



## **Material informacyjny**

opracowany przez Departament Energii Jądrowej

Ministerstwa Energii

Czerwiec 2017

## **MORSKIE ELEKTROWNIE JĄDROWE – GDY NIE MOŻNA ZBUDOWAĆ NA LĄDZIE**

*Ostatnio obserwujemy wzrost zainteresowania projektami elektrowni jądrowych przewidzianych do eksploatacji na morzu. Takie siłownie mogą być rozmieszczane wzdłuż wybrzeży - w pobliżu dużych centrów mieszkalnych lub na wyspach - gdzie tradycyjna lokalizacja na lądzie byłaby bardzo kosztowna lub niemożliwa do realizacji. Morskie elektrownie mogłyby również zaopatrywać w energię elektryczną i wodę pitną pola wydobywcze i platformy wiertnicze w niedostępnych regionach Arktyki, Alaski lub Grenlandii. Elektrownia zakotwiczona w dużej odległości od lądu lub umieszczona przy dnie morza będzie odporna na działanie fal tsunami i trzęsienia ziemi.*

Lokalizacja każdej elektrowni jądrowej wymaga dostępu do niezawodnego źródła wody, która jest niezbędna do stałego chłodzenia bloku jądrowego (nawet gdy jest on wyłączony). Stąd elektrownie takie zwykle zlokalizowane są na wybrzeżach morskich, nad brzegami rzek lub w pobliżu innych dużych zbiorników wodnych. W ciągu ostatnich lat pojawiły się projekty zakładające lokalizację energetycznych siłowni jądrowych na morzu.

Analiza dokonana przez Międzynarodową Agencję Energii (IEA) pokazuje, iż w 2009 r. dostępu do elektryczności nie miało 1,441 mld ludzi na kuli ziemskiej. Mimo uruchamiania nowych elektrowni w 2030 r. liczba ta ma nadal wynosić 1,213 mld. Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną w latach 2008-2035 wzrośnie o 36%, z czego 95% przypadając będzie na regiony rozwijające się, głównie w Azji Płd.-Wsch., Afryce Centralnej i Ameryce Płd. Są one pozbawione rozwiniętej infrastruktury, często zlokalizowane w trudno dostępnym terenie (pustynie, wyspy). W niektórych przypadkach bardziej opłacalne byłoby dostarczanie energii elektrycznej do tych rejonów bezpośrednio z morza, a nie z lądu.

### **PŁYWAJĄCE ELEKTROWNIE JĄDROWE**

#### **USA**

Pierwszą na świecie pływającą elektrownię jądrową zbudowały Stany Zjednoczone w latach 60. XX w. W ramach programu militarnego US Army Nuclear Power Program przeprojektowano statek „Charles H. Cugl” (z serii „Liberty”) na pływającą barkę o nazwie *Sturgis* i umieszczono na niej reaktor MH-1A typu PWR o mocy 10 MWe. Elektrownia została rozmieszczona w rejonie Kanału Panamskiego i w latach 1967-1976 (podczas wojny wietnamskiej) zasilala wojskową i cywilną infrastrukturę kanału w energię elektryczną. Po zakończeniu eksploatacji w roku 1976 wyładowano paliwo z reaktora, a *Sturgis* został odholowany do bazy okrętów rezerwowych Joint



MINISTERSTWO ENERGII

<http://www.me.gov.pl/Energetyka+jadrowa>  
<https://www.facebook.com/poznaj.atom/>



Base Langley Eustis w Wirginii. W roku 2015 rozpoczęto końcowy demontaż reaktora w bazie Galveston w Teksasie, który potrwa cztery lata i zostanie zakończony w roku 2019.

Pierwszą komercyjną pływającą elektrownię jądrową planowano uruchomić w USA w latach 1970. w ramach projektu Offshore Power Systems. Była to elektrownia Atlantic Nuclear Power Plant, która miała być zlokalizowana na morzu w odległości ok. 3 km od brzegu, 18 km na północny-wschód od Atlantic City (stan New Jersey) i wyposażona w 4 reaktory PWR projektu Westinghouse o mocach 1000-1200 MWe. Z powodu protestów społecznych oraz kryzysu naftowego w latach 1973-74 program budowy elektrowni ostatecznie przerwano w roku 1979.



