

SMR - Små modulära reaktorer och ny planerbar elproduktion

Pär Olsson

Institutionen för Fysik

Kärnenergiteknik

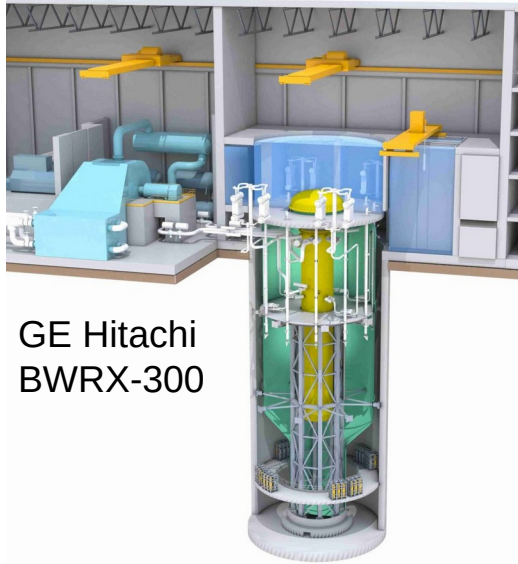
KTH Royal Institute of Technology

Stockholm, Sweden

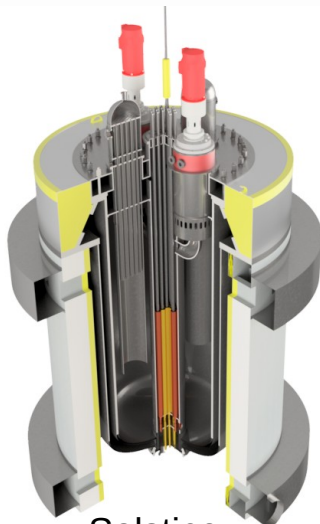
polsson@kth.se



- Koldioxidfri och planerbar resurs med betydande potential för att bromsa klimatförändringarna
 - **perfekt komplement till förnybar energi**
- Stora kärnkraftsbyggen har haft svårt att bli ekonomiskt konkurrenskraftiga i väst
 - mycket stora kapitalkostnader
 - nya säkerhetskrav/kvalificering
 - brist på erfarenhet av konstruktion i sektorn, ...
- Små modulära reaktorer (SMR) högst intressanta komplement för att bygga ett klimat- och ekonomiskt stabilt och hållbart samhälle



GE Hitachi
BWRX-300



Solstice

- Små serietillverkade reaktorer kan hantera ett antal utmaningar som konventionella reaktorer har
 - Minskad byggtid → **lägre kapitalkostnader**
 - Standardiserade komponenter → **standardiserad och höjd säkerhet**
 - Fysikens lagar → **bättre passiv säkerhet**
 - Distribuerat baskraftssystem → **lägre sårbarhet**
 - Flexibilitet → **öppnar för nya användningsområden**
- Större forskningsprojekt och centra:
 - Stiftelsen för strategisk forskning (SSF)
 - – **SUNRISE** (KTH, LTU, UU) [2021-2026]
 - Energimyndigheten
 - – **Solstice** (Blykalla, Uniper, KTH) [2022-2028]
 - – **ANITA** (UU, Chalmers, KTH) [2022-2026]
 - *Tilldelning på 50+100+100 Mkr för vidare forskning*



2020

2021

2026

2027

20XX

Water



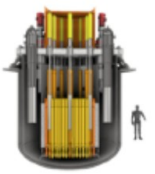
- NuScale
- RITM
- ACP
- CAREM
- SMART
- BWRX
- RR SMR
- NuWard

Helium



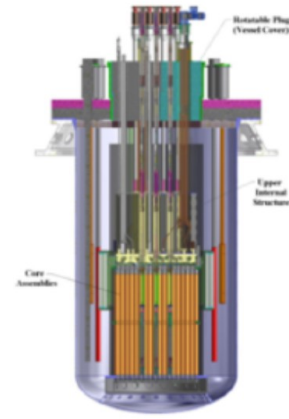
- Xe-100
- HTR-PM
- U-Battery
- USNC

Lead



- SEALER
- BREST
- SVBR
- ALFRED
- Mini-LFR
- URANUS
- CLFR
- BLESS

Sodium



- ARC
- Natrium
- e-Vinci
- Oklo

Salt



- TMSR-LF1
- Terrestrial
- Moltex
- Elysium
- TerraPower
- Kairo
- Flibe
- Thorcon
- Seaborg
- Copenhagen Atomics
- Naarea

