

Przewodnik po SMR.

Prosty przewodnik po małych reaktorach modułowych

Wiele korzyści SMR-ów wynika bezpośrednio z ich konstrukcji – są małe i modułowe. Czy jednak SMR-y mogą sprawić, że energetyka jądrowa stanie się dostępna i szeroko wdrażana?



Spis treści

→ SMR, SMR, SMR – o co w tym chodzi?	strona 3	→ SMR-y wyłącznie ciepłownicze vs eSMR-y	strona 11-14
→ Wprowadzenie do energetyki jądrowej	strona 4	→ Zalety SMR	strona 15
→ Globalny krajobraz energetyki jądrowej	strona 5	→ Jak dokonać właściwego wyboru	strona 16
→ Czym jest SMR – a czym nie jest	strona 6-7	→ Kluczowe kwestie dla operatorów sieci ciepłowniczych	strona 17
→ Rynek SMR	strona 8-10	→ Studium wykonalności	strona 18
		→ Czy energetyka jądrowa może być mała, lokalna i powszechna?	strona 19



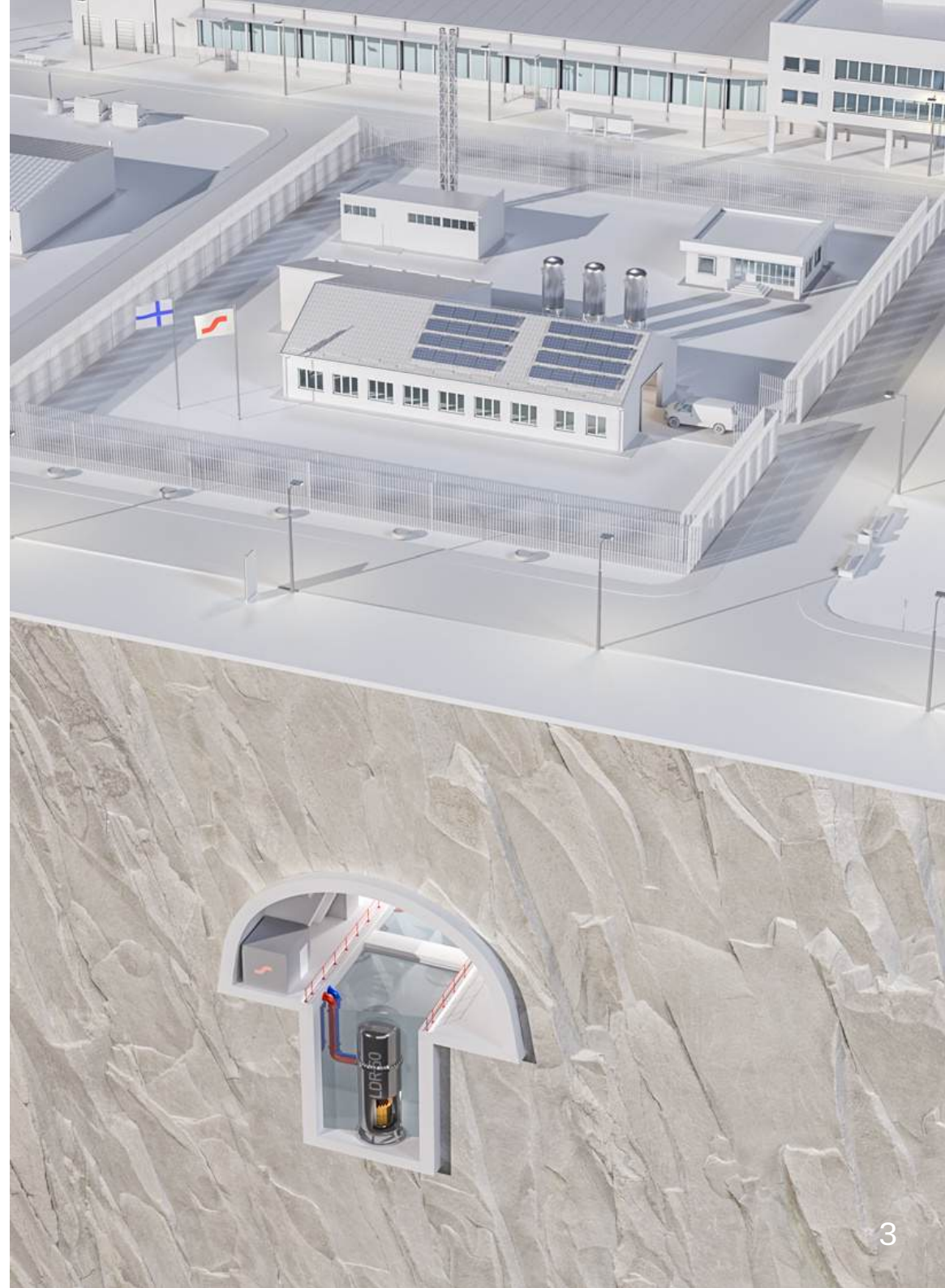
SMR, SMR, SMR – o co w tym chodzi?

Małe modułowe reaktory jądrowe, tzw. SMR, szybko stały się jednym z głównych tematów dyskusji o przyszłości czystej energii. Czym jednak dokładnie są SMRy i czym różnią się te systemy od znanych, wielkoskalowych elektrowni jądrowych?

W swojej istocie SMR-y to reaktory jądrowe o mniejszej mocy jednostkowej, projektowane zgodnie z filozofią modułowej, fabrycznej produkcji. Ich mniejsze rozmiary umożliwiają nowe podejścia do budowy, alternatywne strategie wdrażania oraz szerszy zakres zastosowań. Należy jednak podkreślić, że „SMR” oznacza szeroką rodzinę technologii, a nie jeden konkretny typ reaktora. Współczesne projekty SMR różnią się istotnie pod względem mocy cieplnej i elektrycznej, temperatury pracy, zastosowanych chłodziw i moderatorów, rodzaju paliwa oraz strategii cyklu paliwowego.

Ta różnorodność jest jednocześnie siłą i źródłem złożoności. Żaden pojedynczy projekt SMR nie jest w stanie odpowiedzieć na wszystkie potrzeby związane z dekarbonizacją. Reaktory wysokotemperaturowe mogą być odpowiednie do dostarczania ciepła przemysłowego lub produkcji wodoru; reaktory wodne pracujące w niższych temperaturach mogą sprawdzać się w ciepłownictwie systemowym lub w wytwarzaniu energii elektrycznej wspierającej stabilność sieci; natomiast niektóre zaawansowane koncepcje są przeznaczone do zastosowań w lokalizacjach odległych, poza siecią lub do specyficznych procesów przemysłowych. Przy ponad stu projektach SMR rozwijanych obecnie na świecie coraz bardziej prawdopodobne jest, że przyszłe systemy energetyczne będą opierać się na kilku uzupełniających się typach SMR-ów, z których każdy będzie zoptymalizowany pod kątem określonej roli.

Niniejszy przewodnik przedstawia uporządkowany przegląd tych technologii, aby pomóc w zrozumieniu dynamicznie rozwijającego się rynku SMR oraz umożliwić świadome porównanie wielu projektów będących obecnie w fazie rozwoju.



Wprowadzenie do energetyki jądrowej

Energia jądrowa wykorzystywana obecnie na świecie służy głównie do produkcji energii elektrycznej. Zgodnie z definicją Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA), energia jądrowa jest energią uwalnianą z jądra atomu w procesie rozszczepienia jądrowego. Rozszczepienie jądrowe zachodzi, gdy jądro ciężkiego atomu, najczęściej uranu-235 lub plutonu-239, pochłania neutron i staje się niestabilne. Następnie rozpada się na dwa lub więcej mniejszych jąder, uwalniając energię kinetyczną, promieniowanie gamma oraz dodatkowe neutrony, które podtrzymują reakcję łańcuchową.

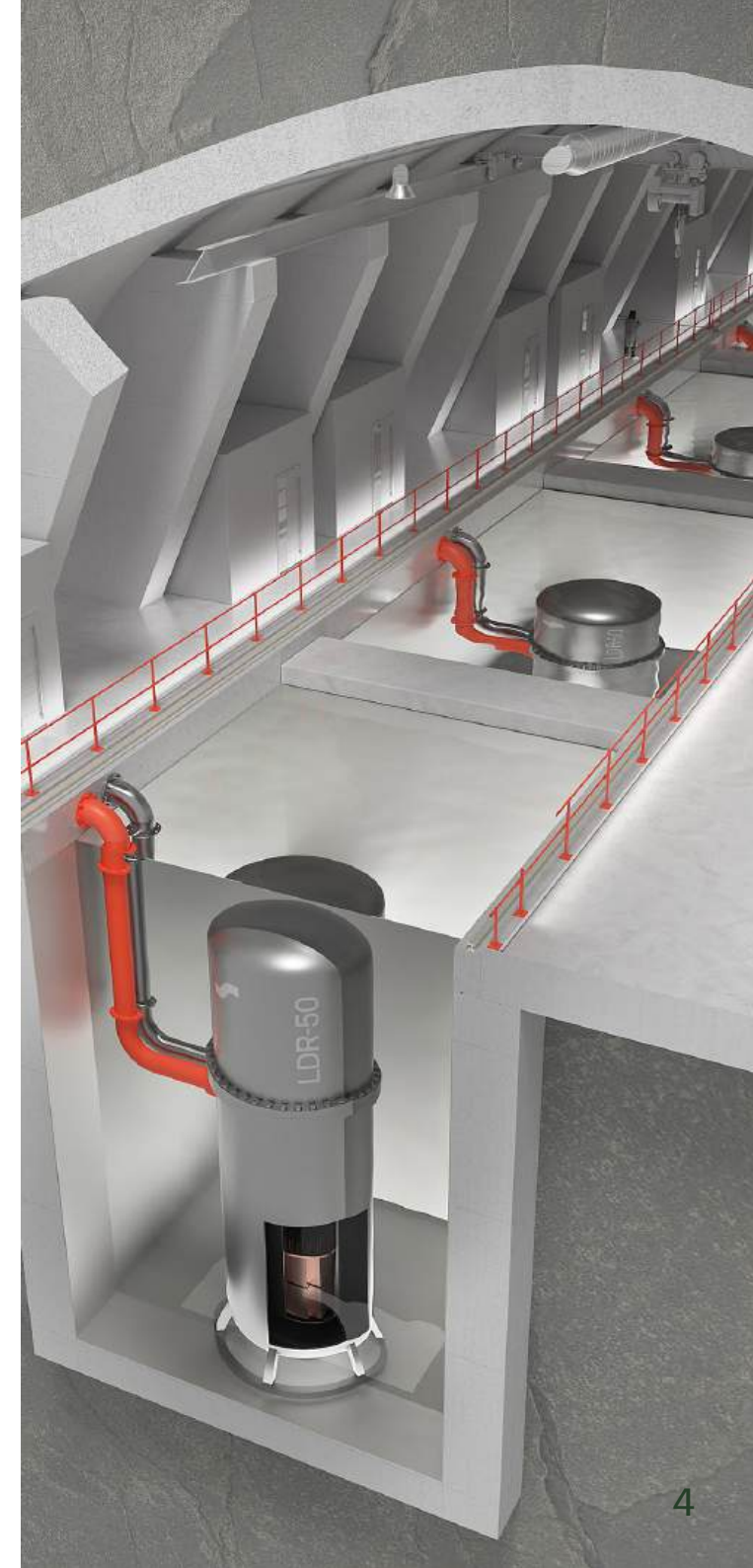
W elektrowni jądrowej reaktor i systemy sterowania regulują tę reakcję, zapewniając stabilną i przewidywalną pracę. Energia kinetyczna rozszczepienia zamieniana jest na ciepło, które ogrzewa czynnik chłodzący (najczęściej wodę, choć stosuje się także gazy, ciekłe metale lub sole stopione). Tradycyjnie ciepło to służy do wytwarzania pary napędzającej turbinę i generator energii elektrycznej. Podstawowym produktem reakcji rozszczepienia jest jednak ciepło.