Rys. 1. EJ *Sturgis* w rejonie Kanału Panamskiego i w porcie Galveston



**Rys.2. Plan rozmieszczenia EJ Atlantic na sztucznej wyspie**

## **ROSJA**

W latach 90. ubiegłego wieku temat pływających elektrowni jądrowych został podjęty przez Rosję. Zainteresowano się budową elektrowni na barkach pływających, w celu wytwarzania energii elektrycznej i odsalania wody morskiej niezbędnych do rozwoju rejonu Arktyki i północnej Syberii.

Obecnie Rosja finalizuje prace nad pierwszą z elektrowni, budowanych w ramach szerokiego projektu pływających elektrowni jądrowych, które mają dostarczać prąd elektryczny w odległych, niedostępnych regionach kraju. Stępka pod pierwszą pływającą elektrownią jądrową Akademik Łomonosow została położona w kwietniu 2007 r. w stoczni Sevmash w Sewierodwinsku lecz ze względu na konieczność realizacji w pierwszej kolejności zamówień wojskowych w 2008 r. konstrukcję elektrowni przeniesiono do stoczni Bałtyckiej w Petersburgu, która ma doświadczenie w budowie lodołamaczy o napędzie jądrowym. W końcu czerwca 2010 r. zwodowano kadłub, w październiku 2013 r. zainstalowano reaktory jądrowe i w połowie 2016 r. rozpoczęto testy przy nadbrzeżu.

Elektrownia ma kształt pływającej platformy (barki) o długości 144,4 m, szerokości 30 m i wyporności 21500 DWT, która będzie zacumowana do specjalnie wykonanego nabrzeża. Ma ona chronić kadłub przed naporem lodu i służyć do odbioru energii elektrycznej (lub ciepła). Na pokładzie zainstalowane zostaną dwa reaktory jądrowe typu KLT-40S, dostarczające 70 MW elektryczności lub 300 MW ciepła, co wystarczy do zaopatrzenia w prąd mieszkańców 200 tys. miasta. Reaktory te były dotychczas stosowane do napędu północnej floty lodołamaczy atomowych. Elektrownia po niewielkiej adaptacji może także służyć do przemysłowego odsalania wody morskiej z wydajnością 240 000 m<sup>3</sup> wody na dobę. Założenia konstrukcyjne przewidują, iż ma być ona eksploatowana przez 40 lat (3 cykle po 12 lat) z przerwami na remont po każdym cyklu. Po zakończeniu eksploatacji blok jądrowy ma być zastąpiony nowym reaktorem, a stara jednostka zostanie zutylizowana w specjalistycznym zakładzie.

Elektrownie przewidziane są do rozmieszczenia w odległych, niedostępnych rejonach Półn.-Wsch. Rosji i w strefie arktycznej. Planowana jest budowa kolejnych 6 elektrowni w przeciągu następnych 10 lat. Pierwsza elektrownia początkowo przeznaczona była do zasilania bazy



atomowych okrętów podwodnych w Wiljuczyńsku na Kamczatce, a kolejna do zaopatrzenia w energię elektryczną m. Piewiek na Płw. Czukockim. Ostatecznie we wrześniu 2015 r. Rosatom podpisał z gubernatorem Czukockiego Okręgu Autonomicznego porozumienie o współpracy przy rozwoju sektora energetycznego, uwzględniające budowę elektrowni pływającej w m. Piewiek, która ma zastąpić EJ Bilibino w węzle energetycznym Chaun-Bilibiono. Budowę urządzeń nadbrzeżnych niezbędnych do odbioru mocy rozpoczęto we wrześniu 2016 r. Komercyjne uruchomienie elektrowni. przewidywane jest w roku 2019.

Przyszłe elektrownie będą wykorzystane również przez Gazprom do zabezpieczenia wydobycia z pól gazowych na Płw. Kolskim i Jamalskim. Następne przewidziane są do rozmieszczenia w Jakucji i w rejonie Płw. Tajmyr.