2020

2021

2026

2027

20XX

Water



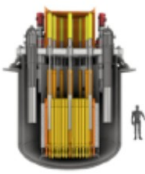
- NuScale
- RITM
- ACP
- CAREM
- SMART
- BWRX
- RR SMR
- NuWard

Helium



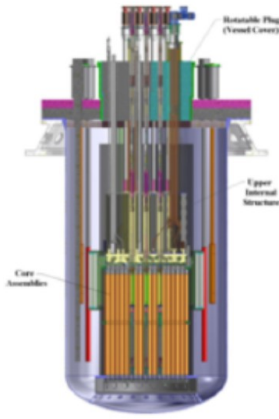
- Xe-100
- HTR-PM
- U-Battery
- USNC

Lead



- SEALER
- BREST
- SVBR
- ALFRED
- Mini-LFR
- URANUS
- CLFR
- BLESS

Sodium



- ARC
- Natrium
- e-Vinci
- Oklo

Salt



- TMSR-LF1
- Terrestrial
- Moltex
- Elysium
- TerraPower
- Kairo
- Flibe
- Thorcon
- Seaborg
- Copenhagen Atomics
- Naarea

- Darlington (OPG) 2028
- Kärnfull Next (Sverige)
- Fermi Energia (Estland)
- Syntos (Polen) – företag, ej stat



- Offentliga och **privata** aktörer deklarerar avsikt att bygga SMR för elproduktion och andra tjänster i:
 - Kenya, Kina, Sydkorea, Indonesien, Saudiarabien, Storbritannien, Frankrike, Sverige, Finland, Nederländerna, Polen, Estland, Kanada, Rumänien, Bulgarien, Ryssland, USA, Tjeckien, ...

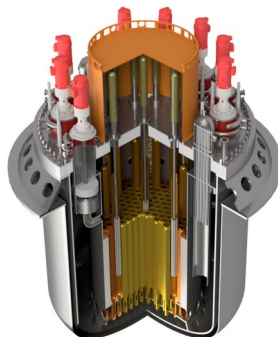
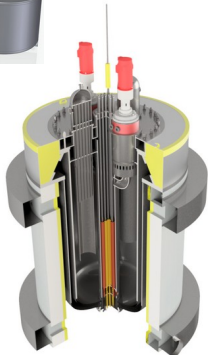
- Många projekt planerar ansluta till nätet innan slutet av 20-talet.
- Privatägda bolag föredrar troligen SMR över större reaktorer på grund av lägre investeringar.
- Förväntad global marknad för SMR innan 2050: 5000 TWh \approx 2 000 - 10 000 enheter om 50-300 MWe.



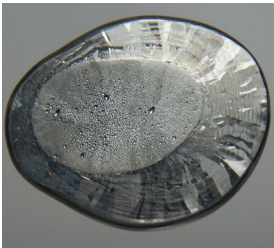
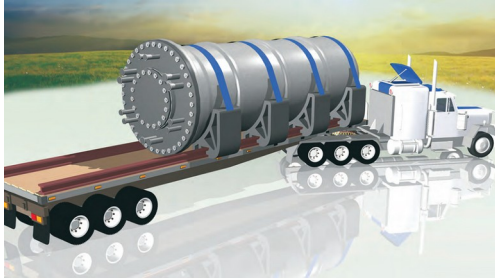


