



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Per Andersson

2015:42

Det svenska anrikningsprogrammet
1967–1975

SSM perspektiv

Bakgrund

Under sommaren 2011 återfanns tre pärmars på Strålsäkerhetsmyndigheten som innehöll dokumentation från ett svenskt civilt anrikningsprojekt. Pärmarna ingår i material som tidigare medarbetare lämnat efter sig och ingen tidigare notis har gjorts om dess historiska värde. SSM har tidigare lagt ut forskning som beskriver Sveriges kärntekniska historia och denna rapport utgör ytterligare en del i att förstå de tidiga planerna för Sveriges kärnenergi-program.

Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, fungerar som teknisk rådgivare till SSM i exportkontrollärenden. FOI gavs i uppdrag att studera det funna materialet och sammanfatta arbetet i en rapport.

Syfte

Informationen i pärmarna är av sådan karaktär att det inte går att återge fullt ut på grund av spridningsrisker. Dock görs bedömningen att det är av stort allmänt intresse att huvuddragen i planerna på ett svenskt anrikningsprogram redogörs för. Vi har därför valt att låta rapporten vara översiktlig utan att gå in på detaljer. Därmed kan flera intressenter få tillgång till resultatet.

Projekt information

Kontaktperson SSM: Lars Hildingsson

Referens: SSM 2015-4120



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Per Andersson
Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm

2015:42

Det svenska anrikningsprogrammet
1967–1975

Datum: Oktober 2015

Rapportnummer: 2015:42 ISSN: 2000-0456

Tillgänglig på www.stralsakerhetsmyndigheten.se

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM. De slutsatser och synpunkter som presenteras i rapporten är författarens/författarnas och överensstämmer inte nödvändigtvis med SSM:s.

Innehåll

English summary	2
1. Inledning	3
2. Bakgrund	4
3. Tekniska problem och lösningar	6
3.1. Gasdynamik	6
3.2. Lagring	7
3.3. Materialforskning	7
3.4. Drivning	8
3.5. Pumpar och ventiler	8
3.6. Produktionsanläggningen	9
4. Ekonomi	10
5. Sammanfattning	11
6. Referenser	12

English summary

During the summer of 2011 three binders were found at SSM which contained documentation of a Swedish civilian enrichment project. The earliest document was written in 1958 and the last in 1975. Most of the reports are from the period 1969 to 1971, only a minority in the period 1972-1974 and one is from 1975.

The project was run by the state company AB Atomenergi together with a number of Swedish government agencies, companies and universities. Work began informally in small scale internally at AB Atomenergi in 1960. Over time, the efforts grew, and it came to include a study of gas dynamics of rotating bodies, solid mechanics, drive and control systems and more.

The goal of the project was that Sweden, by around 1980, would be self-sufficient of uranium fuel production for the light-water reactor program, besides the actual uranium mining since it would be cheaper to import raw material.

There is nothing in the material that in any way suggests a connection to the military program that AB Atomenergi also had been involved in; the centrifuge program was strictly civilian. Nothing suggests any intention to enrich uranium to levels that would be useful as a weapon material.

The economic motivation for the project disappeared during the first part of the 1970s, and the active research and development effort was interrupted 1974-1975.

1. Inledning

Under sommaren 2011 återfanns tre pärmor på Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, som innehöll dokumentation från ett svenskt civilt anrikningsprojekt. Projektet drevs av det statliga bolaget AB Atomenergi tillsammans med ett antal svenska myndigheter, företag och universitet. Arbetet inleddes informellt i liten skala internt på AB Atomenergi redan 1960 med i huvudsak ekonomiska studier och inläsning av den öppna internationella litteraturen. Med tiden ökade insatsen och den kom att innefatta studier av teorin för roterande kroppars gasdynamik, hållfasthetslära, driv- och styrsystem med mera.

Totalt innehåller de tre pärmorna 92 rapporter, arbetspapper och andra dokument från framför allt AB Atomenergi och Flygtekniska Försöksanstalten (FFA). Det tidigaste dokumentet är författat 1958 och det senaste 1975. Huvuddelen av rapporterna hör från perioden 1969–1971, bara ett litet fåtal perioden 1972–1974 samt ett enstaka från 1975, författat av FFA.