Rys. 3. Pływająca EJ *Akademik Lomonosov* budowana w stoczni *Baltijskiy Zavod*



Rys. 4. Planowane lokalizacje pływających elektrowni jądrowych

Zakupem podobnych pływających elektrowni zainteresowanych jest wiele państw, w tym: Chiny, Indonezja, Malezja, Algieria, Namibia i Argentyna. W 2014 r. *Rosatom* zawarł porozumienie z Chinami o wspólnej budowie i eksploatacji pływających elektrowni. W 2015 r. podobne porozumienie zostało podpisane z Indonezją.





W przyszłości planowana jest budowa większych pływających elektrowni wyposażonych w reaktory VBER-300 lub RITM-200 o mocach 200-400 MWe, stosowanych dotychczas przez rosyjską marynarkę do napędu floty atomowych okrętów nawodnych i podwodnych. Możliwe jest również zastosowanie mniejszych reaktorów ABV-6 o mocy 38 MWt w układzie bliźniaczym, które dostarczać mogą 12-18 MWe plus 40000 m<sup>3</sup> wody pitnej na dzień.



Rys. 4. Pływająca elektrownia KLT-40S zacumowana przy nadbrzeżu

## CHINY

W maju 2014 r. chińska agencja odpowiedzialna za rozwój energetyki jądrowej *China Atomic Energy Authority* (CAEA) podpisała porozumienie z rosyjskim koncernem *Rosatom* o współpracy przy budowie pływających elektrowni jądrowych. Mają one być budowane w Chinach w oparciu o rosyjską technologię i będą wyposażone prawdopodobnie w reaktory KLT-40S. Strona rosyjska – firma TVEL ma dostarczać również paliwo dla tych elektrowni. W lipcu 2014 r. *Rosatom*



*Overseas* podpisał podobne porozumienie z CNNC *New Energy* dotyczące wspólnej budowy pływających elektrowni jądrowych.

Jednocześnie Chiny rozwijają swój własny potencjał badawczo-naukowy i techniczny w dziedzinie pływających elektrowni jądrowych.

Koncern *China General Nuclear Power Group* (CGN) ogłosił w styczniu 2016 roku projekt budowy demonstracyjnego wielozadaniowego małego reaktora modułowego (SMR) zainstalowanego na jednostce pływającej. Projekt budowy takiego reaktora został zaaprobowany jako część 13 planu pięcioletniego. Obecnie trwają zaawansowane prace projektowe i konstrukcja reaktora ma zakończyć się w roku 2020. Reaktor ACPR50S o mocy 200 MWt (60 MWe) ma produkować prąd elektryczny i ciepło oraz służyć do odsalania wody. Będzie on wykorzystywany na wyspach oraz przy eksploracji gazu i ropy naftowej w rejonie Morza Południowochińskiego.

Korporacja *China National Offshore Oil Corporation* (CNOOC) ogłosiła w styczniu 2016 r. zawarcie strategicznej współpracy z koncernem CGN w celu prowadzenia wspólnych badań nad rozwojem technologii jądrowych przewidywanych do użycia na morskich polach wydobywczych ropy naftowej. Zastosowanie pływających elektrowni jądrowych pozwoli zmniejszyć koszty wydobycia węglowodorów z dna morza oraz budowy niezbędnej infrastruktury technicznej.

Koncern CGN w styczniu 2016 zawarł także porozumienie z największą stocznią chińską *China Shipbuilding Industry Corporation* (CSIC) w sprawie wspólnej budowy pływających elektrowni jądrowych.



**Rys. 5. Projekt pływającej elektrowni jądrowej koncernu CGN**

Podobny projekt pływającej elektrowni jądrowej opracował koncern CNNC. Koncepcja bazuje na reaktorze ACP100S o mocy 100 MWe, który jest morską wersją reaktora ACP100. Został on również wpisany do 13 planu pięcioletniego. Budowa demonstratora technologii ma zakończyć się w 2019 r.

Oprócz wspomnianego reaktora ACP100S, CNNC opracował również jego mniejsze wersje ACP10S i ACP25S, które mogą być stosowane pojedynczo lub w układach bliźniaczych, budując w ten sposób pływającą elektrownię o mocy optymalnej dla danego celu i miejsca przeznaczenia.