Podczas gwałtownego rozwoju energetyki jądrowej w latach 70. XX wieku reaktory stawały się coraz większe, a systemy elektrowni coraz bardziej złożone. Jednocześnie zaostżano wymagania bezpieczeństwa, co wiązało się z dodatkowymi warstwami projektowania i rozwiązań inżynierskich. Z czasem dążenie do większej mocy oraz poprawy efektywności ekonomicznej doprowadziło do powstawania reaktorów w wysokim stopniu

dostosowywanych do każdego nowego projektu. Każda elektrownia wymagała zmian projektowych, aby spełnić wymagania klienta, warunki lokalizacyjne oraz oczekiwania lokalnego organu regulacyjnego. Takie podejście „projekt po projekcie” przyczyniło się do problemów z kontrolą jakości, opóźnień harmonogramów oraz rosnących kosztów.

Energetyka jądrowa pozostaje jednak niskoemisyjnym źródłem energii, odgrywając ważną rolę w ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych na świecie. W ostatnich latach pojawiły się małe reaktory modułowe (SMR) jako rozwiązanie zdolne do odwrócenia tego trendu rozwojowego.

Choć większość energii jądrowej wykorzystywana jest do produkcji energii elektrycznej, reaktory jądrowe od dawna znajdują zastosowanie w wyspecjalizowanych obszarach, gdzie kluczowe znaczenie ma długotrwałe i wysokoenergetyczne źródło mocy. Najbardziej znanym przykładem jest napęd morski: okręty podwodne (np. U-booty), lotniskowce oraz niektóre lodołamacze wykorzystują kompaktowe reaktory jądrowe do zapewnienia napędu i zasilania pokładowego przez długi czas bez konieczności tankowania paliwa. Kolejnym obszarem zastosowania energii jądrowej może być produkcja ciepła.



Globalny krajobraz energetyki jądrowej

Jak energia jądrowa oraz rozwijająca się technologię małych modułowych reaktorów (SMR), aby osiągnąć cele klimatyczne i przemysłowe na świecie?

Ugruntowane potęgi nuklearne

Stany Zjednoczone: Największa flota jądrowa na świecie

Dysponuje największą działającą flotą jądrową i wiodącymi projektami SMR, takimi jak NuScale i BWRX-300 GE Hitachi.

Francja: Krajowy standard energetyczny

Generuje około 70% swojej energii elektrycznej z scentralizowanej floty jądrowej. Bada możliwości zastosowania SMR do wytwarzania ciepła przemysłowego i energii elektrycznej. Projekty SMR w fazie rozwoju (Nuward i CAL30 firmy Calogena).

Korea Południowa: Światowy lider eksportowy

Znana z wysoko standaryzowanych projektów reaktorów oraz jednego z najbardziej efektywnych programów budowlanych na świecie



Zaawansowane państwa nuklearne i rozwijające się małe reaktory modułowe (SMR)

Wielka Brytania: Strategia neutralności emisji netto

Wcześniejszy pionier energii jądrowej, uruchomił pierwszą na świecie komercyjną elektrownię jądrową w Calder Hall w 1956 roku. Obecnie energia jądrowa jest kluczowa dla strategii neutralności węglowej, a wiodącym projektem małych reaktorów modułowych jest Rolls-Royce SMR.

Kanada: Zastosowanie poza siecią

Wykorzystuje silne ramy regulacyjne do wdrażania SMR-ów dla potrzeb rdzennej ludności i przemysłu.

Europa Północna (Szwecja i Finlandia)

Zarówno Szwecja, jak i Finlandia korzystają z energii jądrowej. Szwecja odwróciła swoją politykę wygaszania: energia jądrowa powraca jako element infrastruktury klimatycznej. Szczególne zainteresowanie SMR-ami dotyczy przemysłu stalowego, centrów danych i sieci ciepłowniczych.

Finlandia jest siedzibą Onkalo, pierwszego na świecie głębokiego geologicznego składowiska odpadów jądrowych. Finlandia posiada także własny projekt SMR: LDR-50 firmy Steady Energy - pilotażowa elektrownia jest obecnie w budowie w Helsinkach.

Wzrost i strategiczna ekspansja

Chiny: Najszybciej rozwijający się program budowy energetyki jądrowej na świecie

Szybko rozwijają flotę, koncentrując się na reaktorach wysokotemperaturowych do produkcji ciepła przemysłowego. Projekt SMR, ACP100, jest w budowie.

Japonia: Skupienie na zastosowaniach poza siecią

Kraj ten ma silną kulturę bezpieczeństwa i zaawansowane możliwości badań nuklearnych, aktywnie bada również projekty reaktorów nowej generacji i mniejszych reaktorów.

Indie: Rosnąca populacja

Własny program reaktorów PHWR, wykorzystujący energię jądrową do wsparcia dużej i rosnącej populacji. Energia jądrowa stanowi część długoterminowej strategii rozwoju, z rosnącym zainteresowaniem mniejszymi reaktorami dla regionalnych sieci.

Republika Południowej Afryki

Obsługuje jedyną elektrownię jądrową na kontynencie afrykańskim w Koebergu. Wcześniej rozwijała technologię modułowych reaktorów z kulistym wkładem paliwowym (PBMR). Odnowione zainteresowanie małymi reaktorami modułowymi jako częścią przyszłej strategii energetycznej.

Czym jest SMR – a czym nie jest

Nie istnieje jedna, powszechnie obowiązująca definicja pojęcia „mały”, jednak większość międzynarodowych organizacji i organów regulacyjnych jest zgodna co do przybliżonego zakresu mocy. Przykładowo IAEA, NEA, World Nuclear Association oraz Komisja Europejska zazwyczaj definiują SMR jako reaktory o mocy elektrycznej do około 300 MWe na jednostkę, czyli mniej więcej jednej trzeciej mocy współczesnego reaktora klasy gigawatowej. Odpowiadająca temu maksymalna moc cieplna wynosi około 1000 MWth. Niektóre dokumenty wyróżniają ponadto bardzo małe reaktory lub mikroreaktory (vSMR) o mocy poniżej około 10–15 MWe, przeznaczone dla odległych społeczności, kopalń lub zastosowań poza siecią elektroenergetyczną ¹.

Z kolei termin „modułowy” odnosi się do modułowej metody budowy. Oznacza to, że jednostki SMR projektowane są jako zestawy modułów wytwarzanych poza miejscem docelowej lokalizacji, transportowanych na teren inwestycji i tam montowanych. Takie podejście umożliwia bardziej efektywną, standaryzowaną produkcję w warunkach zbliżonych do przemysłowych, ograniczając ryzyko problemów jakościowych oraz niepewności realizacyjnych.

SMR-y dzieli się zazwyczaj na projekty „ewolucyjne” (często oparte na konwencjonalnej technologii reaktorów lekkowodnych, określanych jako generacja III/III+) oraz projekty „zaawansowane” lub „nowej generacji” (tzw. generacja IV), które zwykle wykorzystują chłodziwa inne niż woda, alternatywne moderatory lub zaawansowane cykle paliwowe.

Pomimo nowego określenia, SMR pozostaje reaktorem rozszczepieniowym. Źródło energii oraz podstawowe zasady bezpieczeństwa są takie same jak w przypadku współczesnych dużych reaktorów: kontrolowana reakcja łańcuchowa w paliwie jądrowym oraz wielowarstwowy system barier technicznych i organizacyjnych (zasada „obrony w głąb”) mających na celu zapobieganie awariom oraz ograniczanie ich skutków.