Målet med projektet var att Sverige ca 1980 skulle vara självförsörjande på området uranbränsleproduktion till det civila lättvattenreaktorprogrammet, förutom själva uranbrytningen då man ansåg att det skulle vara billigare att importera råämnena, antingen i form av urankoncentrat, UOC, eller U_3O_8 , yellowcake. Behovet uppskattades till 440 ton uran anrikat till 3 % ^{235}U och effektivitetsberäkningar gav vid handen att det skulle krävas en anläggning med 250 000 centrifuger för att producera denna årliga mängd. I materialet finns det inte några referenser eller kopplingar till det då i princip avslutade svenska militära programmet, utan allt pekar på en fullständigt civil inriktning. För detta talar även det faktum att man inte någonstans i materialet nämner möjligheten av en anrikningsgrad överstigande de typiska för lättvattenreaktorer, ca 3–5 %, och alla ritningar på kaskader överensstämmer med detta.

Projektet mötte visst motstånd internt på AB Atomenergi redan 1968 men man beslöt ändå att fortsätta och flera intressenter från industrin bjöds in under 1969 och 1970. Flera olika studier inleddes under 1970 men redan 1971 började arbetet drabbas av förseningar och brist på forskningsmedel och 1972 var det tilldelade anslaget i princip slut. FFA som hade tagit den tekniska ledningen mot mitten av 1970-talet fortsatte envetet arbetet, troligtvis med egna medel, men även de tappade intresset mot slutet av decenniet. Redan 1975 hade det planerade startdatumet flyttats fram till 1992 och det saknades tänkbara finansierare. De sista sammanfattande rapporterna, som alltså inte finns i det material som SSM har fått tillgång till, skrevs på FFA 1981.

De tidigare rapporterna är inte hemligstämplade utan man utgick från vad man skulle kunna kalla gentlemanssekretess. I ett avtal mellan AB Atomenergi och ASEA från våren 1969 nämns i en paragraf att alla inblandade parter förväntades hemlighålla arbetet utan formell sekretess, men redan under sommaren 1969 formaliserades sekretessförfarandet.

2. Bakgrund

I början på 1960-talet spåddes kärnkraftsindustrin en blomstrande framtid med näst intill ostoppar utvecklingspotential. Marknaden för anrikning och bränsleproduktion dominerades av ett fåtal amerikanska bolag med bakgrund i landets kärnvapenindustrikomplex. I princip alla leverantörer av anrikningskapacitet använde gasdiffusion som hade ersatt termisk diffusion eftersom den senare är extremt energikrävande. Även gasdiffusionen led av relativt höga driftskostnader så det bedrevs forskning på många fronter för att utveckla nya metoder som skulle kunna sänka kostnaden för anrikning.

Uppförandet av de befintliga amerikanska anläggningarna var till stor del finansierat av landets vapenprogram och det bar även vissa delar av driftskostnaderna vilket gav ett artificiellt lågt pris på anrikning. 1962 var priset¹ för en SWU² 175 USD men priset hade antagligen varit upp mot det dubbla om kunderna hade betalat hela kostnaden. Eftersom man fram till 1980 förutspådde en mångdubbling³ av den totala kärnenergiproduktionen gjordes bedömningen att bränslepriset skulle öka kraftigt när efterfrågan på bränsle skulle öka. För att mildra denna förväntade prisstegring så började flera nationella och internationella aktörer att skissa på olika former av anrikningsprojekt, varav Sverige var en av dessa.

