazik *Mars 2020 Perseverance Rover* ma wylądować na Czerwonej Planecie 18 lutego. Pojazd jest wyposażony w wielozadaniowy radioizotopowy generator termoelektryczny (MMRTG), który został zbudowany przez krajowe laboratoria DOE. MMRTG będzie zasilać łazik w jego misji poszukiwania starożytnych oznak życia, a także wiercenia i zbierania próbek gleby, które mogą potencjalnie zostać przywiezione na Ziemię w przyszłej misji. *Perseverance* wykorzystuje pluton wyprodukowany po raz pierwszy od ponad trzech dekad w kraju przez laboratoria DOE.

4. Utworzenie rezerwy uranu w USA

W ustawie budżetowej USA na 2021 rok przeznaczono 75 milionów dolarów dla DOE w celu utworzenia rezerwy uranu, aby sprostać krótkoterminowym wyzwaniom związanym z krajową produkcją i konwersją uranu. W ramach tego nowego programu DOE będzie kupować uran bezpośrednio z krajowych kopalń i zawierać umowy na usługi konwersji uranu. Nowa rezerwa uranu zapewni również dostawy uranu dla operatorów elektrowni jądrowych w przypadku zakłóceń na rynku. Biuro Energii Jądrowej DOE będzie współpracować z Narodową Administracją ds. Bezpieczeństwa Jądrowego w celu opracowania planu, przeprowadzenia i zakończenia niezbędnych przeglądów środowiskowych i innych oraz zainicjowania konkurencyjnej procedury zakupów na utworzenie rezerwy do początku 2022 r.

5. Odnawianie licencji i przedłużanie pracy reaktorów energetycznych

W maju 2021 r. Amerykańska Komisja Regulacji Jądrowych (NRC) zatwierdziła wniosek spółki Dominion Energy w Wirginii o 20-letnie przedłużenie licencji na eksploatację dwublokowej elektrowni jądrowej Surry.

Umożliwi to działanie dwóch bliźniaczych ciśnieniowych reaktorów wodnych (PWR) o mocy 838 MWe przez 80 lat odpowiednio do 2052 i 2053 roku. Blok Surry 1 rozpoczął działalność komercyjną w 1972 r., a Surry 2 w 1973 r. Pierwotnie posiadały one licencje na działanie przez 40 lat, które w marcu 2003 r. zostały odnowione na dodatkowe 20 lat eksploatacji. Kolejny proces odnawiania licencji NRC określa, czy działający reaktor może przedłużyć swoją pracę o dodatkowe 20 lat poza 60 lat objętych licencją pierwotną i odnowioną.

EJ Surry jest trzecią elektrownią jądrową, która otrzymała kolejne przedłużenie licencji od NRC, po blokach 3 i 4 w EJ Turkey Point firmy Florida Power & Light na Florydzie oraz blokach Peach Bottom 2 i 3 firmy Exelon Generation w Pensylwanii.

NRC jest obecnie w trakcie rozpatrywania wniosku złożonego w ubiegłym roku przez Dominion o odnowienie licencji dla jej dwóch bloków jądrowych w elektrowni North Anna, również w Wirginii. Decyzja o przedłużeniu ich licencji może zapaść w 2022 roku.