Small (Małe)

- Wybrany przez Wielką Brytanię jako preferowany projekt reaktor Rolls-Royce SMR ma moc około 470 MWe, jednak nadal jest szeroko omawiany w ramach kategorii SMR, ponieważ wykorzystuje modułową metodę budowy i jest skierowany do podobnych segmentów rynku co mniejsze jednostki SMR.
- Dolny zakres mocy: koncepcje mikroreaktorów obejmują zazwyczaj jednostki o mocy 1–10 MWe.
- Projekty wyłącznie ciepłownicze: niektóre SMR-y są projektowane do produkcji ciepła zamiast energii elektrycznej. Przykładem jest fiński LDR-50 – reaktor lekkowodny o mocy około 50 MWth, pracujący w niskiej temperaturze, przeznaczony wyłącznie do ciepłownictwa systemowego oraz dostarczania ciepła niskotemperaturowego dla przemysłu.

Modular (Modułowy)

- Znaczna część elektrowni, w tym moduł reaktora oraz główne systemy, jest wytwarzana w fabrykach w postaci standaryzowanych modułów.
- Moduły są następnie transportowane na miejsce inwestycji i tam montowane, zamiast budowania większości systemów od podstaw na placu budowy.
- Projekty często umożliwiają eksploatację kilku modułów reaktorowych w jednej lokalizacji, dzięki czemu moc instalacji może być skalowana zgodnie z lokalnym zapotrzebowaniem.

Reactor (Reaktor)

- Reaktory lekkowodne (LWR) – zarówno wodne ciśnieniowe (PWR), jak i wodne wrzące (BWR) – są technologicznie blisko powiązane z obecnie eksploatowaną flotą reaktorów (np. chiński ACP100 „Linglong One”, GE Hitachi BWRX-300).
- Reaktory na sole stopione, szybkie reaktory chłodzone sodem oraz wysokotemperaturowe reaktory chłodzone gazem projektowane są do pracy w wyższych temperaturach, wykorzystują alternatywne cykle paliwowe, a w niektórych przypadkach umożliwiają lepsze wykorzystanie paliwa oraz korzystniejsze parametry w zakresie powstawania i zagospodarowania odpadów promieniotwórczych.

¹ World Nuclear Association

Zarówno w sektorze publicznym, jak i prywatnym obserwuje się wyraźny, globalny impuls do wprowadzenia technologii małych reaktorów modułowych (SMR) do zastosowań komercyjnych jeszcze w tej dekadzie. Część jednostek SMR już dziś znajduje się w eksploatacji – przykładem jest rosyjska jednostka Akademik Łomonosow, pierwsza na świecie pływająca elektrownia jądrowa, która od 2020 roku dostarcza energię elektryczną z wykorzystaniem dwóch reaktorów SMR o mocy 35 MWe każdy.

Globalne zainteresowanie małymi i średnimi reaktorami modułowymi rośnie ze względu na ich zdolność do zapewnienia elastycznej produkcji energii elektrycznej i ciepła dla szerokiego spektrum odbiorców i zastosowań, a także do zastępowania starzejących się elektrowni opalanych paliwami kopalnymi. Obecnie na świecie rozwijanych jest ponad 80 komercyjnych projektów SMR. Obejmują one szeroki zakres mocy, technologii oraz zastosowań końcowych, takich jak:

- produkcja energii elektrycznej na potrzeby sieci,
- ciepłownictwo systemowe,
- para technologiczna dla przemysłu,
- produkcja wodoru,
- hybrydowe systemy energetyczne,
- odsalanie wody.

Choć SMR-y zazwyczaj obiecują niższe nakłady inwestycyjne na moduł – dzięki produkcji fabrycznej, modułowości i krótszym czasom budowy – ich pełna konkurencyjność ekonomiczna będzie mogła zostać potwierdzona dopiero po wybudowaniu, wdrożeniu i eksploatacji większej liczby jednostek na skalę przemysłową.

SMR-y nie stanowią jednego, jednolitego produktu ani pomniejszonej wersji dzisiejszych dużych reaktorów. Są raczej zróżnicowaną rodziną zaawansowanych projektów, z których każdy charakteryzuje się odmiennym podejściem technicznym, poziomem dojrzałości technologicznej oraz docelowym obszarem zastosowań.



Te pelety uranu mogą ogrzać pięć domów przez rok

Rynek SMR

Jak wskazano wcześniej, małe reaktory modułowe (SMR-y) stanowią szeroką rodzinę technologii jądrowych przeznaczonych dla różnych segmentów rynku i pracujących w odmiennych zakresach temperatur. Choć łączy je kilka kluczowych zasad projektowych – takich jak standaryzowana produkcja, mniejsza moc jednostkowa oraz zastosowanie pasywnych systemów bezpieczeństwa – ich zastosowania znacząco się różnią. Przejrzysta segmentacja rynku pozwala uporządkować te kategorie oraz określić pozycjonowanie poszczególnych projektów.

SMR-y ukierunkowane na produkcję energii elektrycznej (eSMR)

Reaktory SMR produkujące energię elektryczną stanowią najbardziej rozpoznawalną kategorię. Są one adresowane do przedsiębiorstw energetycznych poszukujących niskoemisyjnych, stabilnych źródeł mocy podstawowej przy niższym ryzyku projektowym w porównaniu z dużymi elektrowniami jądrowymi. Większość eSMR-ów opiera się na technologii reaktorów lekkowodnych (LWR), wykorzystując dobrze znane rozwiązania techniczne oraz istniejące ramy regulacyjne.

Typowe parametry:

- Moc: 50–470 MWe
- Główni odbiorcy: przedsiębiorstwa energetyczne, przemysł energochłonny, centra danych
- Zakres temperatur: 285–320°C (LWR)
- Przewaga rynkowa: dekarbonizacja sektora elektroenergetycznego bez złożoności dużych bloków jądrowych
- Przykłady: GEH BWRX-300, NuScale VOYGR, Rolls-Royce SMR

Wysokotemperaturowe SMR-y dla przemysłu

Dynamicznie rozwijający się segment rynku obejmuje reaktory dostarczające wysokotemperaturowe ciepło dla sektorów przemysłowych, takich jak hutnictwo stali, produkcja amoniaku, wodoru czy przemysł petrochemiczny. Jednostki te zazwyczaj pracują w zakresie 500–900°C lub wyższym, umożliwiając wytwarzanie pary technologicznej, prowadzenie procesów termochemicznych produkcji wodoru oraz bezpośrednie wykorzystanie w procesach przemysłowych.

Typowe parametry:

- Moc: 50–250 MWth (niektóre projekty oferują 80–200 MWe mocy elektrycznej)
- Zakres temperatur: 500–900°C (HTGR), 565–750°C (warianty sodowe i z solami stopionymi)
- Główni odbiorcy: zakłady chemiczne, producenci stali, huby wodorowe
- Przewaga rynkowa: zastąpienie kotłów opalanych paliwami kopalnymi oraz reformerów gazowych
- Przykłady: X-energy Xe-100, HTR-PM, TerraPower Natrium, ARC-100, HGTR-Pola

SMR-y wyłącznie ciepłownicze

Nową i strategicznie istotną kategorię stanowią SMR-y zaprojektowane wyłącznie do produkcji ciepła na potrzeby ciepłownictwa systemowego oraz niskotemperaturowych zastosowań przemysłowych. Jednostki te nie wytwarzają energii elektrycznej, co eliminuje straty termodynamiczne związane z konwersją energii cieplnej na elektryczną i zwiększa ogólną efektywność dla odbiorców ciepła.

Różnice na rynku regionalnym



Europa: Największy popyt na projekty wyłącznie grzewcze i zintegrowane z siecią ciepłowniczą.



Ameryka Północna: skupienie na energii elektrycznej na skalę sieciową i przemysłowym ciepłe.



Azja: wdrożenie HTGR i wielozadaniowych SMR dla parków przemysłowych.



Rynki arktyczne/odległe: mikroreaktory i mobilne rozwiązania.



Jednostki te pracują również w znacznie niższych temperaturach, co istotnie upraszcza systemy bezpieczeństwa, wymagania lokalizacyjne oraz procedury licencyjne. Segment ten ma szczególne znaczenie w Europie, gdzie dekarbonizacja ciepłownictwa systemowego stanowi jeden z priorytetów regulacyjnych.

Typowe parametry:

- Moc: 10–50 MWth na jednostkę
- Dostarczana temperatura: 120–150°C (odpowiednia dla europejskich sieci ciepłowniczych)
- Główni odbiorcy: miejskie przedsiębiorstwa ciepłownicze, odbiorcy pary przemysłowej, instalacje odsalania wody morskiej
- Przewaga rynkowa: najbardziej efektywna ścieżka zastępowania ciepła z paliw kopalnych
- Przykłady: Steady Energy LDR-50, Calogena CAL-30

Systemy te całkowicie eliminują etap konwersji energii na elektryczność i są ukierunkowane na rynki, w których dominującym zapotrzebowaniem jest ciepło. Ich niskociśnieniowy charakter oraz ograniczony poziom zagrożeń technologicznych wpisują się w nową kategorię podejścia licencyjnego, rozwijaną w kilku państwach członkowskich UE.

Hybrydowe i kogeneracyjne SMR-y

Pomiędzy reaktorami ukierunkowanymi wyłącznie na produkcję energii elektrycznej a jednostkami wyłącznie ciepłowniczymi znajduje się zróżnicowana grupa kogeneracyjnych SMR-ów, zaprojektowanych do wytwarzania wielu produktów energetycznych: energii elektrycznej, ciepła systemowego, pary technologicznej oraz wodoru. Ich elastyczność wspiera integrację sektorów energii i może przyczynić się do stabilizacji systemów elektroenergetycznych o wysokim udziale odnawialnych źródeł energii.

Typowe parametry:

- Moc: 100–300 MWth (20–200 MWe w zależności od konfiguracji)
- Produkty: energia elektryczna + ciepło lub energia elektryczna + wodór

- Główni odbiorcy: zintegrowane przedsiębiorstwa energetyczne, klastry przemysłowe
- Przewaga rynkowa: wyższa efektywność ekonomiczna dzięki wieloproduktowemu profilowi działalności
- Przykłady: IMSR (reaktor na sole stopione), ACP100 (wielozadaniowy LWR), SMART (Korea)

Konstrukcje te mogą elastycznie przełączać się między produkcją energii elektrycznej a ciepła w zależności od sygnałów cenowych lub sezonowego zapotrzebowania, co czyni je atrakcyjnymi na rynkach o zmiennym obciążeniu.

