



## Reseberättelse Sverige och Danmark

---

Omvärld, Young Generation 2023

# Forskning Sverige och Danmark

För att ta vara på tid och möjlighet gjordes en delad resa till Lund och Köpenhamn. Ett besök till dessa sydligare breddgrader var särskilt uppskattat då resan utfördes i decembermörkret. Utanför Lund gjordes ett heldagsbesök på byggplatsen för Europas – om inte världens – modernaste storskaliga forskningsanläggning: ESS. I Köpenhamn kunde två besök betas av på en dag, alltså en tidsplan lika ambitiös som hos dessa företag: Copenhagen Atomics och Seaborg Technologies. Framtiden får avgöra om deras tidplaner håller.

Text skriven av Erik Bergendal, Anton Olsson, Adam Sjöholm, Felicia Thune



## Deltagare

Namn	Företag
Erik Bergendal	SKB
Anton Olsson	Westinghouse
Adam Sjöholm	RAB AB
Felicia Thune	FKA AB

## Syfte med resan

---

”Omvärld” för en planerad Sverigeresa kan tänkas motsägelsefullt. Men med friare tyglar att expandera resmålet till Norden blev valet av region enkelt och siktet sattes mot Lund och Köpenhamn. I Lund byggs ESS, eller European Spallation Source, en del av Sveriges storskaliga forskningsinfrastruktur. Anläggningen kommer att vara den främsta av sitt slag och användare från hela världen kommer i hög konkurrens att ansöka om tid för att få använda dess olika instrument. Just dessa instrument använder sig av kraftigt modererad högenergetisk neutronstrålning som producerats genom spallation i hjärtat på ESS. Forskningsprov bestrålade med joniserande strålning kommer att behöva hanteras och slutförvaras strålsäkert – en naturlig koppling till branschens expertis inom strålsäkerhet. På andra sidan Öresund talas det också om strålsäkerhet, mer än på länge, för ingen har väl kunnat undgå senaste tidens nyheter kring ny kärnkraft. I Köpenhamn hade vi möjlighet att besöka två unga företag med stora ambitioner – att innan 2030 ha sina egna smältsaltreaktorer igång. Det handlar om småskalig kärnkraft och såklart om små modulära reaktorer (SMR). Och även om Danmark som land inte har kärnkraft, finner sig både Copenhagen Atomics och Seaborg Technologies väl i det nordiska innovationslandskapet. Två alldeles utmärkta besök för att sätta pulsen på ny teknik och opinion hos vår granne i söder.



## European Spallation Source (ESS) 2023-12-07

---

The European Spallation Source, ESS, är ett av de största forskningsinfrastrukturprojekt som byggs i världen för tillfället. I likhet med Hubbleteleskopet och CERN kommer det användas för att förstå världen runt om oss. ESS kommer däremot ha ett något annat fokus, mer mot de tillämpade vetenskaperna inom bland annat materialvetenskap, bioteknik, arkeologi och fysik. Fikonspråket i namnet på anläggningen avslöjar dess huvudsyfte: att genom spallation producera neutroner i forskningssyfte. Behovet av denna typ av storskalig forskningsinfrastruktur i Europa har vuxit de senaste decennierna med ökad tillit till vetenskapliga lösningar på framtidens (och nutidens) problemställningar.

Hur och varför behövs då ESS till detta? (behöver endast läsas om det finns det minsta intresse att lite bättre förstå skillnaden mellan ESS, MAX IV, och varför faktiskt ESS praktiskt kommer att kunna användas till...)