MINISTERSTWO ENERGII

<http://www.me.gov.pl/Energetyka+jadrowa>

<https://www.facebook.com/poznajatom/>



Rys. 6. Pływająca elektrownia jądrowa koncernu CNNC

## ELEKTROWNIE JĄDROWE NA DNIE MORZA

### FRANCJA

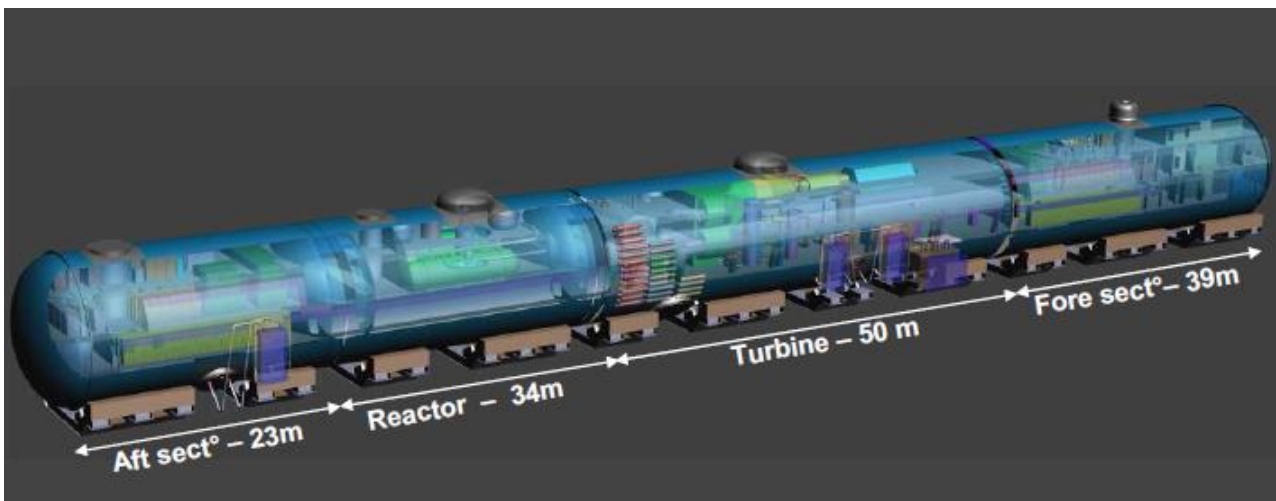
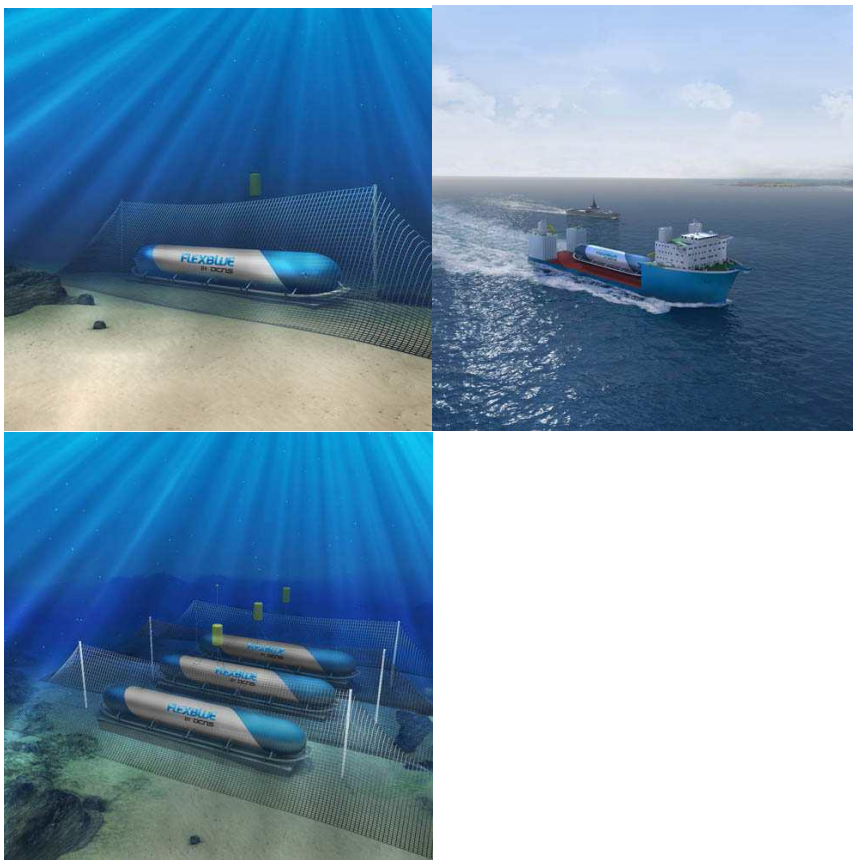
Francuska firma *Direction des Constructions Navales Services* (DCNS), która od 40 lat specjalizuje się w budowie okrętów wojennych dla francuskiej marynarki, w roku 2011 opracowała innowacyjny projekt o nazwie Flexblue. Jest on obecnie rozwijany przy współpracy firm energetycznych *Areva*, EDF i francuskiej komisji energii atomowej CEA. Projekt zakłada umieszczenie podwodnej siłowni jądrowej o mocy 50-250 MWe nad dnem morza na głębokości 60-100 m w odległości 5-15 km od brzegu. Elektrownia ma budowę modułową (ok. 160 MWe), co pozwala na jej dowolną konfigurację w zależności od zapotrzebowania na prąd elektryczny.