Mikroreaktory i jednostki dla zastosowań zdalnych

Mikroreaktory stanowią dolny zakres skali mocy – zazwyczaj poniżej 10 MWth/MWe – i są przeznaczone dla odizolowanych społeczności, baz wojskowych, zakładów wydobywczych oraz lokalizacji, w których logistyka dostaw paliw kopalnych jest kosztowna lub utrudniona.

Typowe parametry:

- Zakres mocy: 1–10 MWe lub równoważna moc cieplna
- Główni odbiorcy: regiony odległe, sektor obronny, systemy arktyczne i wyspiarskie
- Przewaga rynkowa: możliwość transportu, długie okresy między wymianami paliwa, niewielki ślad przestrzenny
- Przykłady: Westinghouse eVinci, Oklo Aurora, mobilne mikroreaktory Departamentu Obrony USA

Jak ujął to Antti Tarkiainen, starszy inżynier ds. bezpieczeństwa jądrowego w Steady Energy: „SMR-y to praktyczna ewolucja sprawdzonej technologii jądrowej i realnie posuwają się naprzód. To bardzo dobra wiadomość, ponieważ świat i nasze cele klimatyczne wymagają sposobów szybkiego, efektywnego i bezpiecznego wykorzystania energii jądrowej.”

Tabela: Wybrane działające lub rozwijane projekty SMR.

LEU: Low-enriched uranium.

Projekt	Chłodziwo / Moderator	Paliwo	Moc elektryczna / ciepła	Typowe parametry pracy rdzenia (temperatura / ciśnienie)	Uwagi / Zastosowanie
BWRX-300	Woda lekka – chłodziwo i moderator	Konwencjonalne UO ₂ (LEU ≤5%)	~300 MWe	Warunki reaktora wodnego wrzącego (BWR); temperatura nasycenia ~285–290°C; ciśnienie ~7 MPa	SMR do produkcji energii elektrycznej na potrzeby sieci; uproszczona konstrukcja BWR z naturalną cyrkulacją i pasywnymi systemami bezpieczeństwa
NuScale VOYGR	Woda lekka – chłodziwo i moderator (zintegrowany PWR)	Konwencjonalne UO ₂ (LEU ≤5%)	~77 MWe na moduł (do ~462 MWe na elektrownię)	Warunki PWR; temperatura wylotowa z rdzenia ~300°C; ciśnienie systemowe ~12–13 MPa	Modułowy SMR typu PWR z projektem certyfikowanym przez NRC; przeznaczony do elastycznej pracy w sieci i instalacji wielomodułowych
Rolls-Royce SMR	Woda lekka – chłodziwo i moderator (PWR)	Konwencjonalne UO ₂ (LEU ≤5%)	~470 MWe	Warunki PWR; temperatura wylotowa z rdzenia ~300–320°C; ciśnienie systemowe ~15,5 MPa	SMR o większej mocy, ukierunkowany na wdrożenia seryjne; moduły produkowane fabrycznie z naciskiem na powtarzalność i redukcję kosztów
ACP100	Woda lekka – chłodziwo i moderator (zintegrowany PWR)	Konwencjonalne UO ₂ (LEU ≤5%)	~125 MWe	Warunki PWR; temperatura wylotowa z rdzenia ~300°C; ciśnienie systemowe ~15 MPa	Pierwszy komercyjny SMR w Chinach; projektowany do produkcji energii elektrycznej, ciepła systemowego i kogeneracji; jednostka pierwsza w swoim rodzaju w fazie uruchamiania
HTR-PM	Hel jako chłodziwo, grafit jako moderator	Paliwo TRISO, LEU ~8–9% U-235	210 MWe (2 × 250 MWth)	Wlot helu ~250°C, wylot ~750°C; ciśnienie pierwotne ~7 MPa; para wtórna ~567°C / ~13 MPa	Reaktor wysokotemperaturowy do produkcji energii elektrycznej oraz potencjalnie ciepła przemysłowego, wodoru lub pary technologicznej
LDR-50	Woda lekka – chłodziwo i moderator	Konwencjonalne paliwo LEU	~50 MWth (wyłącznie ciepło)	Niskotemperaturowa praca ~150°C; niskie ciśnienie <10 bar (~1 MPa)	SMR wyłącznie ciepłowniczy zoptymalizowany pod kątem ciepłownictwa systemowego; niska temperatura i ciśnienie upraszczają analizę bezpieczeństwa oraz integrację w środowisku miejskim

SMR-y wyłącznie ciepłownicze vs eSMR-y

SMR-y wyłącznie ciepłownicze oraz SMR-y produkujące energię elektryczną (eSMR) reprezentują dwie odmienne strategie technologiczne i ekonomiczne wdrażania małych reaktorów jądrowych. Obie kategorie przyczyniają się do realizacji celów klimatycznych i efektywności energetycznej, jednak są optymalizowane pod kątem różnych profili produkcji oraz odmiennych uwarunkowań rynkowych.

Energetyka jądrowa odpowiada za około 10% światowej produkcji energii elektrycznej, jednak aby skutecznie spowolnić zmiany klimatu, konieczne jest znaczące zwiększenie podaży czystej i niezawodnej energii. Ogrzewanie i chłodzenie stanowią z kolei niemal połowę całkowitego zużycia energii w Unii Europejskiej – jest to sektor wciąż zdominowany przez paliwa kopalne. Dekarbonizacja ciepła staje się zatem strategicznym priorytetem. Zgodnie ze znowelizowaną dyrektywą w sprawie efektywności energetycznej (EED) państwa członkowskie UE muszą do 2030 r. ograniczyć końcowe zużycie energii o co najmniej 11,7% w stosunku do prognozowanych poziomów z 2020 r., co wywiera presję na rządy i przemysł w kierunku wdrażania czystszych i bardziej efektywnych źródeł ciepła

W tym kontekście SMR-y wyłącznie ciepłownicze oraz eSMR-y oferują dwie odrębne ścieżki rozwoju:

- SMR-y wyłącznie ciepłownicze dostarczają energię ciepłą bezpośrednio do systemów ciepłowniczych, procesów przemysłowych oraz zastosowań niskotemperaturowych. Eliminując straty związane z konwersją energii cieplnej na elektryczną, mogą zapewnić wysokoefektywne, lokalne i bezemisyjne ciepło.
- eSMR-y są projektowane przede wszystkim do produkcji energii elektrycznej, jednak ich energia ciepła może być również wykorzystywana w układach kogeneracyjnych (CHP). Ich elastyczność wspiera dekarbonizację systemów elektroenergetycznych oraz umożliwia rozwój hybrydowych systemów energetycznych, w których ciepło stanowi produkt wtórny.

Łącznie obie kategorie poszerzają możliwe role SMR w realizacji europejskich celów w zakresie efektywności energetycznej i klimatu, przy czym jednostki wyłącznie ciepłownicze bezpośrednio adresują największy pojedynczy segment końcowego zużycia energii.

Cecha	SMR ciepłownicze	eSMR
Główny produkt	Wyłącznie energia ciepła (gorąca woda / para)	Energia elektryczna; możliwość wykorzystania ciepła w kogeneracji (CHP) lub przemyśle
Typowe zastosowania	Ciepłownictwo systemowe, przemysł niskotemperaturowy, odsalanie wody	Produkcja energii elektrycznej na potrzeby sieci, zasilanie przemysłu, systemy hybrydowe
Profil efektywności	Bardzo wysoka sprawność dzięki braku strat konwersji energii	Sprawność elektryczna zależna od cyklu; całkowita sprawność wzrasta w trybie CHP
Zakres temperatur	Zazwyczaj nisko- lub średnitemperaturowe ciepło (np. 60–300°C w zależności od projektu)	Szeroki zakres (250–750°C lub więcej w zależności od typu reaktora); zoptymalizowane pod kątem cykli energetycznych
Złożoność instalacji	Uproszczona architektura; mniej systemów pomocniczych (balance-of-plant)	Większa złożoność ze względu na turbiny, generatory i systemy konwersji energii
Elastyczność lokalizacyjna	Wysoka – możliwość lokalizacji blisko odbiorców ciepła	Umiarkowana – ograniczona przez infrastrukturę elektroenergetyczną i wymagania stabilności sieci
Logika ekonomiczna	Niższy CAPEX względem eSMR; opłacalność zależna od gęstości zapotrzebowania na ciepło i wykorzystania w podstawie obciążenia	Wyższy CAPEX; ekonomika zależna od współczynnika wykorzystania mocy, cen energii elektrycznej oraz ewentualnego odbioru ciepła
Aspekty regulacyjne	Potencjalnie uproszczony zakres licencjonowania (eksploatacja wyłącznie ciepła), przy zachowaniu standardów jądrowych	Pełne procedury licencyjne dla elektrowni jądrowe

Choć SMR-y produkujące energię elektryczną przyciągają uwagę mediów, reaktory zaprojektowane wyłącznie do produkcji ciepła ponownie zyskują na znaczeniu dzięki wysokiemu poziomowi bezpieczeństwa, prostszej architekturze oraz potencjalnej konkurencyjności kosztowej. Równolegle rozwijane są ramy regulacyjne dla niskotemperaturowych reaktorów ciepłowniczych i projektów wielomodułowych, co może przyspieszyć licencjonowanie.

Filozofia bezpieczeństwa i wrodzony profil ryzyka

Reaktory ciepłownicze pracują w niższych temperaturach i ciśnieniach niż eSMR-y, co sprzyja bezpieczniejszej eksploatacji i prostszej konstrukcji. Ich jednofunkcyjny charakter ogranicza liczbę systemów krytycznych, co może obniżyć postrzegane ryzyko i upraszczać procesy regulacyjne.