MAX IV, som också ligger precis utanför Lund är en annan storskalig forskningsanläggning, men till skillnad från neutronkällan ESS producerar MAX IV synkrotronljus – extremt högenergetik röntgenstrålning. Även hos tandläkaren produceras röntgenstrålning för materialkaraktisering (dina tänder). Då är däremot strålningen många storleksordningar svagare än vid MAX IV, men principen med röntgentomografi är densamma och används för att studera diverse material. En neutronkälla som ESS däremot går inte att hur som helst sätta upp i sitt labb eller läkarmottagning, dels från ett säkerhetsperspektiv men framförallt från en praktisk synvinkel. Neutronstrålning produceras nämligen genom två processer, fission och spallation. Båda dessa tekniker används världen över för att tillhandahålla neutroner till forskning. Vid en fissil forskningsreaktor fungerar processen i praktiken som på ett kärnkraftverk, fast med mycket lägre effekt och stället för att använda energin från neutronerna vid kärnklyvning för att värma vatten, skickas de vid en reaktorneutronkälla genom strålrör till forskarnas prov. Spallation å andra sidan uppstår när tunga grundämnen bombarderas med protoner och neutroner avges från den då instabiliserade atomkärnan. Styrkan med att använda neutron istället för röntgen vid materialkaraktisering ligger i dess interaktion med atomkärnor. För att återigen göra jämförelsen med röntgenstrålning interagerar denna ett materials elektronmoln. Det innebär att grundämnen med stora elektronmoln interagerar starkare med röntgenstrålning än de med ett litet elektronmoln – styrkan på interaktionen följer alltså storleken på grundämnena i periodiska systemet. Det här gäller inte för neutroner. Eftersom neutroner interagerar med atomkärnor, påverkas generellt lite av att passera genom materia (med vissa få undantag), vilket också från ett säkerhetsperspektiv ställer höga krav på avskärmning. Interaktionen varierar även till synes stokastiskt med grundämnena – och även isotoper – i det periodiska systemet. Av särskild vikt är den stora skillnaden i interaktion väte och deuterium och att båda dessa



två interagerar starkt med neutroner, men den ena attraktivt och den andra repulsivt (olika tecken). Eftersom ESS kommer att fokusera på de applicerade vetenskaperna kommer ett exempel på tillämpning i en vätgasbränslecell väl till pass. I en bränslecell vandrar väte (i form av hydroniumjoner) genom ett polymermembran för att reagera med syre och bilda vatten. Med neutrontomografi kan en hel bränslecell placeras i neutronstrålen och flödet av väte och vatten i polymermembranet kan studeras i realtid. Det ger en unik möjlighet, att i ett aktivt system studera flöden och interaktioner som sedan kan användas för att t.ex. förbättra verkningsgrader och öka tillförlit till datorsimuleringar. Man kan alltså designa systemet för att dra nytta av att neutronstrålen knappt interagerar med omgivande strukturella material men väldigt starkt med reaktanterna. Därtill kan man introducera deuterium för att snabbt öka komplexiteten och vidga möjligheterna. Även inom biotekniken är just denna specifika interaktion med just väte (och därför även vatten) av största vikt.

Och ja, det behövs fler sådana anläggningar...

Det finns redan en hel rad neutronkällor världen över. Därför skulle man kunna fråga sig varför det behövs fler. Det enkla svaret är tudelat: för att man har nått vägs ände med andra tekniker och för att nuvarande neutronkällor är "för svaga". Det första innefattar det som nämns ovan, de unika egenskaper neutronens interaktion med materia tillgängliggör. Det andra handlar om tiden att utföra experiment. Ett exempel kan tas från biokemin där även ytterst små mängder av till exempel ett protein som behöver karakteriseras, kan kosta enorma summor att ta fram. Eftersom ett litet prov har lite materia och ger en liten signal krävs det längre tid att karakterisera dessa, framförallt då datainsamlingstiden (stråltiden) är omvänt proportionell mot neutronkällans intensitet. Orealistiska tider om månader eller år skulle alltså kunna behövas för att karakterisera ett endaste prov av vissa slag. Med ett antal storleksordningar högre intensitet hos neutronstrålen kan tiden kortas till någon vecka istället. På grund av denna omvända proportionalitet kan alltså experiment som kommer att ta en dag att utföra på ESS kunna göras även på rimlig tid även vid andra anläggningar. Men experiment som skulle kräva en vecka på ESS kan inte utföras någon annan stans.

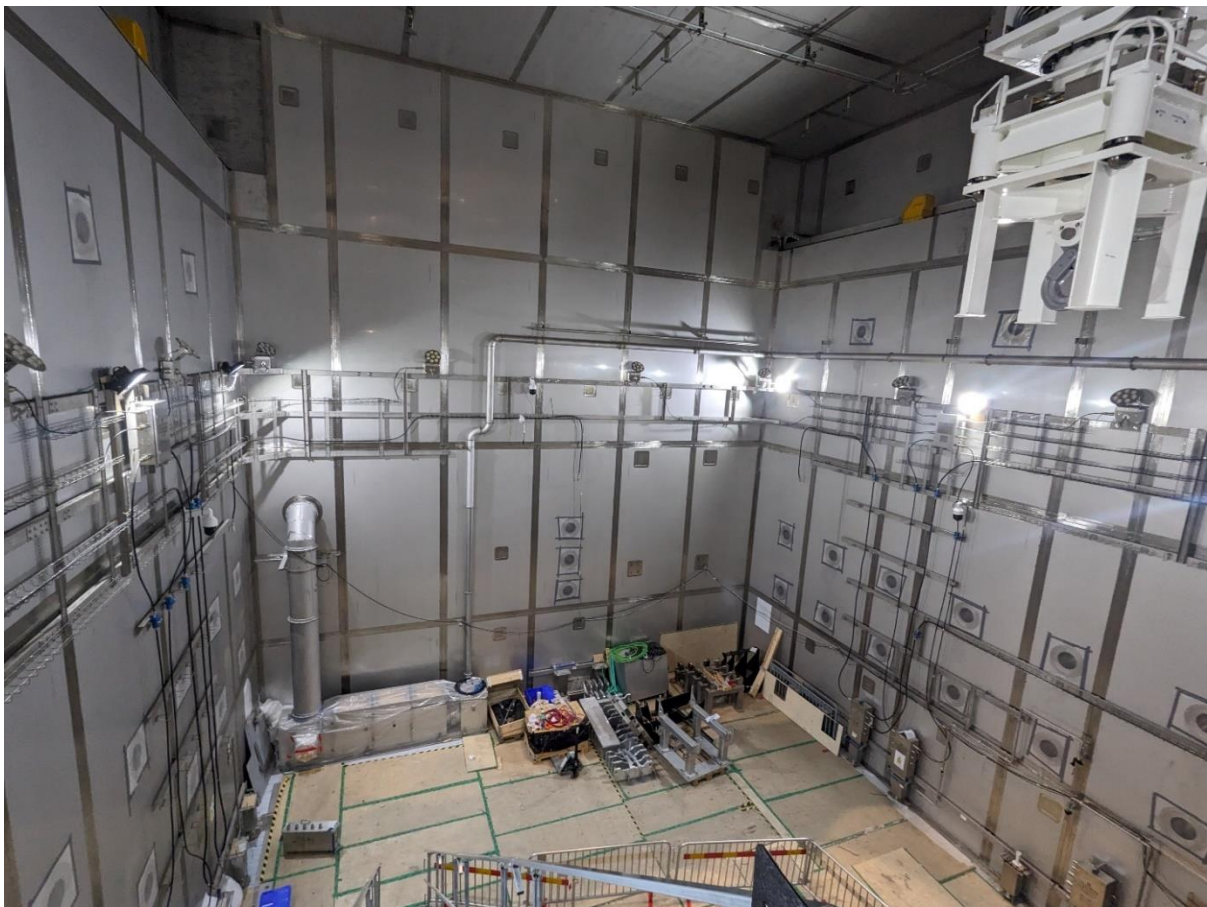
Vi hade alltså haft möjligheten att besöka slutskedet i byggnationen av en världsunik forskningsanläggning som kommer att vara den i bästa av sitt slag och locka forskare från världen över.

Vi mottogs av utanför grindarna av Anton Lundmark, omskolad elektriker till fysiker som jobbar som *Neutron Scattering Systems Lead Utilities Engineer*, vilket grovt uppskattat innefattar ansvar för delar av strålrörens kringssystem. Med kaffe i handen och en PowerPoint på skärmen fick vi först en generell genomgång av ESS, dess uppdrag och existensberättigande – visst påminnande om introduktionen ovan. Vad som dock inte beskrivits ovan är anläggningens LINAC – *linear accelerator*. Det är själva protonkanonen som driver spallationen. Denna utgår från en vätgaskälla omsluten av ett hastigt varierande kraftigt elektromagnetiskt fält. Det här får elektronerna i vätgasen



att evaporera och kvar blir fria protoner, redo att accelereras. Det görs genom en rad acceleratorled, där protonstrålen bland annat accelereras i vakuum genom supraledande niobiumkaviteter kylda till  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$  med flytande helium. I slutet av acceleratoren har protonerna nått 96 % av ljusets hastighet när de kolliderar med det roterande målet (*target*) bestående av hundratals wolframblock placerade i en karusell av rostfritt stål på 2,6 m i diameter. Det är här spallationen sker, i mötet, eller snarare kraschen mellan den relativistiska protonstrålen och tungmetallen. En kaskad av neutroner bokstavligen sprängs ut ur wolframblocket. Dessa har på tok för hög energi för att användas i några experiment, varför de modereras av antingen  $\text{H}_2\text{O}$  eller  $\text{D}_2\text{O}$  beroende på önskad slutgiltig energi. De modererade neutronerna kan därefter, med neutronspeglar och diverse filter ledas ut till användarnas strålrör och prov. Efter denna introduktion kom Mamad Eshraqi och förklarade funktion och finsess hos niobiumkaviteterna, med fantastiskt engagemang och passion.

Därefter var det dags för rundtur tillsammans med Tobias Lexholm som tog oss förbi ESS "hot cell" där det tungt bestrålade target kommer placeras för att svalna av och demonteras innan slutförvar efter ca 5 års protonbestrålning.



Figur 1 ESS hot-cell för hantering och förvaring av högaktiva material, bland annat target efter dess livslängd på ca 5 år.



ESS hjärta, *target station*, omsluten av en strålmonolit för att skärma den enorma joniserande strålningen som uppstår från spallationen. Det snurrande målet med sina wolframblock är fäst i botten på den vertikala pelaren med grön skyddsplats i botten på *target station*.



Figur 2 ESS target station, omsluten av stålmonolit i ett intrikat 3D-pussel

Därefter fick vi en rundtur till vad som kommer att bli "användarsidan", alltså där forskare kommer med sina prov för att nyttja anläggningens slutprodukt – neutrånstrålarna. Strålrören (där ett syns på bilden nedan installerat på en blå stålkonstruktion) är inte mer än någon decimeter i diameter och skärmas av med betong. Strålrören går samman i borte väggen, med *target station* på motsatt sida.



Figur 3 En av ESS experimenthallar och genomföring för ett antal strålrör. Vid den gröna väggen byggs strålröret LOKI

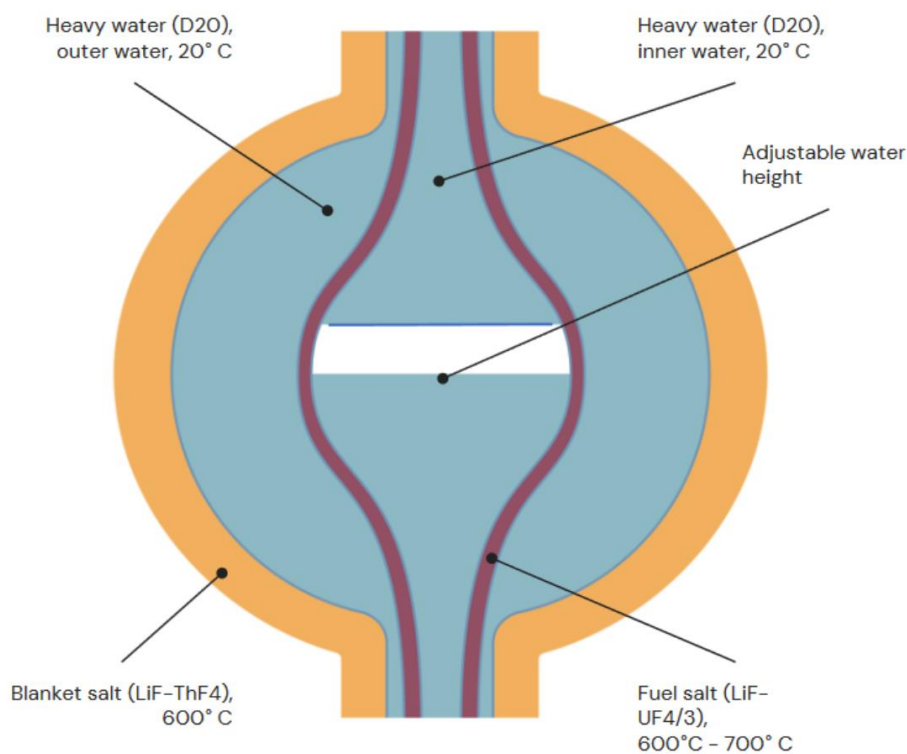
Acceleratorn som är ca 400 m lång ligger ett antal meter under marken. Den kunde vi tyvärr inte besöka eftersom installationen börjar närma sig slut- och testskede. Hantering av systemen till acceleratorn sker däremot i en motsvarande korridor snett ovanför. Här testas även varje niobiumkavitet och radiofrekvensmodulator som installeras till acceleratorn.

En återkommande fråga var just slutförvar av bestrålade forskningsprov. Eftersom ESS för tillfället inte kan veta vilken typ av prov, eller i vilken kvantitet framtida användare kommer att vilja undersöka dessa, är det än så länge svårt att ställa upp ett framtida radioisotopinventarium för slutförvar. Vi fick inte någon vidare klarhet hur det här kommer att lösas tillsammans med SKB. Det kan vi dock inte klandra våra besöksmottagare för...

## Copenhagen Atomics 2023-12-08

Vi möttes upp av vår kontaktperson Tobias Ravn Thomsen som arbetar med kommunikation på Copenhagen Atomics. Han berättar att de precis flyttat in i de nya lokalerna i industriområdet utanför Köpenhamn, tidigare har deras kontor och laboratorium varit baserat i ett innovationscenter drivet av Alfa Laval.

Thomas presenterade Copenhagen Atomics reaktorkoncept, en thoriumreaktor på ca 100 MW termisk effekt som ryms i en container. I Copenhagen Atomics design är bränslet utblandat i salt ( $F^7LiTh$ ). Reaktorkonceptet bygger på en "onion core" design med en sfärisk reaktortank med "lager" likt en lök. Kärnan av tanken innehåller moderatorvatten, nästa lager innehåller bränslet/saltet följt av ännu ett lager av moderatorvatten. Det yttersta lagret består sedan av en blanketzon med thoriomsalt som även kan användas för bridning av nytt bränsle. Blanketzonan minskar neutronläckaget vilket både är bra för ekonomin och ur strålskyddsperspektiv. Tungt vatten planeras att användas för modereringen och reaktivitetsreglering görs genom att justera vattennivån i det innersta "lagret". Om vattennivån sjunker minskar modereringen av neutroner i kärnan och reaktiviteten sjunker, det kan handla om vattennivåförändringar på ca 1 cm som avgör.



Figur 4:Copenhagens Atomics "lök"-design





Utöver härden så består reaktorn av pumpar för vatten och salt, värmeväxlare och även en anordning för att separera fissionsprodukter från bränslet under drift. När reaktorn ska avvecklas är tanken att fissionsprodukterna lagras i reaktortanken, som då kan forslas bort i ett stycke. Övriga system kan eventuellt återanvändas med montering av en ny tank. Företagets stora säljargument är att dom utlovar väldigt låga kostnader för energin, på lång sikt ner till 22 öre/kWh. Dom förklarar detta med att torium används som bränsle och att deras design har väldigt god bränsleekonomi tack vare det låga läckaget.

Copenhagen Atomic är tillsammans med ett gödsel företag del i ett projekt för att skapa ammoniak med låg klimatpåverkan i Indonesien. Idéen är att en serie av reaktorer ska generera 1 GW värme till ammoniakproduktionen via smält salt. Anläggningen är tänkt att vara driftklar 2028 vilket får sägas är en väldigt ambitiös tidsplan. Företaget har också skrivit under en avsiktsförklaring att öppna en testreaktor i Marviken med driftstart 2025, även detta är en minst sagt ambitiös tidsplan.

Efter presentationen visade Tobias oss runt i deras nya labb (och planerade fabrik?). Vi fick se några av deras egenutvecklade pumpsystem för smält salt och även två testanläggningar för längre korrosionstester med smält salt varav en var under uppbyggnad. Tobias berättar också korrosionsproblem som uppkommer med smält salt kan begränsas genom att använda salt med hög renhet (lågt oxidinnehåll?). Copenhagen Atomic framställer själv salt och utlovar väldigt hög renhetsgrad.

Tobias berättar också att företaget även säljer renat salt och diverse komponenter till pumpsystem, bland annat ventiler med mycket lovande korrosionsresultat. Kunderna är forskningsanläggningar och universitet.



## Seaborg 2023-12-08

---

Efter en tids famlande i att finna ingången till huvudkontoret så nåddes en reception som kunde hjälpa oss med orienteringen. Peter Mateusz kom raskt ned för att välkomna oss till deras nya kontor. Bland dofter från nylagd parkett klev vi genom idel stängda dörrar, passerade konferensrum med fyndiga namn, hittade vi tillslut fram till lokalen där vi skulle bli presenterade framtidens kärnkraft. Känslan när vi slagit oss till ro är att det finns en framtidsanda inom företaget, organisationen är i en expansiv fas där den danska start-upen nått över 100 anställda och man har lyckats knyta till sig kraftfulla samarbetspartners i form av tex Samsung heavy industries, Kepco och Korea Hydro & nuclear power.

Forskningen på Seaborg kretsar kring att utveckla fjärde generationens kärnkraft i form av en havsbaserad "Compact Molten Salt Reactor", vad är då detta? Jo, kort och gott är det en anläggning där bränslet blandas i en saltlösning som då även utgör kylmedlet, det är tänkt att modereras med bly. Saltsmältan tillåter en högre drifttemperatur än kommersiell kärnkraft, värmen överförs till en turbinanläggning som distribuerar el till hamnen man ligger i. Anläggningen kan skalas upp med 200MWe-moduler till maximalt 4st. En bränslecykel varar i 12 år, nästa cykel löser man genom att placera en ny reaktor i samma pråm för fortsatt drift.



Figur 5: YG-gruppen tillsammans med Peter Mateusz

Genom att placera anläggningen på en pråm skall man kunna vara mer flexibel i placering nära industri samt enklare kunna etablera sin verksamhet då långdragna handläggningstider för byggnation på land ej behövs. Den tekniska lösningen har den



senaste tiden förändrats för att hitta snabbare till en licensierad produkt tex har man tillfälligt frångått idén kring sodiumhydroxid som moderator.

Seaborg fokuserar för tillfället på en kund i Asien, sträng sekretess råder när frågor kring eventuella framtida kunder efterfrågas. Men kort och gott benämns de som "X" och är i stort behov av stabil fossilfri el utan att tex bygga upp en intern kompetens kring nukleär verksamhet. Många frågor kvarstår efter besöket tex i vilket land avfallet skall förvaras.

Framtiden får utvisa om Seaborg fortsätter öppna stängda dörrar och vilket land som rör projektet i hamn.

## Lärdomar och insikter

---

- Ha regelbunden kontakt inom YG-gruppen – lär känna varandra ordentligt. Inkludera lite snicksnack på mötesagendan.
- Skicka ut många trådar till diverse företag och organisationer i området ni tänker åka till, det är inte ovanligt med delade och gemensamma kontakter.
- Identifiera en region där varierade besök kan utföras i nära omnejd.