SUNRISE

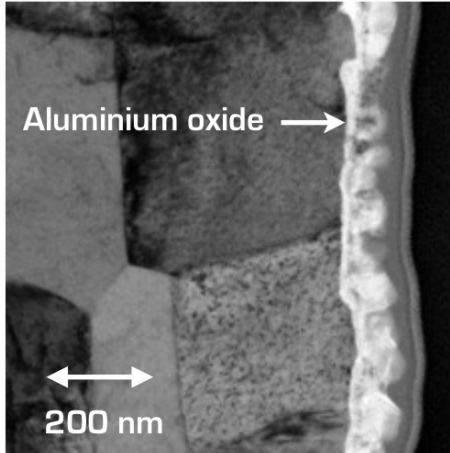
Sustainable Nuclear Energy
Research in Sweden



- SUNRISE är ett forskningscenter på KTH som genom en trestegsprocess ska etablera Sverige som världsledande inom avancerad kärnteknik
 - Målet är att designa, bygga och driva en blykyld forsknings- och demonstrationsreaktor
 - Steg 1 (**SUNRISE**): Forskning och utveckling som behövs för att licensera forskningsreaktorn
 - Steg 2 (**Solstice**): Bygga en eluppvärmd prototyp och genomföra experiment för licensiering av reaktorn
 - Steg 3 (SUNRISE-LFR): Bygga och driva SUNRISE-reaktorn – demonstrera reaktortekniken inklusive flexibla produktionstjänster och koldioxidinfångning
- Kommersialisering
([Blykalla+Uniper], [Westinghouse])



- Snabb reaktor – möjliggör återcyklning av kärnbränsle
- Passiv säkerhet i mest kompakta formatet
- Höga temperaturer – öppnar för flexibel användning
- Många säkerhetsfördelar:
 - Hög kokpunkt (1740 °C)
 - Drift utan trycksättning
 - Reagerar inte kraftigt med vatten eller luft
 - Perfekt för passiv kylning
 - Binder jod och cesium
 - Avskärmar gammastrålning
- Utmaningar
 - Korrosion och erosion av material vid höga temperaturer
 - Försprödning av material vid låga temperaturer
 - Utmanande att inspektera och underhålla



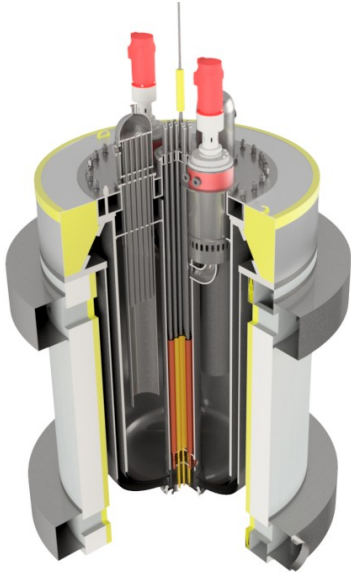
- **Avancerade blytåliga stål**
- KTH har utvecklat nya självläkande stål som bildar tunt och starkt skikt av safir och tål hett bly (800 °C)
- Ett världsunikt stål som inte heller blir sprött vid låga temperaturer i flytande bly