Lokalizacja, powierzchnia zabudowy i możliwość współlokalizacji

Ze względu na ograniczenia przesyłu ciepła, muszą być lokalizowane blisko odbiorców. Mniejszy ślad przestrzenny i niższe wymagania bezpieczeństwa ułatwiają ich wdrażanie w miastach i klastrach przemysłowych.

eSMR-y wymagają integracji z siecią elektroenergetyczną, ale oferują większą elastyczność lokalizacyjną.

Sprawność systemowa

Reaktory ciepłownicze dostarczają energię bezpośrednio, eliminując straty konwersji i osiągając wysoką efektywność lokalnie.

eSMR-y generują energię elektryczną, co wiąże się ze stratami, ale umożliwia przesył, magazynowanie i dywersyfikację przychodów.

Zakres temperatur i parametry pracy

Reaktory ciepłownicze działają w niższym zakresie temperatur i mają prostszą architekturę. eSMR-y obejmują szerszy zakres temperatur oraz bardziej złożoną infrastrukturę (turbiny, systemy elektroenergetyczne), zwiększając funkcjonalność systemową.

Architektura instalacji i złożoność

Reaktory wyłącznie ciepłownicze wykorzystują uproszczoną architekturę obiektu, z mniejszą liczbą systemów pomocniczych (balance-of-plant), w tym systemów pomocniczych i bezpieczeństwa, co wynika z ich jednofunkcyjnego charakteru.

eSMR-y obejmują układy turbina-generator oraz infrastrukturę elektroenergetyczną, umożliwiając świadczenie wieloproduktowych usług energetycznych. Choć zwiększa to złożoność instalacji, jednocześnie podnosi jej funkcjonalność i wartość z punktu widzenia całego systemu energetycznego.

Lokalizacja i integracja

SMR-y wyłącznie ciepłownicze najefektywniej integrują się w lokalizacjach położonych blisko odbiorców ciepła, co czyni je odpowiednimi dla miast i klastrów przemysłowych.

eSMR-y wymagają integracji z siecią elektroenergetyczną, jednak oferują większą elastyczność lokalizacyjną w odniesieniu do odległości od odbiorców ciepła. Umożliwia to ich wykorzystanie w szerszych systemach regionalnych lub krajowych

Elastyczność operacyjna i regulacja obciążenia

SMR-y wyłącznie ciepłownicze są zazwyczaj projektowane z myślą o podążaniu za profilem zapotrzebowania na ciepło, który w systemach ciepłowniczych może zmieniać się sezonowo i dobowo. Integracja z magazynami ciepła pozwala dodatkowo wygładzić profil produkcji i zwiększyć efektywność systemu.

eSMR-y są projektowane do elastycznej pracy w systemach elektroenergetycznych, wspierając regulację obciążenia (load-following), kontrolę częstotliwości oraz uzupełnianie zmiennej generacji z odnawialnych źródeł energii. Taka elastyczność operacyjna zwiększa ich wartość w systemach z wysokim udziałem energii wiatrowej i słonecznej.

Integracja z magazynami energii

SMR-y ciepłownicze dobrze współpracują z magazynami ciepła, umożliwiając oddzielenie produkcji od zapotrzebowania i lepsze wykorzystanie mocy.

eSMR-y mogą integrować się z magazynami energii elektrycznej, produkcją wodoru i paliw syntetycznych, rozszerzając swoją rolę i wspierając integrację sektorów.



Aspekty regulacyjne

Reaktory ciepłownicze mogą korzystać z rozwijanych, „fit-for-purpose” ścieżek licencyjnych dla zastosowań niskotemperaturowych, co potencjalnie skraca procesy regulacyjne. W Finlandii LDR-50 uzyskał w 2025 r. wstępną ocenę regulatora.

eSMR-y podlegają ugruntowanym ramom licencyjnym dla energetyki jądrowej, zapewniając większą przewidywalność, zwłaszcza w dojrzałych jurysdykcjach.

Dojrzałość rynku i ścieżki wdrożeniowe

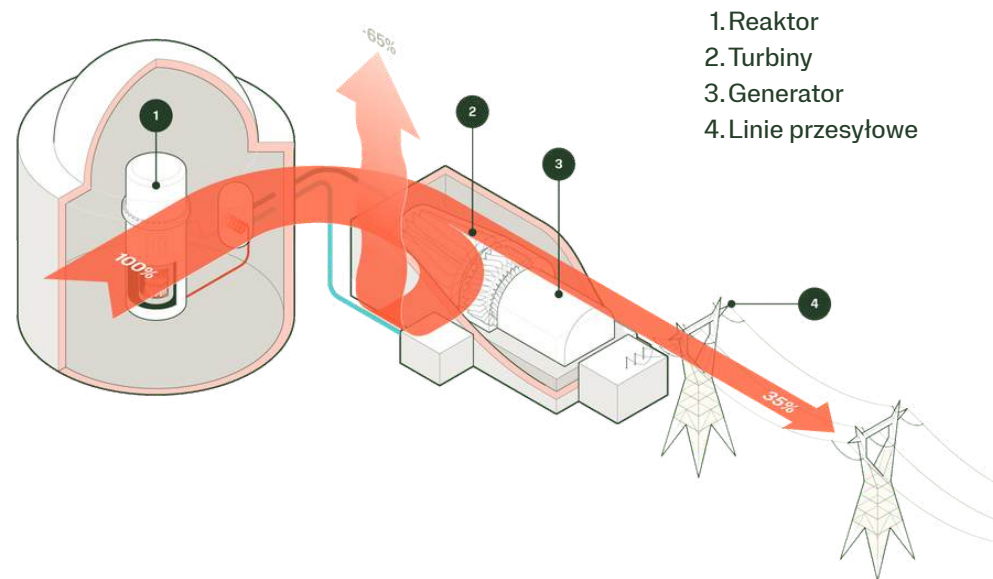
eSMR-y korzystają z wieloletniego doświadczenia operacyjnego w zakresie eksploatacji elektrowni jądrowych oraz z dobrze rozwiniętych struktur rynków energii elektrycznej w wielu państwach. Może to ułatwiać finansowanie oraz wdrażanie projektów w jurysdykcjach dysponujących istniejącymi ramami regulacyjnymi dla energetyki jądrowej.

SMR-y wyłącznie ciepłownicze stanowią bardziej nowatorski segment rynku, którego rozwój napędzany jest rosnącą potrzebą dekarbonizacji sektora ogrzewania. Ich ścieżki wdrożeniowe kształtują się równoległe z nowymi podejściami regulacyjnymi oraz ewolucją modeli biznesowych w sektorze ciepłownictwa systemowego.

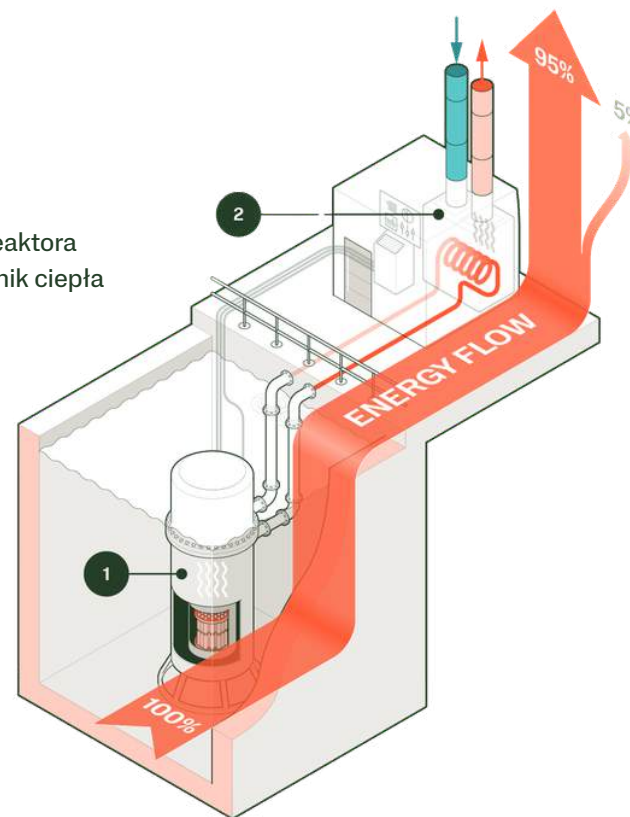
Logika ekonomiczna

SMR-y wyłącznie ciepłownicze oraz eSMR-y funkcjonują w odmiennych modelach ekonomicznych, odzwierciedlających specyfikę rynków, dla których zostały zaprojektowane. SMR wyłącznie ciepłownicze są optymalizowane pod kątem środowisk o wysokiej i stabilnej gęstości zapotrzebowania na ciepło, takich jak sieci ciepłownictwa systemowego czy klastry przemysłowe.

Ich struktura kosztowa korzysta z uproszczonej architektury instalacji, mniejszej liczby systemów pomocniczych (balance-of-plant) oraz braku układów konwersji energii na elektryczność. Przychody opierają się zazwyczaj na długoterminowych kontraktach na dostawę ciepła, co zapewnia przewidywalne przepływy pieniężne oraz wysoki stopień wykorzystania mocy w odpowiednio dobranych lokalizacjach. W rezultacie efektywność ekonomiczna tych jednostek jest ściśle powiązana z lokalnym profilem zapotrzebowania na ciepło, sezonowym wykorzystaniem oraz integracją z istniejącą infrastrukturą ciepłowniczą.



1. Moduł reaktora
2. Wymiennik ciepła



TeSMR-y natomiast są kapitałochłonnymi aktywami zaprojektowanymi z myślą o uczestnictwie w rynkach energii elektrycznej, gdzie przychody zależą od cen energii, współczynnika wykorzystania mocy oraz – w niektórych przypadkach – od rynków mocy lub usług systemowych. Ich wyniki ekonomiczne pozostają pod wpływem warunków pracy sieci elektroenergetycznej, zmienności rynkowej oraz ram regulacyjnych, takich jak umowy zakupu energii (PPA) czy mechanizmy wynagradzania mocy. W trybie kogeneracyjnym (CHP) eSMR-y mogą zwiększać całkowitą sprawność oraz dywersyfikować strumienie przychodów, zwłaszcza tam, gdzie współistnieje zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepło.

