

Små modulära reaktorer: vad för de med sig och vad lämnar de efter sig?

Sophie Grape för Kärnavfallsrådet

sophie.grape@physics.uu.se

2022-05-11

Upplägg av presentationen

1. Vad är små modulära reaktorer (SMR:er) för något?
2. SMR:er ur ett historiskt perspektiv
3. Vilka satsar på SMR:er och vad är det för reaktorsystem som utvecklas?
4. Vad för bränslen kan komma att användas?
5. Vem studerar avfallet och vad som kommer hända med det?
6. Slutsatser och rekommendationer

1. Vad är små modulära reaktorer (SMR:er) för något?

SMÅ

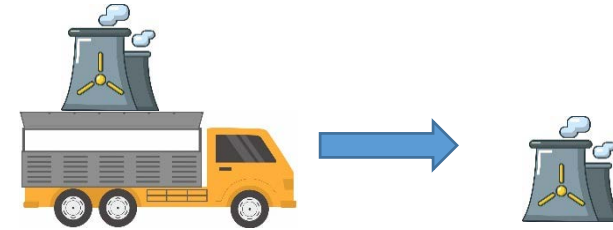
MODULÄRA REAKTORER

Internationella Atomenergiorganet (IAEA):
0-300 MWe

Jämför med Forsmarks reaktorer om
ca 1000-1200 MWe

Generation IV international forum:

Prefabricerade moduler som monteras på plats



IAEA:

Reaktorerna både kan uppföras och drivas separat,
samt att flera enheter kan kopplas samman till en
större (modulär) enhet



1. Vad är små modulära reaktorer (SMR:er) för något?

Varför pratas det så mycket om dem nu?

- Storskaliga kärnkraftverk börjar uppnå sin tilltänkta livslängd
- Stor fokus på klimatkrisen där fossila kraftslag ska fasas ut
- Idén om en utopisk universallösning där
 - ett kraftverk kan anpassas i storlek efter behov,
 - placeras ut där kraften behövs mest, och
 - som samtidigt tillfredställer de flesta av mänsklighetens energibehov:
produktion av el, processvärme, fjärrvärme, vätgas och avsaltning av havsvatten
- Det här kan ju inte stämma, eller?



2. SMR:er ur ett historiskt perspektiv

- Små reaktorer är ingenting nytt!
 - Experiment- och forskningsreaktorer
 - Små reaktorer för försörjning av militärbaser på t ex avlägsna platser samt flyttbara reaktorer (via pråm, lastbil och flygplan...)
 - Reaktorer på ubåtar, isbrytare, hangarfartyg och kryssningsfartyg
 - För introduktion av kärnkraft i utvecklingsländer



International Atomic Energy Agency
GENERAL CONFERENCE

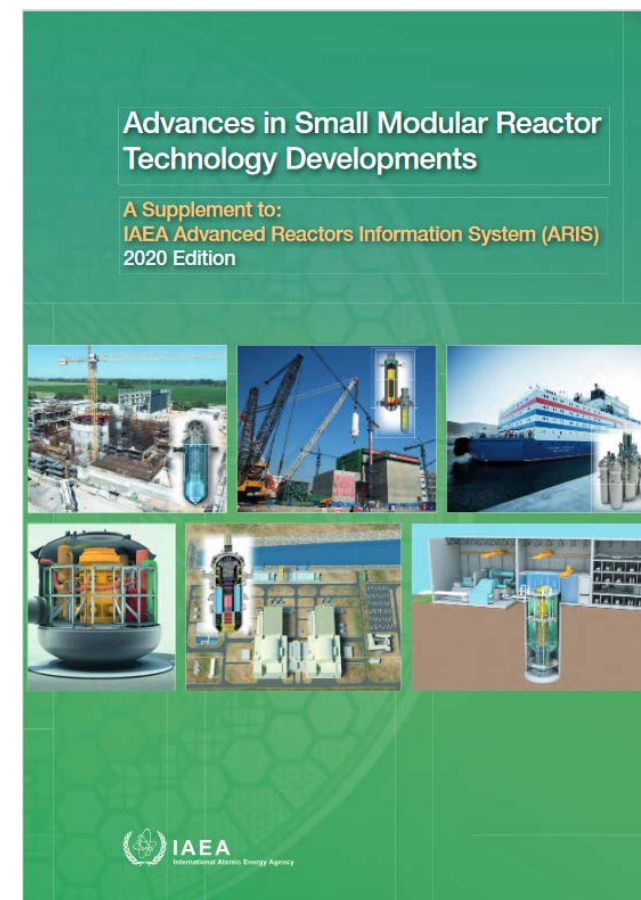
GC(XVIII)/OR.172
13 March 1975^a
GENERAL Distr.
ENGLISH