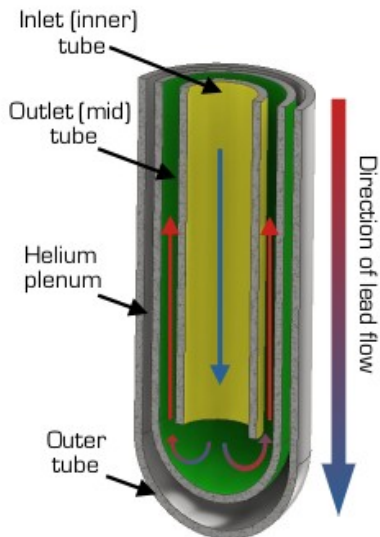
316L FeCrAl AFA

Högpresterande kärnbränsle – urannitrid

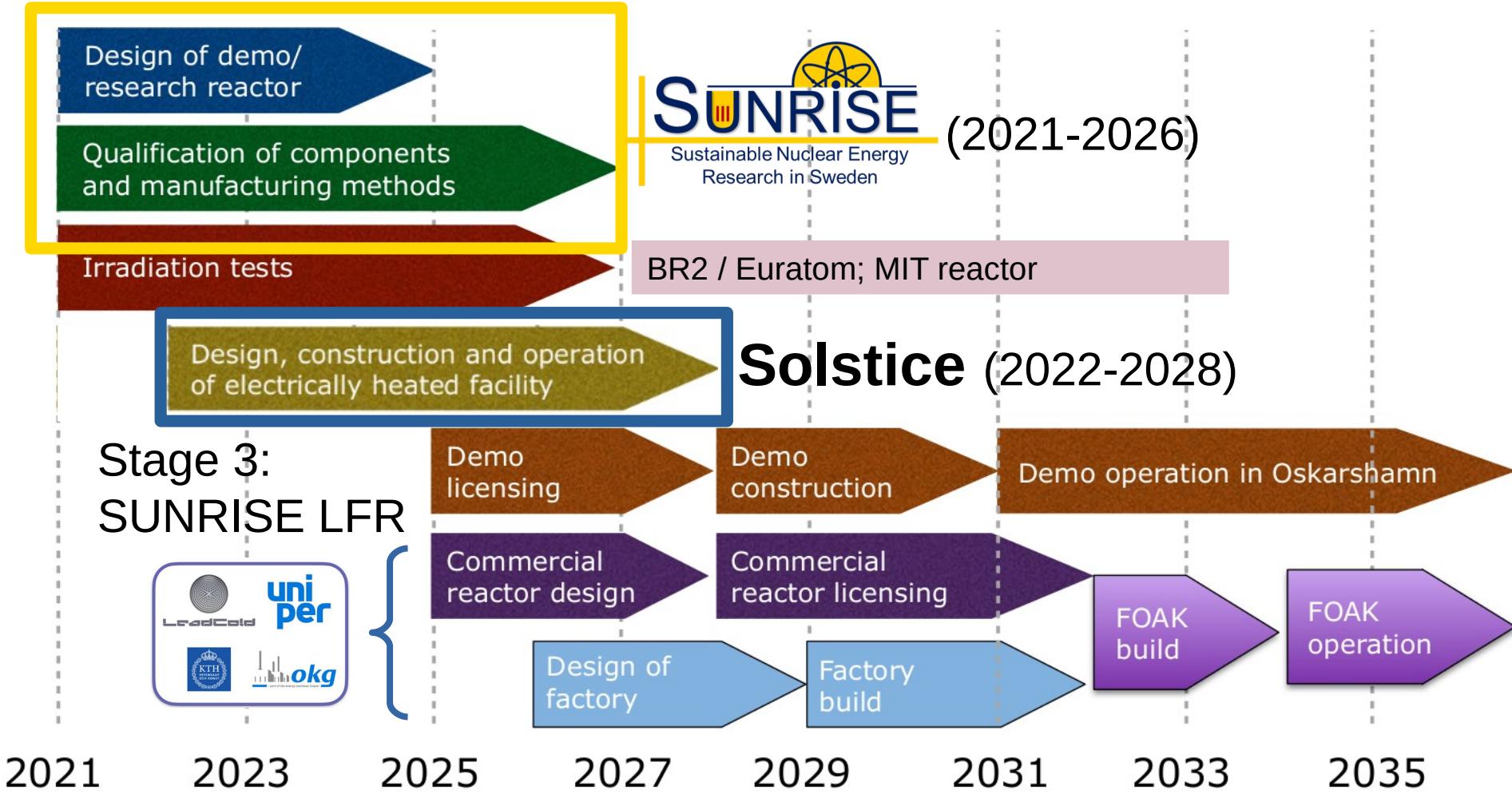
- Mycket högre urandensitet – mer kompakt reaktor – bättre ekonomi – större säkerhetsmarginaler – anpassat för återanvändning av bränsle (mot Gen-IV)
- Vi har utvecklat spetsteknik för att tillverka kutsar av urannitrid på några minuter istället för flera timmar med konventionella metoder