W praktyce, SMR-y wyłącznie ciepłownicze koncentrują się na kosztowo efektywnej dekarbonizacji energii cieplnej, podczas gdy eSMR-y dążą do maksymalizacji wartości w wielu segmentach rynku energii. Relatywna atrakcyjność każdego z tych podejść zależy od lokalnych cen energii, struktury popytu, uwarunkowań regulacyjnych oraz długoterminowych celów planowania systemu energetycznego.

Studium systemowe: obszar metropolitalny Helsinek

Badanie przeprowadzone przez VTT, dotyczące integracji dwóch koncepcji SMR-ów z systemem ciepłowniczo-chłodniczym Helsinek, wykazało, że oba projekty przyczyniały się do redukcji emisji CO₂. Jednak w lokalnych warunkach ekonomicznie opłacalny okazał się reaktor wyłącznie ciepłowniczy LDR-50, podczas gdy większy SMR produkujący energię elektryczną napotkał wyzwania związane z niskimi cenami energii elektrycznej oraz zmiennością popytu.

Analizy wrażliwości wykazały, że na wyniki w istotny sposób wpływały takie czynniki jak poziom odbioru ciepła, koszty inwestycyjne oraz warunki rynkowe w sektorze energii. Podkreśla to, że opłacalność wdrożenia SMR-ów zależy przede wszystkim od charakterystyki danego systemu energetycznego, a nie wyłącznie od typu zastosowanego reaktora 1.

Wybór między SMR-em wyłącznie ciepłowniczymi a eSMR-em zależy przede wszystkim od:

- 01** Dominującego zapotrzebowania na energię (ciepło vs. energia elektryczna)
- 02** Gęstości zapotrzebowania oraz bliskości odbiorców
- 03** Warunków pracy sieci elektroenergetycznej i struktury rynku energii
- 04** Otoczenia regulacyjnego
- 05** Długoterminowej strategii integracji systemu energetycznego

Zalety SMR

Wiele korzyści SMR-ów wynika z ich konstrukcji – niewielkiej i modułowej. Wyzwania dotyczą natomiast usprawnienia procesów licencyjnych, rozwoju globalnych łańcuchów dostaw oraz budowy przejrzystego dialogu między regulatorami, dostawcami, projektantami i klientami.

01 Niższe nakłady inwestycyjne początkowe

Prefabrykowane jednostki SMR mogą być wytwarzane w zakładach produkcyjnych, a następnie transportowane i instalowane na miejscu inwestycji, co czyni je bardziej przystępnymi kosztowo w budowie niż duże bloki jądrowe. Standaryzacja ogranicza ryzyko związane z indywidualnym dostosowywaniem projektów, obniża koszty budowy oraz skraca harmonogram realizacji.

02 Skalowalność

W miarę wzrostu zapotrzebowania możliwe jest stopniowe dodawanie kolejnych modułów SMR, zamiast realizowania jednej dużej inwestycji na początku. Ogranicza to początkowe nakłady kapitałowe oraz pozwala dostosować rozwój mocy wytwórczych do lokalnych potrzeb energetycznych.

03 Elastyczność lokalizacyjna

Dzięki mniejszemu śladowi przestrzennemu oraz niższej mocy jednostkowej (elektrycznej lub cieplnej), SMR mogą być lokalizowane bliżej odbiorców energii, w mniejszych systemach elektroenergetycznych, w regionach odległych lub na terenach przemysłowych, gdzie budowa dużych elektrowni jądrowych jest nieuzasadniona lub niemożliwa.

04 Różnorodność technologiczna

Zróznicowanie technologiczne SMR-ów umożliwia szerokie zastosowania: od reaktorów lekkowodnych do produkcji energii i ciepła, przez wysokotemperaturowe jednostki dla przemysłu i wodoru, po rozwiązania dla zastosowań morskich i zdalnych. SMR-y stanowią kompleksowe narzędzie dekarbonizacji nie tylko elektroenergetyki, ale także sektorów energochłonnych.

05 Bezpieczeństwo dzięki uproszczonej konstrukcji

Wiele koncepcji SMR wykorzystuje pasywne systemy bezpieczeństwa oparte na naturalnych procesach fizycznych, takich jak grawitacja, konwekcja czy naturalna cyrkulacja, zamiast pomp, zasilania zewnętrznego czy interwencji operatora. Niższa moc jednostkowa oraz – w niektórych projektach – niższe ciśnienia robocze zwiększają marginesy bezpieczeństwa i ograniczają prawdopodobieństwo oraz potencjalne skutki awarii.

06 Ograniczone zużycie paliwa

SMR-y często wymagają mniejszych ilości paliwa oraz umożliwiają dłuższe okresy między wymianami paliwa. Rzadsze postoje paliwowe upraszczają eksploatację i mogą zwiększać niezawodność, szczególnie w lokalizacjach odległych lub trudno dostępnych.



Jak dokonać właściwego wyboru

Właściwy wybór technologii SMR jest procesem uporządkowanym i wieloetapowym:

- 01 Zaczynaj od potrzeb**

Określ profil zapotrzebowania na ciepło, wymagany poziom temperatury oraz oczekiwania dotyczące niezawodności dostaw.
- 02 Zrozum uwarunkowania lokalizacyjne**

Przeanalizuj dostępny teren, logistykę, punkty integracji z istniejącą infrastrukturą oraz ograniczenia regulacyjne. Rozważaj wyłącznie te projekty, które są zgodne z warunkami technicznymi i środowiskiem formalno-prawnym danej lokalizacji.
- 03 Kluczowe kryteria oceny**

Zweryfikuj poziom gotowości technologicznej dostawcy, dojrzałość łańcucha dostaw, kompletność dokumentacji bezpieczeństwa, modele kontraktowe oraz strategie dotyczące paliwa i gospodarki odpadami.
- 04 Przeprowadź studium wykonalności**

Wykonaj modelowanie integracji z siecią, przeanalizuj CAPEX i OPEX, oceń wykonalność procesu licencyjnego oraz opracuj realistyczne koncepcje zagospodarowania terenu. Pozwoli to określić zasadność techniczną i ekonomiczną projektu.
- 05 Przygotuj się do procesu licencyjnego i zakupowego**

Rozpocznij wczesny dialog z regulatorem, zsynchronizuj działania kluczowych interesariuszy oraz rozpocznij prace przedkontraktowe.



Kluczowe kwestie dla operatorów sieci ciepłowniczych

Small modular reactors (SMRs) designed for district heating can reduce emissions, stabilize heat supply, and offer long-term price security. However, integrating a nuclear heat source into an existing municipal network requires careful assessment across technical, economic, and safety dimensions. This page outlines the essential considerations for district-heating operators evaluating SMR deployment.

Parametry techniczne

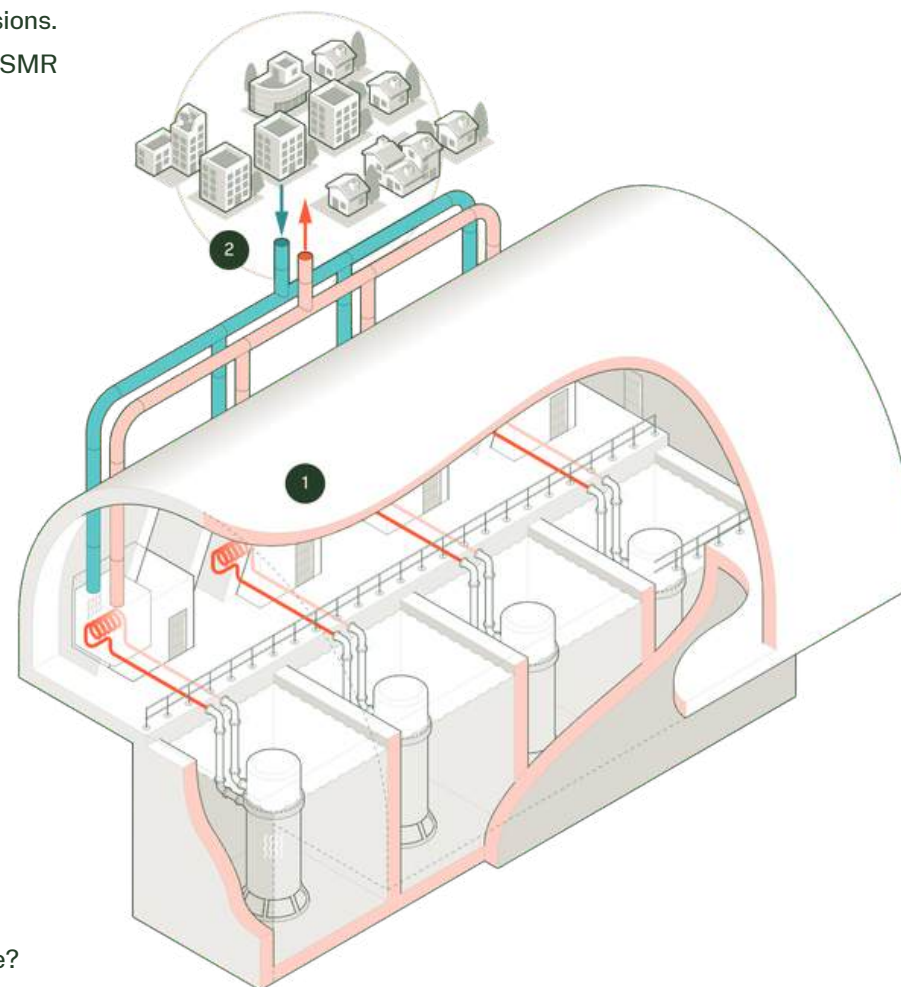
- Czy jednostka może niezawodnie dostarczać temperaturę ≥ 120 °C?
- Czy odpowiada maksymalnemu i minimalnemu zapotrzebowaniu mojej sieci?
- Czy umożliwia regulację mocy w cyklu dobowym i sezonowym?
- Czy strategia sterowania jest bezborowa / o niskim stopniu złożoności?