MINISTERSTWO ENERGII

<http://www.me.gov.pl/Energetyka+jadrowa>  
<https://www.facebook.com/poznajatom/>



Rys. 7. Wizualizacja projektu Flexblue

Przesyłanie energii elektrycznej odbywać się będzie za pomocą podwodnego przewodu łączącego elektrownię z brzegiem lądu. Blok reaktora i turbina umieszczone będą w cylindrycznym korpusie o dł. ponad 100 m. i średnicy 12-15 m. Cały obiekt ma mieć masę ok. 12 tys. ton. Będzie on opuszczany ze statku transportowego na dno oceanu (i podnoszony) za pomocą zbiorników balastowych. Moduły Flexblue będą zakotwiczone do dna i unosić się nad jego powierzchnią, co uczyni je całkowicie odpornymi na fale tsunami i trzęsienia ziemi. Budowa całej elektrowni w jednym zakładzie zapewni seryjność i standaryzację obiektu, a całkowite zanurzenie w wodzie





gwarantuje niezawodny pasywny odbiór ciepła, nawet we przypadku poważnej awarii. Podobnie do projektu amerykańskiego koncepcja podwodnej elektrowni jądrowej oparta jest o sprawdzone technologie konstrukcji okrętów podwodnych i reaktorów napędowych typu PWR stosowanych we francuskiej marynarce wojennej.

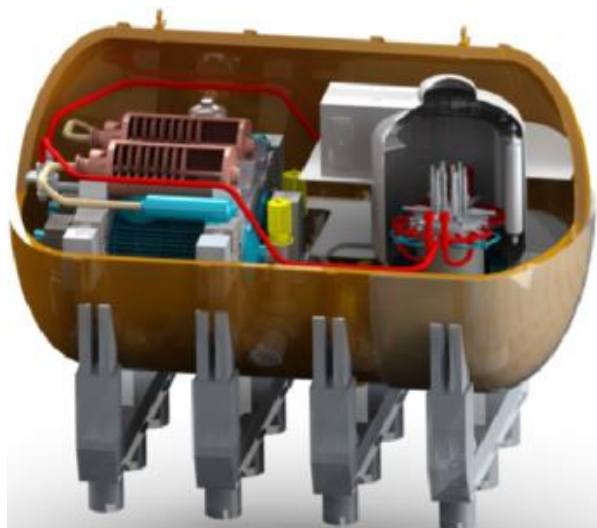
Sterowanie elektrownią realizowane będzie zdalnie z brzegu. Jedyne główne operacje związane z jej uruchomieniem i wyłączeniem oraz przeładunkiem paliwa odbywać się będą z centrali znajdującej się w samym kadłubie. Do bieżących prac remontowych i okresowych inspekcji obiektu wykorzystywany będzie specjalnie zaprojektowany do tego celu pojazd podwodny.