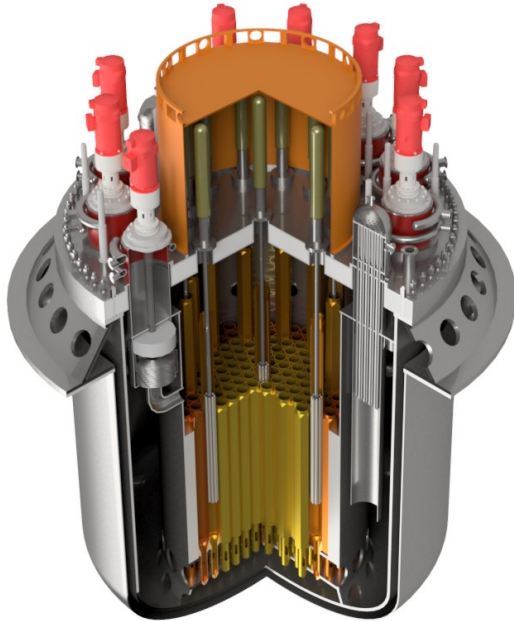


- **Solstice – en unik anläggning**
- Blykalla, Uniper, SMR och KTH har fått finansiering av Energimyndigheten för nästa steg i forskningsprogrammet
- Eluppvärmd testreaktor i partiell fullskala, byggs vid OKG, driftstart under 2024
- Test av blykyld teknik i stor skala – säkerhet, drift, underhåll, material och komponenter
- Demonstrera produktion av energibärare bortom el (vätgas, HVO, biokol, ...)



Ledord: enkla och kompakta lösningar





- Sverige har mycket goda förutsättningar att bli världens första koldioxidnegativa land
 - Utveckling av ny kärnteknik
 - Ny medvind i politik, näringsliv och samhälle
 - Säker, ekonomisk, flexibel och hållbar
 - Cirkulära bränslen till t.ex. flyget
 - Effektiv vätgasproduktion
 - Fossilfri koldioxidinfångning
- **Hinder på vägen**
 - föråldrat regelverk
 - SSM och Energimyndigheten har nu fått uppdrag att se över detta
 - Regeringen har lagt första förslag på regleverksförändring
 - politisk och ekonomisk volatilitet
 - skarp nationell hållbar strategi behöver utvecklas



Mer information!

- SUNRISE: www.sunrise-centre.se
- Solstice: [SMR AB](#)
 - Mer information via Uniper
- ANItA: Kompetenscentrum om SMR inrättat vid Uppsala Universitet
- [CET-2022](#) – internationell konferens om SMR i ett konvergerande energilandskap, gick av stapeln i Oskarshamn 21-23 Sept 2022: cet2022.org – konferensen är inspelad och finns tillgänglig med alla presentationer



ANItA

Converging Energy
Technologies

Conference CET2022

September 21-23, at Oskarshamn Sweden

Tack för att ni lyssnat!

www.sunrise-centre.se

polsson@kth.se
0737-650538

Extra bilder – om det behövs!



- HTR-PM 210 MWe (2 x 250 MWth)
- Connected to grid in December 2021.
- Pressure vessel dimensions: 5.7 x 25 m
- Coolant temperature: 250 - 750°C
- Fuel: TRISO coated particle, pebble bed.
- Fuel enrichment: 8.5%
- Fuel residence time: 35 months



- CAREM: 32 MWe iPWR, Argentina



- ACP100: 125 MWe iPWR, China



- BREST-300: 300 MWe LFR, Russia



- 77 MWe iPWR
- No primary coolant pumps
- Design certified by NRC in 2020
- Multi-unit plant planned for UAMPS in Idaho, intended operation in 2029. Co-sponsored by US government grant of 1355 MUSD.
- 6 unit plant considered by Romanian national energy company SNN.
- Selected by Polish mining company KGHM for intended deployment in Poland.



ONTARIO POWER
GENERATION

FERMI.

synthos
green energy

Kärnfull Next

- 300 MWe BWR
- No primary coolant pumps
- Site assembled
- Selected by Ontario Power Generation for Darlington New Nuclear Project. Intended operation in 2028.
- Selected by Fermi Energia for intended deployment in Estonia.
- Selected by Synthos Green Energy for intended deployment in Poland.
- Selected by Kärnfull NEXT for intended deployment in Sweden.