Aspekty ekonomiczne

- Czy kluczowe komponenty są komercyjnie dostępne?
- Jaki jest poziom CAPEX / OPEX?
- Czy moduły można transportować drogą lądową bez większych wyzwań logistycznych?
- Czy projekt jest rzeczywiście modułowy i powtarzalny?

Bezpieczeństwo

- Czy SMR spełnia funkcje bezpieczeństwa określone w MAEA SSR-2/1 Rev.1?
- Czy systemy wyłączenia, odbioru ciepła powyłączeniowego i izolacji są zróżnicowane i niezależne?
- Czy wymagania lokalizacyjne odpowiadają istniejącym źródłom ciepła systemowego?



1. Gorąca woda z zakładu
2. Ciepło jest dystrybuowane do sieci ciepłowniczej

Studium wykonalności

Dekarbonizacja ciepła to nie tylko kwestia technologii – to przede wszystkim podejmowanie właściwych decyzji, we właściwym miejscu i we właściwym czasie. Każde miasto, każda gmina i każdy system energetyczny są unikalne – posiadają własną infrastrukturę sieciową, profile zapotrzebowania oraz odmienne cele rozwojowe. Studium wykonalności pozwala przekształcić pytania w klarowny obraz realnych możliwości.

Wielu dostawców reaktorów oferuje płatne lub bezpłatne studia wykonalności wspierające proces decyzyjny. Dobrze przygotowane studium wykonalności daje podstawy do świadomego podjęcia decyzji o kontynuowaniu projektu (lub rezygnacji), zapewniając pełną przejrzystość w zakresie ryzyk, szans oraz kompromisów.

Studium wykonalności opiera się zazwyczaj na szczegółowym opisie istniejącego systemu ciepłowniczego klienta, obejmującym m.in. historyczne dane dotyczące zużycia ciepła, potencjał produkcji ciepła, dynamikę lokalnego rynku ciepła oraz inne czynniki niezbędne do przeprowadzenia symulacji i modelowania pracy reaktora SMR LDR-50 w ramach danej sieci.

Studium wykonalności powinno zapewnić:



Świadoma decyzja

Uzyskaj przejrzysty i szczegółowy raport oceniający, czy LDR-50 jest właściwym rozwiązaniem dla Twoich potrzeb, zapewniający pewność przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnej w obszarze energetyki.



Dopasowanie techniczne

Potwierdzona zgodność z parametrami Twojej sieci, profilem zapotrzebowania oraz lokalnymi uwarunkowaniami.



Analiza kosztów

Uzyskaj rzetelne zrozumienie struktury nakładów inwestycyjnych oraz operacyjnych, prowadzących do obniżenia uśrednionego kosztu ciepła (LCOH) oraz poprawy efektywności operacyjnej.



Potencjał wpływu

Poznaj skwantyfikowane korzyści w zakresie redukcji emisji, poprawy bezpieczeństwa energetycznego oraz wartości dla lokalnej społeczności.

Spotkanie
inaugurujące

Podpisanie umowy
o zachowaniu
poufności (NDA)

Analiza danych klienta

Prace analityczne i
modelowanie

Raport
końcowy

Czy energetyka jądrowa może być mała, lokalna i powszechna?

1 Katsiotis

2 OECD Nuclear Energy Agency

Niniejszy przewodnik miał na celu odpowiedzieć na proste, lecz doniosłe pytanie: czy małe reaktory modułowe (SMR) mogą przekształcić energetykę jądrową z ograniczonej liczby dużych, scentralizowanych projektów w rozwiązanie powtarzalne, lokalne i szeroko wdrażalne?

Analiza projektów reaktorów, segmentacji rynku, porównań między produkcją ciepła a energii elektrycznej oraz ram decyzyjnych prowadzi do jednej konkluzji: tak. Projekty SMR oferują skalowalne, elastyczne i potencjalnie szeroko adaptowalne rozwiązania w zakresie energetyki jądrowej. Fakt, że niektóre jednostki SMR są już eksploatowane komercyjnie, potwierdza, że nie są one wyłącznie koncepcjami teoretycznymi.

Od megaprojektów jednorazowych do powtarzalnej infrastruktury

Organizacje międzynarodowe konsekwentnie wskazują SMR jako odpowiedź na strukturalne wyzwania tradycyjnych projektów jądrowych: indywidualne projektowanie, budowę dostosowaną do konkretnej lokalizacji, długie harmonogramy realizacji oraz rosnące koszty. W założeniu modułowa konstrukcja i powtarzalność projektów pozwalają SMR funkcjonować bardziej jak produkt infrastrukturalny niż jak unikatowy megaprojekt.

Z punktu widzenia decydentów kluczowe jest to, czy technologia może być licencjonowana, produkowana i montowana w ramach usprawnionych procesów, a także czy każda kolejna realizacja przynosi poprawę w zakresie kosztów, harmonogramu i ograniczania ryzyka.

Dlaczego ciepło zmienia równanie SMR

Ogrzewanie i chłodzenie odpowiadają za około połowę końcowego zużycia energii w Europie, a sektor ten wciąż w dużym stopniu opiera się na paliwach kopalnych. Jednocześnie w wielu regionach funkcjonują już systemy ciepłownictwa sieciowego, które wymagają wysokiego stopnia wykorzystania mocy, niezawodnych oraz niskoemisyjnych źródeł ciepła – często zlokalizowanych blisko centrów zamieszkania.

W tym kontekście SMR-y wyłącznie ciepłownicze oraz jednostki kogeneracyjne (CHP) zasadniczo zmieniają perspektywę:

- eliminują straty związane z konwersją energii cieplnej na elektryczną,
- odpowiadają na lokalne zapotrzebowanie na ciepło, a nie wyłącznie na potrzeby krajowych rynków energii elektrycznej,
- mogą bezpośrednio zastępować kotły opalane paliwami kopalnymi, umożliwiając natychmiastową redukcję emisji.

Tam, gdzie SMR-y są dopasowane do rzeczywistych lokalnych potrzeb, stanowią wiarygodną, lokalną i komplementarną wobec odnawialnych źródeł energii ścieżkę transformacji.

Gotowość ma większe znaczenie niż ambicja

Sama ambicja nie rozwiązuje strukturalnych wyzwań energetyki jądrowej: długich procesów licencyjnych, projektów dopasowanych do lokalizacji, ryzyk

Potencjał rynkowy SMR-ów i trendy globalne


- 300 mld USD – szacowany globalny potencjał rynku SMR do 2040 r 1,
- 15 Gt CO₂ – potencjał redukcji emisji, jeśli SMR-y zostaną wdrożone zgodnie z założoną skalą 2,
- Ponad 100 projektów SMR rozwijanych obecnie na świecie

budowlanych i rosnących kosztów. W tym sensie SMR-y spełnią swoją obietnicę tylko wtedy, gdy będą funkcjonować nie jako jednorazowe demonstratory, lecz powtarzalne produkty infrastrukturalne. Przy zdyscyplinowanym wdrożeniu, realistycznych oczekiwaniach i koncentracji na powtarzalności mogą stać się skalowalnym, lokalnym i niezawodnym elementem systemu czystej energii.

Ich upowszechnienie zależy mniej od ambitnych deklaracji, a bardziej od konsekwentnej realizacji:

- standaryzowanych projektów wdrażanych w wielu lokalizacjach,
- zharmonizowanych podejść licencyjnych,
- jasno określonych ról interesariuszy,
- koncentracji na powtarzalności zamiast demonstracjach.

Nie oznacza to rezygnacji z innowacji – lecz uznanie, że kluczowa może być zdolność do skutecznej realizacji projektów. SMR nadchodzą – czy jesteś gotowy?



Czy chcesz dowiedzieć się więcej o SMR-ach wyłącznie ciepłowniczych i reaktorze LDR-50 lub być na bieżąco z najnowszymi informacjami od Steady Energy?

Odwiedź stronę www.steadyenergy.com i zapisz się do naszego newslettera.



The world of nuclear energy.

Canada 🇨🇦

- CANDU reactor heritage
- Strong regulatory framework for SMRs
- Focus on off-grid, Indigenous, and industrial applications

United States 🇺🇸

- Birthplace of commercial nuclear power (Shippingport, 1957)
- Largest operating nuclear fleet in the world
- SMR designs: NuScale, GE Hitachi (BWRX-300), DoD microreactor programs

UK 🇬🇧

- Early nuclear pioneer (Calder Hall, 1956)
- Nuclear central to net-zero strategy
- SMR designs: Rolls-Royce SMR

Sweden 🇸🇪

- Longstanding nuclear fleet
- Reversal of phase-out policy: Nuclear returning as climate infrastructure
- Interest in SMRs for steel, data centers, and district heating

France 🇫🇷

- ~70% of electricity from nuclear
- Centralized, standardized reactor fleet
- Strong public acceptance and operational excellence
- Exploring SMRs for industrial heat and exports
- SMR designs: Calogena's CAL30

South Africa 🇿🇦

- Only nuclear plant in Africa (Koeberg)
- Past PBMR (pebble-bed) SMR experience
- Renewed interest in SMRs

Finland 🇫🇮

- Home to Onkalo, the world's first deep geological nuclear waste repository
- SMR designs: Steady Energy's LDR-50

China 🇨🇳

- Fastest nuclear build program globally (state driven)
- High-temperature reactors for industrial heat
- SMR designs: ACP100 under construction

India 🇮🇳

- Indigenous PHWR reactor program; nuclear supporting large, growing populations
- Nuclear as part of long-term development strategy
- Exploring smaller reactors for regional grids