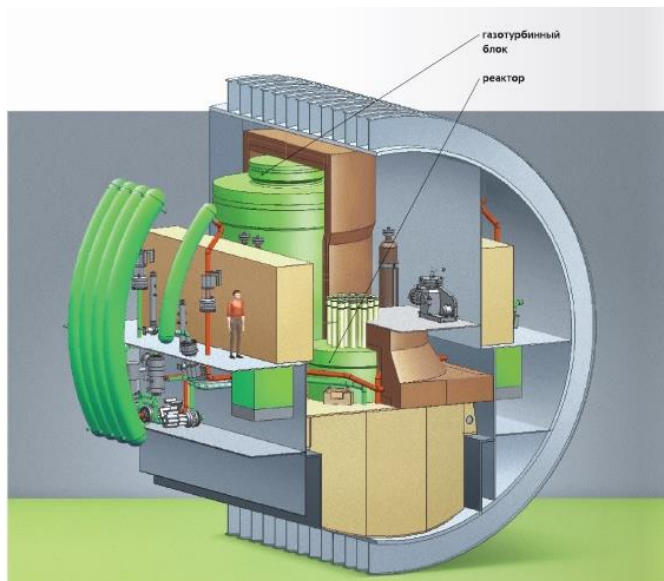
Oferta podwodnych siłowni jądrowych Flexblue skierowana jest do państw o średnim zapotrzebowaniu na energię elektryczną takich jak np. Maroko oraz izolowanych regionów państw rozwijających się jak np. wyspy (Malta, Cypr, region Pacyfiku). DCNS spodziewa się zapotrzebowania na 100-300 takich modułów energetycznych. Budowa pierwszego prototypu testowego planowana jest na rok 2017.

## ROSJA

Rosyjski instytut badawczy NIKIET opracował projekt podwodnej elektrowni jądrowej SHELF, umieszczanej na dnie morza i przeznaczonej do zaopatrywania w energię elektryczną pól wydobywczych gazu i ropy naftowej w rejonie Arktyki. Konstrukcja elektrowni oparta jest o zintegrowany reaktor PWR o mocy 6 MWe (28 MWt). Reaktor i turbogenerator umieszczone są w cylindrycznym zbiorniku (kapsule energetycznej) o długości 14 m i średnicy 8 m, który można umieszczać na dnie morza na głębokości do 300 m.

Biuro konstrukcyjne OKBM Afrikantov opracowało projekt elektrowni VGM zlokalizowanej na dnie morza z reaktorem wysokotemperaturowym chłodzonym gazem. Reaktor i sprzężona z nim turbina helowa tworzą jeden wspólny kompaktowy blok (moduł), który może być wykorzystywany jako autonomiczne źródło energii elektrycznej. Blok jądrowy dysponuje mocą użyteczną 8-25 MWe i może być zanurzony na głębokość do 400 m.