GC

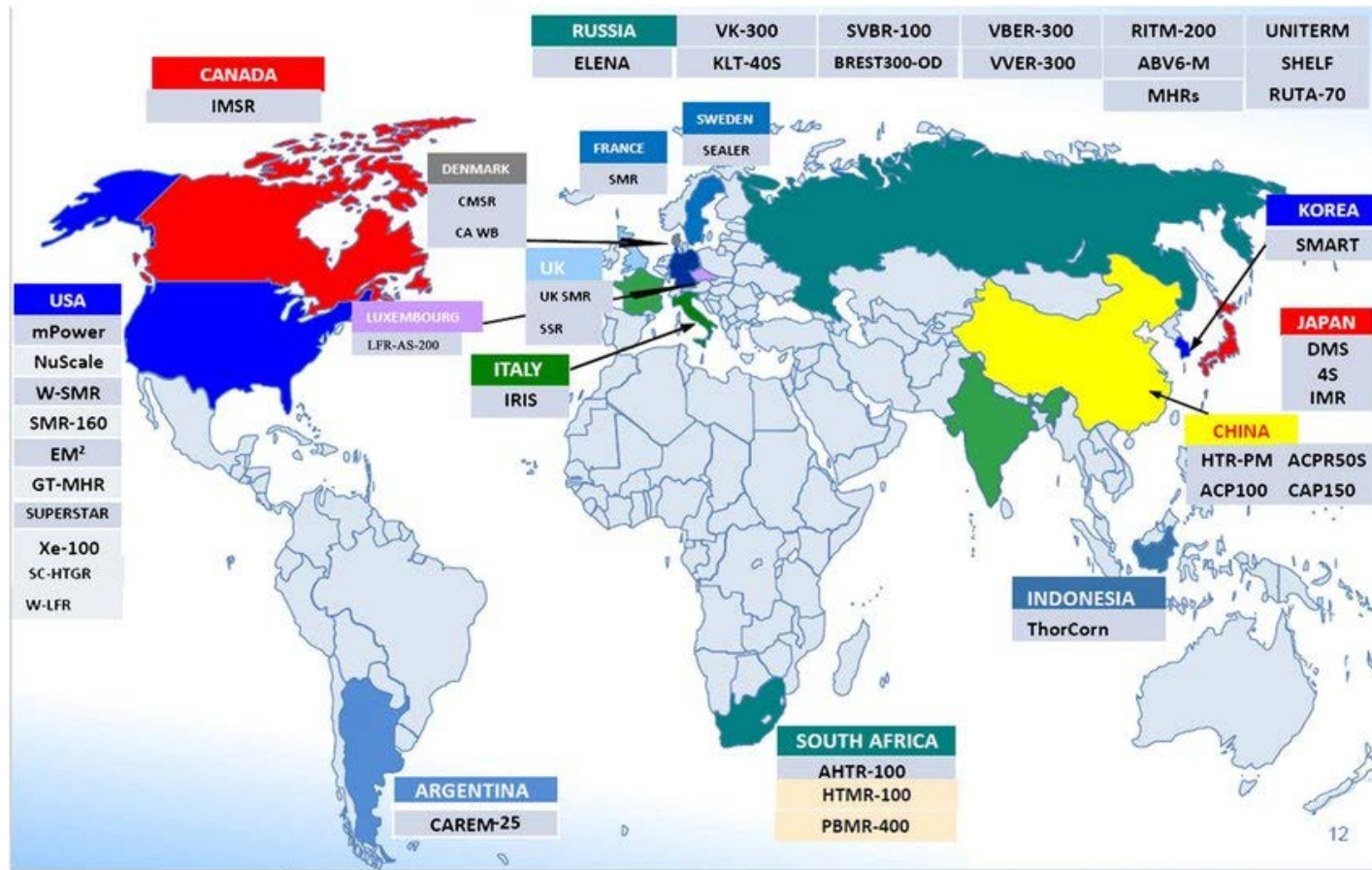
122. The Kenyan delegation would like the Agency to explore the possibility of drawing up joint or regional projects for the construction of small nuclear power plants of 100 MW(e) upwards, which were still too costly for many developing countries, particularly when they were experiencing serious balance of payments problems.

2. SMR:er ur ett historiskt perspektiv

- Dåtidens reaktorer präglades inte av samma kravbild som vi idag har för dagens kärnkraft
- Intresset har vuxit på senare tid. IAEA redovisar i en publikation över 70 koncept som är under utveckling just nu
 - Landbaserade (lätt)vattenkylda reaktorer - är i majoritet
 - Gaskylda högtemperaturreaktorer
 - Metallkylda (snabb)reaktorer
 - Saltsmältareaktorer



3. Vilka satsar på SMR:er och vilka reaktorsystem utvecklas?



- Stort engagemang i Kanada, Kina, Ryssland och Storbritannien
- I USA har första SMR-konceptet licensierats (NuScale) av tillsynsmyndigheten NRC
- Stort intresse i vår närregion (Finland, Estland) och i Sverige
 - Industrisamarbete via Vattenfall
 - Företag för utveckling av reaktorer
 - Akademiskt forskningscentrum ANItA samt stora projektmedel SUNRISE och SOLSTICE

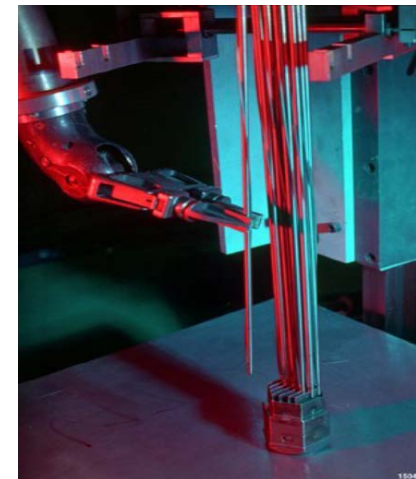
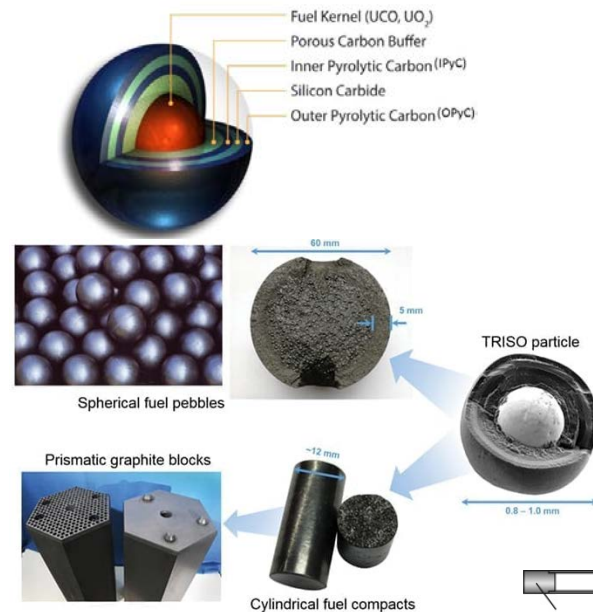
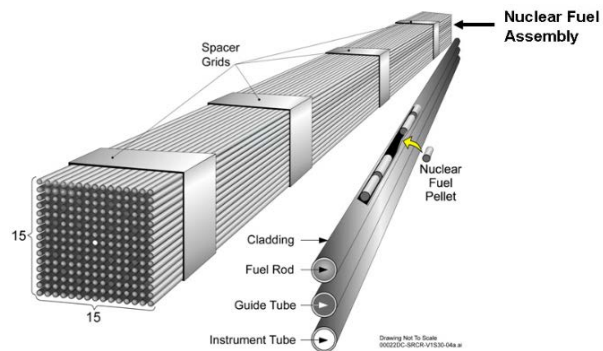
4. Vad för bränslen kan komma att användas?

Lättvattenreaktorer:
Bränsleelement med UO_2 , ofta i en 17x17-geometri. Anrikning ofta <5%

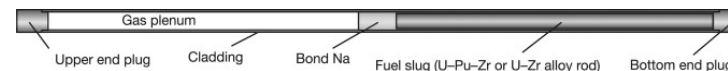
Högtemperaturreaktorer:
TRISO-partiklar som utgör hexagonala bränsleelement eller pebblar. Anrikning <20%

Metallkylda reaktorer:
Framför allt metalliska bränslen med uran eller plutonium i t ex hexagonal geometri. Anrikning <20%

Saltsmältareaktorer:
I stor utsträckning bränslesalter (fluorid- och kloridsalt) med uran eller plutonium. Anrikning: < 20% eller reaktorgradigt Pu



(left) Solid "Frozen" and (right) Liquid "Molten" $2LiF-BeF_2$ salt



5. Är det någon som studerar avfallet och vad som händer med det?

- Reaktorerna och deras bränslen särskiljer sig i vissa fall uppenbarligen väsentligt från lättvattensystemets. Vilken betydelse kan det få?
 - För lättvattenreaktorerna blir mycket nog likt
 - För andra koncept kan det skilja sig:
 - Ev används andra bränsetyper än UO_2
 - Anrikning och utbränning, liksom neutronspektrumet i reaktorn
 - Bränslets materialsammansättning (fissionsprodukter och tunga aktinider)
 - Restvärme och strålningsnivåer
 - Mellanlagring ev i andra material än vatten
 - Nya unika avfallsströmmar (t ex salter, kylmedium av metall, grafit etc)
 - volymer och lagringstider för bränslet kan komma att minska om man kan "förbränna" tunglivat avfall i reaktorn

5. Är det någon som studerar avfallet och vad som händer med det?

Studeras avfallet och dess hantering?

- "Jovisst, men..."
- I många fall svårt att uppskatta exakta avfallsströmmar och volymer
- IAEA: Identifiera unika avfallsströmmar?
 - Lättvattenreaktorerna bör producera liknande avfall som det vi har idag
 - Avfallet från gaskylda systemen liknar det från existerande gaskylda system, men skillnader finns pga olika förekomst av radionuklider, nya trisobaserade bränslen och närvaron av grafit i reaktorerna. Återvinning av sådant bränsle görs ej idag men kan komma att ske i framtiden. Det kommer generera nya typer av avfallsströmmar.



5. Är det någon som studerar avfallet och vad som händer med det?

- Metallkylda reaktorer och vissa saltsmältareaktorer har högt innehåll av aktinider och därmed en högre radiotoxicitet än dagens bränsle, vilket kommer påverka hanteringen och omhändertagandet av materialet. Samtidigt kan systemen användas för att effektivt förbränna långlivat material med högt aktinidinhåll, och därmed effektivt reducera radiotoxiciteten. Detta kräver dock bränsleåtervinning, eller uppärbetning, vilket i sin tur genererar nya avfallsströmmar.

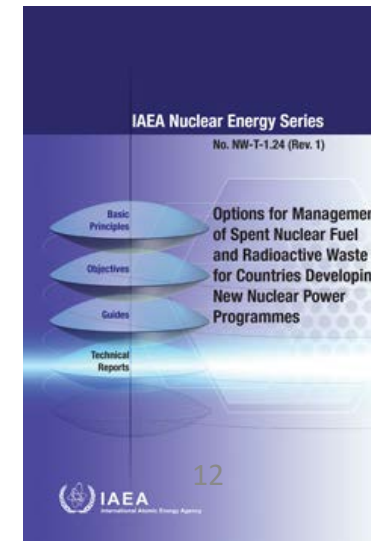
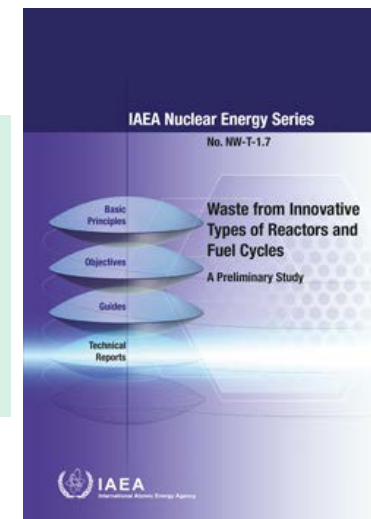
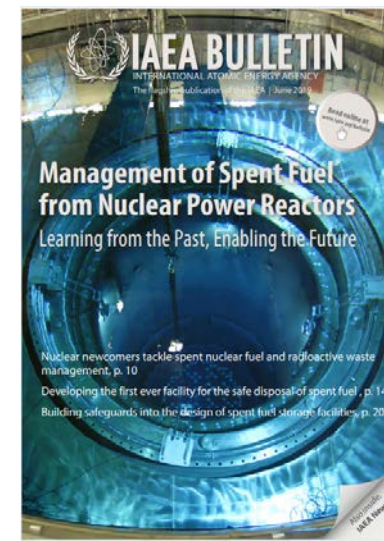
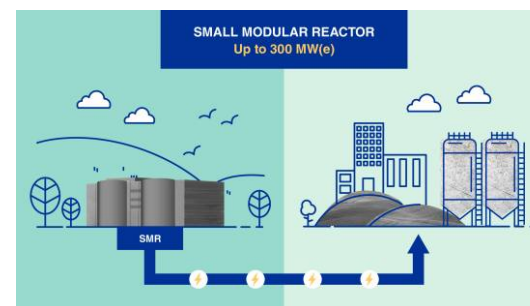
Nya avfallsströmmar kan dessutom komma från material som på något sätt kommit i kontakt med kylmediet (dvs flytande natrium, bly eller bly-vismut).

- Många saltsmältareaktorer förväntas konsumera aktinider och därmed generera bränsleavfall med relativt små volymer och lagringstider, men processer för att säkert hantera och omhänderta de ofta korrosiva salterna finns inte i dag utan behöver tas fram, liksom lösningar för deras långsiktiga inneslutning.

5. Vem studerar avfallet och vad som händer med det?

- **IAEA:** Länder med existerande kärnkraft kan använda sin etablerade infrastruktur och erfarenhet av att hantera kärnavfall. Avfallet från SMR:er av lättvattenreakortyp bör inte vara mer utmanande än omhändertagandet av avfallet från dagens kärnkraft.

Nytt: För att möjliggöra ett snabbt och säkert uppförande av SMRer globalt sett och på så sätt öka deras bidrag till Agenda 2030-målen, har IAEA i april 2022 lanserat ett initiativ som samlar beslutsfattare, tillsynsorganisationer, designers, tillverkare, och operatörer i syfte att ta fram gemensamma strategier kring SMR:er - The Nuclear Harmonization and Standardization Initiative (NHSI). Låt oss hoppas att avfallshanteringsfrågor ingår där...



5. Vem studerar avfallet och vad som händer med det?

- I **USA** konstaterades 2014 att man inte ens för SMR:er av lättvattenreaktortyp hade information om specifika avfallsströmmar, och att för SMR:er av avancerad typ krävs ytterligare forskning för att uppskatta unika avfallsströmmar och ta fram lösningar för omhändertagandet av avfallet. Föreskrifter och riktlinjer kommer förmodligen behöva ses över.

NuScales bränsle kommer nog förvaras i bränslebassäng under 5 år för att därefter placeras i torrförvar på anläggningen i uppemot 100 år. USA:s energidepartement har ansvaret för framtagandet av ett slutförvar, och ansvaret för den långsiktiga förvaringen ligger alltså bortanför företaget.

5. Vem studerar avfallet och vad som händer med det?

- I **Kanada** har man i en rapport identifierat kunskapsgap och möjliga lösningar kring avfallet från SMR:er. En plan för att omhänderta avfallet från dessa reaktorer behövs! SMR-utvecklare + ansvarig avfallsorganisation behöver ta fram en kravbild för avfallet, samt utreda de avfallsformer som kan mottas, inkl metoder för bränslekaraktärisering, bränslehantering och bränsletransporter.

Generellt finns också frågetecken kring framtida ”småproducenters” låg- och medelaktiva avfall. Dessutom finns en rad logistiska utmaningar som rör transporter av bestrålade reaktorhårdar från avlägsna platser.

5. Vem studerar avfallet och vad som händer med det?

- I **Finland** har tillsynsmyndigheten STUK analyserat förutsättningar för att uppföra och driva SMR:er i landet. De konstaterar att avfallet från SMR:er av lättvattenreaktortyp är likt dagens lättvattenreaktoravfall och att det därför bör kunna hanteras med utrustning som redan finns, eller som planeras.

De anser också att dagens säkerhetskrav för slutförvaret är tillämpligt på framtidens lättvatten-SMR:er.

STUK konstaterar att det kan finnas fördelar med centraliserad avfallshantering, och att regelverket och kravbilden för avfallsfrågan kan behöva ses över om anläggningar i framtiden kommer vara distribuerade eller ha en storlek som kraftigt skiljer sig från dagens.

6. Slutsatser och rekommendationer

- Den gjorda genomgången visar att avfallsfrågan inte är bortglömd, men inte heller prioriterad.
- För svensk del saknas, vad vi känner till, analyser och rapporter kring SMR:er och deras potentiella avfall
- Vi noterar ett stort intresse hos en rad svenska universitet och företag att studera SMR:er och deras egenskaper, i flera fall syftandes till att uppföra sådana reaktorer i Sverige
- SSM har ”noterat behovet” av att bevaka innovationer på det kärntekniska området. Det kan göras genom att myndigheten t ex följer utvecklingen av små och avancerade modulära reaktorer i andra länder, men också genom att myndigheten ställer forskningsmedel inom utvalda områden till förfogande, såsom t.ex. avfallsområdet.

6. Slutsatser och rekommendationer

- Det är viktigt att Sverige som land utvecklar en beredskap och en hållning i frågan om hur eventuellt avfall från SMR:er bör hanteras, i händelse av att ansökningar om att uppföra SMR:er lämnas in. Det vore olyckligt om avfallsfrågan ännu en gång glöms bort.
- Beredskapen bör vila på en analys av vilka typer av SMR:er kan komma att uppföras och drivas i landet, vilket avfall som bör accepteras och inte, hur avfallet bör transporteras och förvaras, samt hur mellanlager och långsiktigt avfallsförvar bör utformas.
- Utöver dessa rent avfallstekniska frågeställningarna finns naturligtvis en rad andra SMR-relaterade frågor som Sverige som land behöver förhålla sig till (gäller inte minst frågor som rör säkerhetsanalyser av systemen, icke-spridningsaspekter och licensieringsförfarandet).
- Hur ser ni som är här idag på frågan om avfall från SMR:er?