Russia 🇷🇺

- World's first nuclear power plant (Obninsk, 1954)
- First operational SMR: Floating nuclear plant Akademik Lomonosov
- SMRs powering Arctic and remote regions

Japan 🇯🇵

- Advanced safety culture and research
- Exploring next-gen and smaller reactors

Republic of Korea 🇰🇷

- One of the world's most efficient nuclear construction programs
- Highly standardised reactor designs (APR-1400)
- Successful international export projects

Cecha	Reaktory SMR ciepłownicze (heat-only SMRs)	eSMR (SMR produkujące energię elektryczną)
Produkowany typ energii końcowej	Wyłącznie energia cieplna (gorąca woda / para)	Energia elektryczna; ciepło dostępne w kogeneracji (CHP) / do zastosowań przemysłowych
Typowe zastosowania	Ciepłownictwo systemowe, przemysł niskotemperaturowy, odsalanie	Wytwarzanie energii elektrycznej na potrzeby sieci, zasilanie przemysłu, hybrydowe systemy energetyczne
Profil sprawności	Bardzo wysoka sprawność dzięki braku strat konwersji na energię elektryczną	Sprawność elektryczna zależna od zastosowanego obiegu; sprawność całkowita rośnie w trybie kogeneracyjnym (CHP)
Zakres temperatur	Zwykle ciepło nisko- i średniotemperaturowe (np. 60–300°C w zależności od projektu)	Szeroki zakres (250–750°C lub więcej, w zależności od typu reaktora); optymalizacja pod kątem obiegów energetycznych
Złożoność instalacji	Uproszczone systemy; mniej elementów części niejądrowej (balance of plant)	Większa złożoność ze względu na turbiny, generatory i układy konwersji energii
Wymagania sieciowe	Brak – możliwość pracy poza siecią elektroenergetyczną lub w lokalizacjach o słabej infrastrukturze sieciowej	Wymaga przyłączenia do sieci elektroenergetycznej, chyba że pracuje w trybie wyspowym
Elastyczność lokalizacyjna	Wysoka – możliwość lokalizacji w pobliżu centrów zapotrzebowania na ciepło	Umiarkowana – ograniczona dostępnością infrastruktury elektroenergetycznej i wymogami stabilności sieci
Logika ekonomiczna	Niższe nakłady inwestycyjne (CAPEX) względem eSMR; opłacalność zależna od zapotrzebowania na ciepło i pracy w podstawie obciążenia	Wyższy CAPEX; opłacalność zależy od współczynnika wykorzystania mocy, cen energii elektrycznej oraz ewentualnego odbioru ciepła
Uwarunkowania regulacyjne	Potencjalnie węższy zakres licencjonowania (eksploatacja wyłącznie cieplna), przy zachowaniu standardów jądrowych	Pełne licencjonowanie elektrowni jądrowej, w tym systemów elektrycznych i wymogów bezpieczeństwa sieci
Rola w dekarbonizacji	Bezpośrednie zastąpienie kotłów na paliwa kopalne (węgiel, gaz) w sektorze ciepłowniczym	Niskoemisyjna energia elektryczna dla systemów elektroenergetycznych; możliwość dostarczania ciepła jako produktu wtórnego

The world of nuclear energy.

Established nuclear leaders



- ~70% of electricity from nuclear
- Strong public acceptance
- Exploring SMRs for industrial heat and exports
- SMR designs: Calogena's CAL30



- Birthplace of commercial nuclear power
- Largest operating nuclear fleet in the world
- SMR designs: NuScale, GE Hitachi (BWRX-300)



REP. OF KOREA

- One of the world's most efficient nuclear construction programs
- Highly standardised reactor designs (APR-1400)
- International export projects

Advanced nuclear states

Growth and strategic expansion

Examples: Some Active or Emerging SMR Designs.

SMR design	Coolant / Moderator	Fuel	Electrical (or Thermal) Output	Typical Core / Output Conditions (Temp / Pressure)	Notes / Use Cases
BWRX-300	Light water coolant & moderator	Conventional UO ₂ (uranium dioxide) fuel	~ 300 MWe	Water-steam cycle; natural circulation cooling; similar pressure regime as conventional boiling-water reactors (steam-water medium-pressure)	Compact SMR for grid electricity generation, baseload or load-following; modular construction aiming at lower capital cost and simpler passive safety systems.
HTR-PM	Helium coolant, graphite moderator, uranium fuel in TRISO/pebble-bed form (Wikipedia)	Low-enriched uranium, typically ~8-9% U-235	210 MWe (via two 250 MWth modules feeding one turbine)	Reactor helium inlet ~ 250 °C, outlet ~ 750 °C; primary coolant pressure ~ 7.0 MPa; steam generator output ~ 567 °C / ~13 MPa (for the secondary side) (Wikipedia)	High-temperature SMR suitable not only for electricity but potentially for industrial heat, process steam, hydrogen production, or other high-temperature heat applications.
LDR-50	Light-water cooled	Conventional low-enriched uranium (LEU) fuel (as in many existing reactors)	– (user-defined; heat-only reactor)	~ 150 °C, pressure < 10 bar (≈1 MPa) (per your draft)	Heat-only SMR optimized for district heating or low-temperature industrial heating; modular and compact, with inherent safety benefits due to low-pressure, low-temperature design.

SMR Design	Reactor Type	Technology Readiness Level (TRL)	Safety Demonstration Maturity	Performance Validation	Design Maturity & Engineering	Fuel Qualification Status	Component Testing Status	Modeling & Simulation Validation
NuScale VOYGR	Integral PWR	8-9	Extensive testing, NRC-certified	Proven scalability; full-scale tests	Fully engineered; certified design	Standard LEU qualified	Major components tested	Validated simulation suite
GE Hitachi BWRX-300	Boiling Water Reactor	8	Passive systems validated from ESBWR lineage	High efficiency demonstrated	UK GDA Step 2 completed	Standard BWR LEU	Commercially adapted components	Regulatory review ongoing
X-energy Xe-100	HTGR	7-8	Robust behaviour under stress; inherent high-temp stability	High-temperature output proven	NRC application filed	TRISO fuel on licensing pathway	Advanced component development	Advanced modeling validated
Terrestrial Energy IMSR	Molten Salt Reactor	6-7	Strong inherent safety features	Thermal output validated	Vendor Design Review complete (Canada)	Molten-salt fuel under review	Early-stage testing	Limited validation
TerraPower Natrium	Sodium Fast Reactor	7	Advanced passive safety systems	Hybrid thermal + storage output	Construction underway (Wyoming)	Fuel under development	Progressing	Modeling progressing
Rolls-Royce SMR	PWR	7-8	Factory-built safety strategy	Flexible modular performance	UK GDA Step 2 complete	Standard LEU planned	Pre-qualified components	Ongoing modeling
Steady Energy LDR-50	Low-temperature water-cooled reactor (subcritical pressure, heat-only SMR)	9	Passive heat removal enabled by low operating temperature and pressure	Performance based on well-understood low-temperature reactor physics; validated via full-temperature loop tests	Engineering design complete; First-of-a-kind demonstration targeted for late 2020s (Finland)	Standard LEU fuel	Prototype systems tested	Thermal-hydraulic models validated for district-heating duty cycles

Table: Some active or emerging SMR designs.

Category	Key Attribute	Why It Matters for DH Operators
Thermal Output	~50 MW th	Sized to match typical Finnish/European urban DH network blocks; can be deployed modularly to scale with demand.
Outlet Temperature	≈ 120–150 °C (design target for DH)	Meets and exceeds the 115 °C production standard in Finnish networks; compatible with existing primary circuits.
Coolant	Low-temperature water	Simple, conventional, and familiar medium; no exotic coolants → easier integration and operator acceptance.
Operating Pressure	<10 bar	Dramatically reduces risk and regulatory burden; simplifies installation in urban or near-urban sites.
Reactor Type	Low-temperature district heating reactor (LT-SMR)	Purpose-built for heating, eliminating unnecessary electrical-generation complexity.
Safety Approach	Passive heat removal & “walk-away safe” design	Suitable for siting inside or very near cities; reduces emergency-planning requirements and public-acceptance barriers.
Fuel	Standard, low-enriched uranium (LEU)	No novel fuel cycle; established supply chains; predictable costs.
Refuelling Interval	Multi-year (≈ 2–5 years)	Minimises downtime and OPEX; aligns with DH off-season maintenance windows.
Footprint	Very compact below-grade installation	Allows siting near existing DH plants → minimal new pipeline capex and thermal losses.
Modularity	Factory-fabricated unit	Shorter construction times, predictable costs, and replicable deployment across cities.
Load-following	Designed for seasonal and diurnal flexibility	Matches real DH demand profiles without needing large backup heat sources.
Integration	Water interface customised for DH	Easy integration with heat-exchanger stations and thermal storage assets.

LDR-50

Modern nuclear plants are engineering marvels, but their increasing complexity often leads to costly delays and inefficiencies. At Steady Energy, we believe the future of nuclear energy lies in going back to the basics - simplification without compromise.

The LDR-50 reactor embodies this philosophy. Its low operating temperature and pressure, without a turbine cycle, make everything simpler from construction to operation and safety.

Purpose-built for heat, each reactor module produces 50 megawatts of thermal power and delivers hot water (125°C) to the heating network. The reactor can operate either as a steady baseload unit at nominal power or at partial load to meet the varying need of heat.

The central feature of the design is an integrated dual-vessel configuration comprising an inner Reactor Pressure Vessel (RPV) and an outer Containment Vessel (CV), with an annular gap between them partially filled with water. This configuration forms a passive residual heat removal system that transfers heat from the core to the reactor pool during abnormal operating conditions. The RPV includes the reactor core and internals, main heat exchangers, the control rod system (CRS), core instrumentation, and a gas volume acting as the pressurizer.

Heat is transferred to the district heating network through a secondary circuit. A single plant can house one or several independent reactor units, offering flexibility for different energy needs. Placed underground, the LDR-50 fits right into the urban energy landscape.