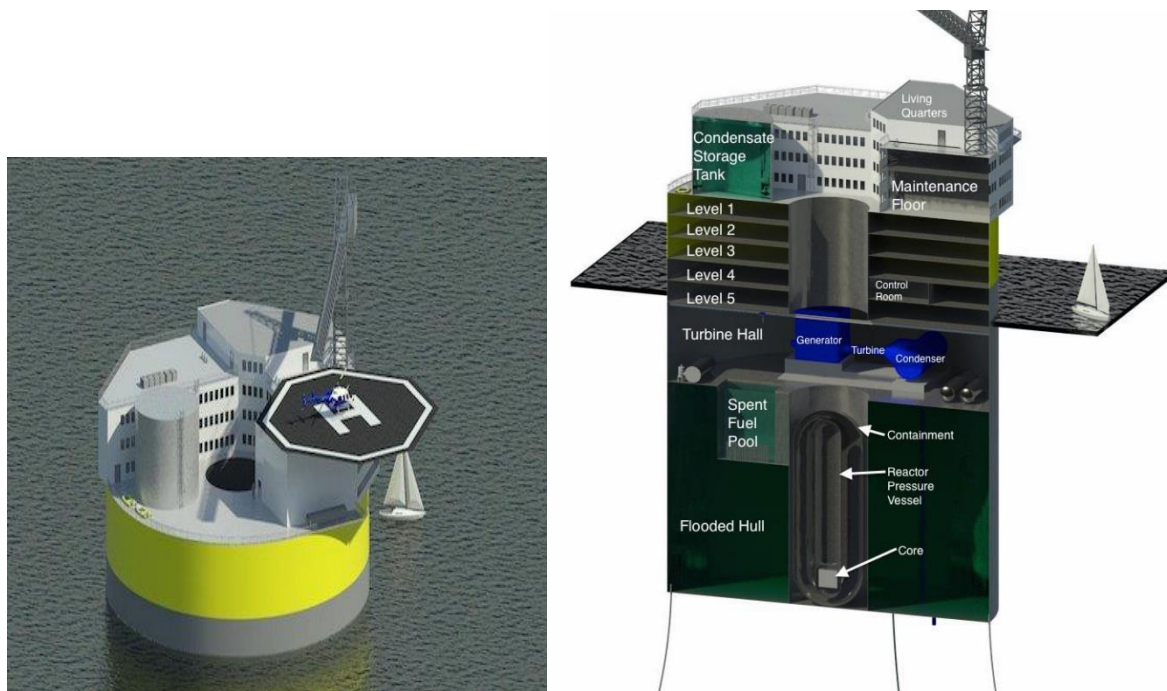




Rys. 8. Moduły energetyczne SHELF (z lewej) i VGM (z prawej)

### ELEKTROWNIE JĄDROWE NA PLATFORMIE MORSKIEJ

Na amerykańskim uniwersytecie MIT przy współpracy uniwersytetu Wisconsin i firmy *Chicago Bridge and Iron* opracowano koncepcję elektrowni jądrowej umieszczonej na pływającej platformie, podobnej do tych stosowanych przy wydobyciu gazu i ropy naftowej z dna morskiego. Projekt amerykański przewiduje umieszczenie reaktora o mocy 200 MWe lub większej w centrum pływającej cylindrycznej platformy zakotwiczonej ok. 10 km od brzegu na głębokości do 100 m. Oprócz bloku energetycznego na platformie znajdować się będą pomieszczenia mieszkalne i lądowisko dla śmigłowców. Elektrownie takie mogą być budowane w stoczni (zakładzie), a następnie holowane do miejsca przeznaczenia, zakotwiczone i połączone z brzegiem za pomocą podmorskiej linii energetycznej. Koncepcja oparta jest o dwie sprawdzone i opanowane technologie: reaktorów lekkowodnych i platform wiertniczych.



**Rys. 9. Elektrownia jądrowa na platformie morskiej wg projektu MIT**

Zakotwiczenie platformy w dużej odległości od lądu spowoduje, że elektrownia będzie odporna na działanie fal tsunami i trzęsienia ziemi, które były przyczyną zniszczenia EJ Fukushima. Woda morska, w której zanurzona jest elektrownia będzie również niezawodnie w sposób pasywny odbierać ciepło powyłłączeniowe i chłodzić zbiornik reaktora w przypadku jego awarii, skutecznie zapobiegając stopieniu rdzenia i wydostaniu się materiałów radioaktywnych do otoczenia. Elektrownie takie mogą być rozmieszczane wzdłuż wybrzeży w pobliżu centrów mieszkalnych, gdzie tradycyjna lokalizacja na lądzie byłaby bardzo kosztowna lub niemożliwa do realizacji. Demontaż obiektu polegać będzie na jego odholowaniu do centralnego zakładu zajmującego się utylizacją materiałów jądrowych, podobnie jak ma to miejsce w przypadku reaktorów napędowych stosowanych w marynarce wojennej. Budowa elektrowni w jednym zakładzie produkcyjnym pozwoli na ich standaryzację a konstrukcja wyłącznie ze stali wyeliminuje użycie betonu, który jest często odpowiedzialny za opóźnienia i wzrost kosztów budowy klasycznych elektrowni lądowych. Według autorów projektu nie ma ograniczeń dotyczących wielkości takich elektrowni, mogą one mieć moce od 50 do 1000 MWe. Pływające elektrownie mają spełniać wszelkie wymogi bezpieczeństwa, które dotyczą elektrowni zlokalizowanych na lądzie, będą także odporne na atak podwodny.

Oferta pływających siłowni jądrowych skierowana jest do państw azjatyckich, głównie Japonii i Indonezji, gdzie istnieje największe zagrożenie ze strony tsunami a jednocześnie występuje rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną.