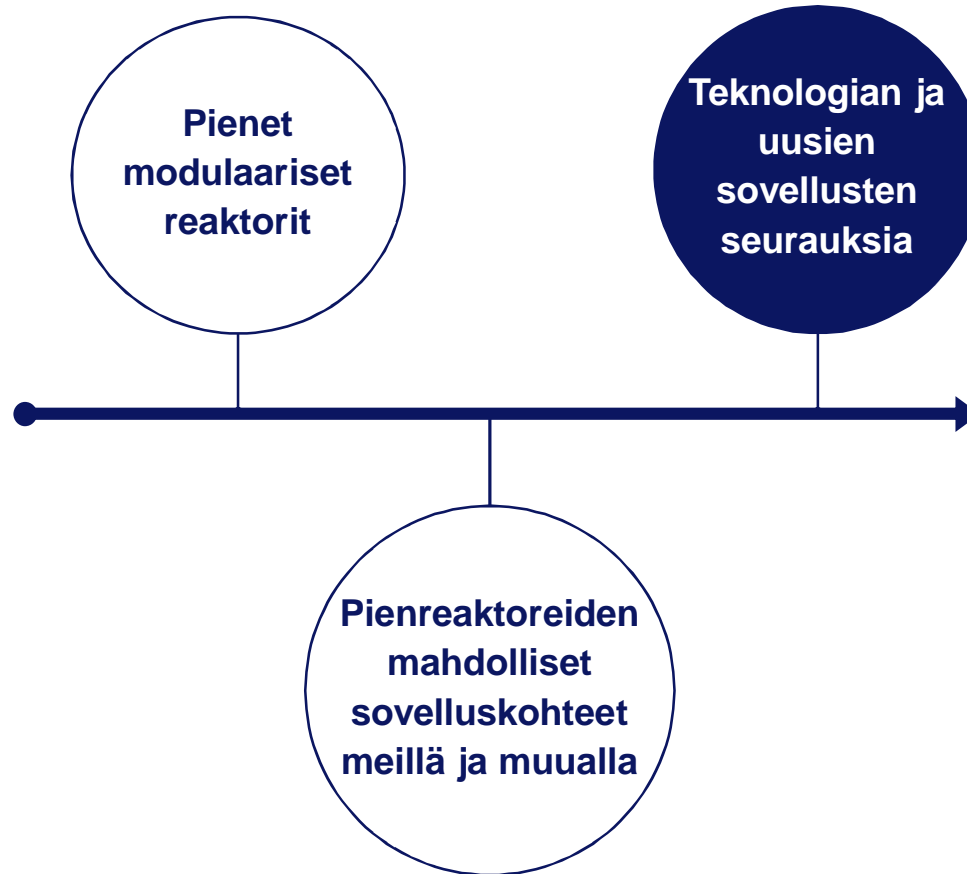


Pienet modulaariset ydinreaktorit

TkT Ville Tulkki
Erikoistutkija
Ydinturvallisuus
VTT Oy

Esityksen sisältö



Mitä pienreaktorit ovat?

- Teho kymmeniä tai muutamia satoja megawatteja
- Pienemmät off-grid-sovelluksiin, käytännössä sähköverkon piirissä olevat reaktorit suuremmasta päästä

”PIENIÄ”

SMR
Small Modular
Reactors

MODULAA-
RISIA

REAKTO-
REITA

- Suuret komponentit kootaan tehtaalla
- Rahdattavissa paikan päälle
- Samassa laitoksessa voi olla useita reaktorimoduuleja

- Ydinreakteoreita, monia designeja suunnitteilla
- ...keskitymme nyt lähiaikoina relevantteihin...

Globaali kuva

Kanada

- Useita reaktoreita esilisensioinnissa
- Pyrkii SMR-teknologiahubiksi

Venäjä

- Liikuteltavat lauttareaktorit
- RITM-200 laivareaktori soveltuisi myös maakäyttöön

Britannia

- SMR-kilpailu käynnissä
- Rolls Royce "SMR"

Etelä-Korea

- SMART

Yhdysvallat

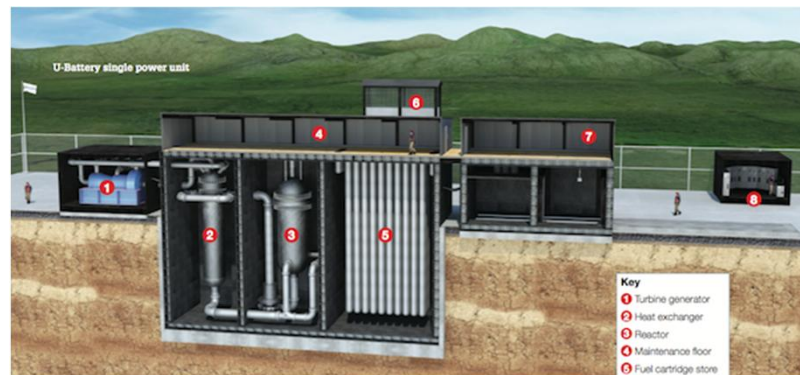
- NuScale-pienreaktori luvitusprosessissa

Kiina

- Useita projekteja
- HTR-PM korkean lämpötilan kuulakekoreaktori valmis 2018
- Kaukolämpöreaktorit

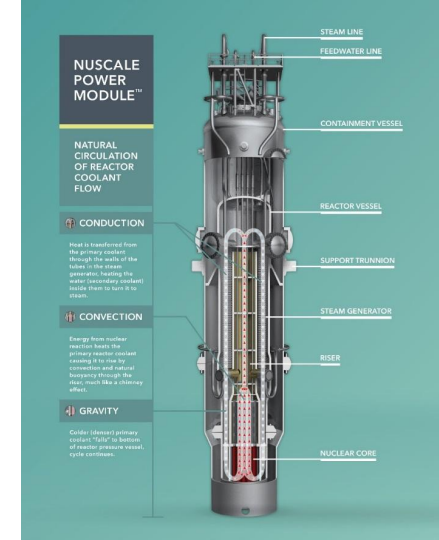
Off-grid ja lautat

- Tyypillinen kokoluokka mikä tulee mieleen kun puhutaan ”pienistä ydinreaktoreista”
- Off-grid-sovellukset
 - Paikalle kuljetettavat muutaman MWe:n reaktorit
 - ~10 000 asukkaan yhteisöt, kaukaiset kaivokset
- Lauttareaktorit
 - Rannikolle hinattavat lautalla olevat voimanlähteet, kymmeniä – sata MWe
 - ~100 000 asukkaan yhteisöt
- Soveltuvat alueille jossa ei yhteyttä laajempaan sähköverkkoon



Kevytvesireaktorit

- Pohjautuvat nykyisissä voimalaitoksissa käytettyyn kevytvesiteknologiaan
- Yksittäiset reaktorit pieniä (1/10 – 1/20 nykyisistä)
- Turvallisuus mahdollisimman pitkälti pohjaisi fysikaalisiin prosesseihin aktiivisten laitteiden (esim pumput) sijaan
- Sähköntuotannossa monta reaktoria rinnan
- NuScale 12*50 MWe reaktoria = 600 MWe voimala
- Lämmöntuotannossa tarvetta vastaava koko
- Kaukolämpöreaktorit
- Teollisuuden prosessit <300 C



China plans demonstration nuclear heating project

12 February 2018

A feasibility study on constructing China's first nuclear plant for district heating is being carried out by China General Nuclear (CGN) and Tsinghua University. The plant would use the domestically-developed NHR200-II low-temperature heating reactor technology.

An artist's impression of a plant based on the NHR200-II reactor (Image: CGN)

Related Stories

- Finnish cities might consider SMRs for district heating
- Czech reactors could supply heat

WNA Links

- Nuclear Power in China
- Nuclear Process Heat for Industry

Related Links

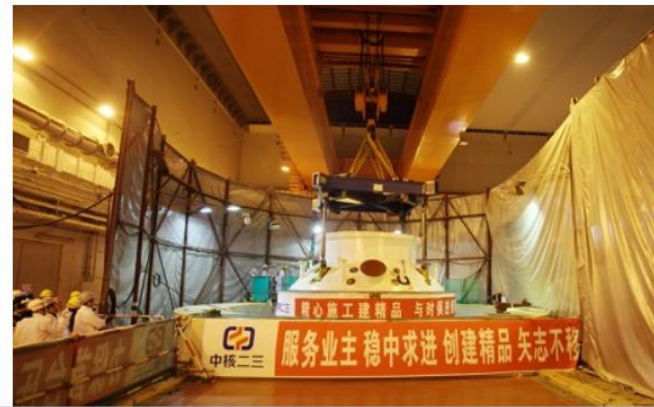
Korkean lämpötilan reaktorit

- Kaasun (CO₂, helium) käyttäminen jäähdytteenä mahdollistaa paljon kevytvesireaktoreita korkeammat lämpötilat
- Brittiläiset voimalat, useita laitoksia muuallakin 1970-80-luvuilla
- Mahdollisuus poistaa jälkilämpö johtumalla
- Kiinalainen HTR-PM demolaitos käyntiin tänä vuonna
- ~Hanasaari B:n kokoluokka
- Korkean lämpötilan prosessilämpö, plug-in korvaus hiili-CHP-laitoksille
- Lämmönlähde vähäpäästöisen vedyn tuotannolle

First HTR-PM vessel head in place

04 January 2018

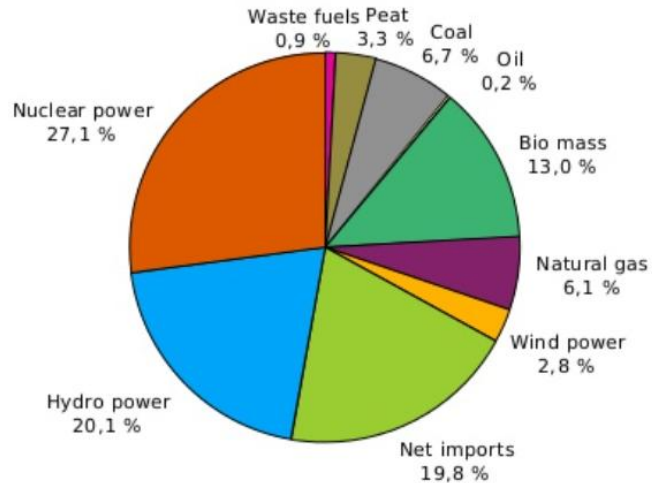
The pressure vessel head has been installed at one of the two high-temperature gas-cooled reactor units that make up the demonstration HTR-PM plant under construction at Shidaowan in China's Shandong province.



<http://www.world-nuclear-news.org/NN-First-HTR-PM-vessel-head-in-place-0401185.html>

Pienreaktorit ja Suomi: mitkä olisivat todennäköiset sovelluskohteet

Suomen sähköntuotanto 2015



kuvan lähde Energiateollisuus



Yritys	Tonnina CO2 2015	Ala
SSAB	4 017 708	Steel
Neste	2 912 592	Refinery
Helen	2 907 644	Heat and power
Fortum Power and Heat	1 263 101	Heat and power
Turun Seudun Energiantuotanto	1 106 338	Heat and power
Vaskiluodon Voima	1 077 156	Heat and power
Stora Enso	1 014 171	Biocompany
Outokumpu Stainless	708 526	Steel

Joitain ajatuksia turvallisuudesta (Safety, Security, Safeguards)

- Riippumatta teknologiasta, ydinvoimaloilta vaaditaan korkeaa turvallisuuden tasoa
- Pienreaktoreilla mahdollisesti helpommin todennettavissa
- Sähköntuotannossa joustavammat
- Käyttö rajoitetulla sähköverkolla, turvallisuudesta huolehtiminen poikkeustilanteissa
- Kyberturvallisuus erityisesti jos automaattista kuormanseurainta uusiutuvien tukemiseen
- Puhtaasti taloudellisista syistä tuskin näemme ydinreaktoria joka kellarissa
- Teollisuuslaitoskokoa – suurimmat lämmön käyttäjät
- Lämpöreaktoreiden sovellukset verrattain lähellä käyttöä tuovat uusia haasteita
- Teollisuuslaitos
- Asutus

Joitain ajatuksia turvallisuudesta (Safety, Security, Safeguards)

- Ydinturvallisuuden ohella lämpölaitoksien sijoittamisen isoksi kysymyksenasetteluksi voivat muodostua ulkoiset uhat ja ihmisten käyttäytyminen
- Terrorismi, sotatoimet
- Ihmisten käyttäytyminen kriisitilanteessa
- Lämpöreaktoreilla saattaisi olla tarkoituksenmukaista huolehtia käytetyn polttoaineen säilytys keskitetysti muualla
- Kuten nyt Ruotsissa, Venäjällä, jne
- Käytetyn polttoaineen kuljetus

– Suunnittelimme reaktorin sillä ajatuksella, että se on turvallinen, vaikka terroristit soluttautuisivat henkilökuntaan, sanoo reaktorin kehitystyössä varaprojektipäällikkönä työskennellyt Matti Hannus.

1980-luvun SECURE-kaukolämpöreaktori
<https://yle.fi/uutiset/3-10065802>

Yhteenvetona

- Pienreaktorit uusi trendi ydinvoimassa perinteisten isojen laitosten rinnalla
- Eri filosofia valmistuksessa, mahdollisesti käyttösovelluksissa
- Demonstraatiolaitokset luvituksessa ja rakenteilla
 - HTR-PM tänä vuonna, kaukolämpöreaktori 2020, NuScale 2026...
- Lämpösovelluksilla paljon mahdollisuuksia Pariisin velvoitteiden täyttämiseksi
- Uusia vaatimuksia ydinlaitoksille



www.vttresearch.com

#vttpeople / @VTTFinland