Redan tidigare hade forskare på AB Atomenergi⁴ börjat följa den internationella utvecklingen och så tidigt som 1958 finns det belägg för att man studerade centrifugmetoden. Från och med 1962 belades centrifugforskningsområdet med ett publikationsembargo efter påstötningar från USA. Innan dess hade Dr. Groth från Västtyskland under slutet av 1950-talet publicerat ett antal artiklar om gasflöden i centrifuger där han redovisade resultaten av över 20 års centrifugforskning. Publiceringen ledde till ett besök 1960 av två forskare från AB Atomenergi till det tyska företaget som hade tillverkat Dr Groths prototypcentrifuger där tyskarna försökte fånga det svenska (kommersiella) intresset genom att på ett för forskarna förvånansvärt öppet och tillgängligt sätt redogöra för centrifugens uppbyggnad och egenskaper. Dessa artiklar och resultatet från studiebesöket studerades ingående av AB Atomenergis forskare som mot slutet av 1960-talet var väl bevandrade i gasdynamik och centrifugteori.

I december 1969 mottog regeringar över hela världen noter från ambassadspersonal från Storbritannien och Nederländerna där de kungjorde att de två länderna tillsammans med Västtyskland avsåg att starta ett samarbete med syfte att utveckla centrifugmetoden och bygga ut anrikningskapacitet under de närmaste åren. Det så kallade Almelo-avtalet undertecknades den 31 augusti 1971 och företagsgruppen URENCO bildades strax därefter. Detta kom inte som någon överraskning för omvärlden eftersom det redan under 1968 hade framkommit av information från Nederländerna att de hade utvecklat en metod för urananrikning genom centrifugering. Det kan vara av intresse att notera att det en tid innan det internationella trepartsavtalet presenterades framfördes önskemål från Nederländerna om att även Sverige borde ingå som en fullvärdig part i samarbetet för att delvis agera som motvikt till Storbritannien och Tyskland.⁵ Nederländerna kände sig vid denna tidpunkt tydligen något trängda av de två betydligt större nationerna. Under hösten 1969 sände Nederländerna sin främsta expert på centrifuganrikning, professor J. Kistemaker, som vid den tidpunkten ledde arbetet med att utveckla det som skulle bli urtypen för URENCO:s centrifuger, till Stockholm där han gav en föreläsning och medverkade vid en mycket öppen frågestund.

¹ I rapporten anges alla kostnader och priser i 2011 års värde, både vad det gäller dollar och svenska kronor.

² En Separation Work Unit (SWU) är ett mått på hur effektiv en centrifug är. Det är svårt att översätta detta till en viss mängd, men en stor lättvattenreaktor behöver anrikat uran motsvarande ca 100 000 SWU/år. Tidiga Urenco-centrifuger levererade ca 1–2 SWU/år vilket kan jämföras med den senaste generationens 40 SWU/år.

³ Olika källor med analyser och gissningar anger en ökning på mellan 10 och 40 gånger.

⁴ AB Atomenergi bildades 1947 med en ursprunglig statlig ägarandel på 57 %. Företagets uppdrag var att utveckla och uppföra kärnreaktorer för forskningsbruk och att utveckla metoder för uranproduktion. År 1969 övertog staten hela ägaransvaret och bränsleproduktionsanläggningarna övertogs av ASEA-Atom.

⁵ Flera brev och mötesanteckningar med denna innebörd finns bevarade i det studerade materialet.

Vid besöket deltog besökare från AB Atomenergi, ASEA, FFA, Försvarets forskningsanstalt (FOA), SKF, SAAB och Kungliga tekniska högskolan (KTH).

Slutsatsen av det arbete som hade bedrivits fram till slutet på 1960-talet var att det skulle vara tekniskt möjligt och ekonomiskt intressant att starta ett svenskt anriktningsprogram baserat på gascentrifugering. 1969 inleddes ett brett formellt samarbete mellan ett mindre antal svenska intressenter med AB Atomenergi som *primus motor*. Med fanns även ASEA, FFA, FOA, SKF, SAAB, Sandvik (då Sandvikens Jernverk), KTH och Alfa-Laval.

Projektet omnämns bara indirekt i AB Atomenergis årsredovisningar från åren 1969–1972, och inte alls i redovisningarna från senare år⁶. Initialt uppges det att företaget följer den internationella utvecklingen och att vissa egna studier har genomförts. Efterföljande år beskrivs den internationella utvecklingen i generella ordalag och att egna studier ger vid handen att de positiva tongångarna inte är överdrivna och att svenska företag uppmanas att följa utvecklingen. I 1972 års årsrapport omnämns studier som har genomförts i samarbete mellan AB Atomenergi och ett mindre antal, ej namngivna, svenska företag. Kostnaderna för projektet särredovisas inte utan får antas ingå i det från år till år till storlek kraftigt varierande allmänna forskningsanslaget.

⁶Detta behöver inte tyda på någon aktiv ändring i publiceringspolicyn angående projektet då karaktären på årsrapporterna ändras till 1973 då fokus flyttas från forskning till ekonomi i rapporterna.

3. Tekniska problem och lösningar

Gruppen var från början fullt medveten om att gascentrifugering utgjorde en formidabel utmaning som måste angripas från flera håll samtidigt. Arbetsbördan fördelades så att olika aktörer fick jobba med sin specialitet och resultaten diskuterades på avstämningsmöten och genom rapporter. FFA fick bära huvudbördan av arbetet med att utreda de gasdynamiska egenskaperna, SKF skulle utveckla de speciella lagerlösningarna som krävdes, Sandvik utvecklade lämpliga höghållfasta stål och parallellt med detta studerade FOA möjligheten att tillverka rotorerna av fiberkomposit. Lotten att utveckla motordrivningen föll på KTH. Slutligen stöttade SAAB och Alfa-Laval FFA i arbetet med den mekaniska rotationsdynamiken.

Internt på AB Atomenergi genomförde man även teoretiska studier av gasdiffusion men tämligen snart blev man varse om att metoden saknade de ekonomiska förutsättningarna för att bli kommersiellt gångbar. I den sista rapporten som publiceras i ämnet, vilket skedde 1970, framgår det att man redan tidigare har övergett alla planer på att utnyttja metoden men att man trots det har fortsatt med studierna för kompletthetens skull.

3.1. Gasdynamik

Det gasdynamiska problemet som man ställs inför vid anrikning med centrifuger kan enkelt sammanfattas som så att man vill åstadkomma ett sådant gasflöde i rotorn att den separation som sker mellan den tunga och lätta fraktionen blir så stor som möjligt i en artificiell gravitation som den hastiga rotationen åstadkommer. En periferihastighet på 400 m/s och en radie på 0,1 m, vilket är representativa värden för den svenska centrifugen, motsvarar ca 160 000 g, och en modern centrifug tillverkad av kolfiber kommer upp i nästan 500 000 g. En högre artificiell gravitation ger en högre separationsfaktor vilket i sin tur ger ett bättre utbyte och färre centrifuger och därmed en bättre ekonomi.

Att maximera utbytet är långt ifrån ett trivialt problem [1, 2, 3] men de flesta varianter utgår från att en axiell gasrörelse, det vill säga längs med rotorn från ände till ände, initieras på något sätt vilket förstärker separationen eftersom gasen då rör sig ortogonalt mot den artificiella gravitationen över en längre sträcka där de två fraktionerna separeras något och man kan sedan, i fallet uran, föra bort en liten mängd gas med en något lägre andel av den lättare, efterfrågade fraktionen i ena änden av rotorn och resten, med en nu något högre andel av den eftersökta isotopen förs vidare till nästa led i processen med upprepad centrifugering tills önskad anrikningsgrad har uppnåtts.⁷

Inom det svenska programmet var man väl förtrogna med både zippe- och grothcentrifugernas arbetssätt och dess för- och nackdelar. Båda centrifugtyperna bygger på samma fysikaliska principer och arbetssättet är likartat och det är snarare ingenjörsmässiga val som skiljer dem åt. I en zippecentrifug sker all rörgenomföring i den övre änden av centrifugen som är lagrad med ett ringformat lager med en innerdiameter som är tillräckligt stor för att tre rör, för inmatning och utmatning av anrikad respektive utarmad ström, ska kunna få plats. Den nedre rotorändan är lagrad med ett nållager som balanserar i en kopp. I en grothcentrifug sker inmatningen från valfri ände och de två produktströmmarna tas ut från varsin ände (beroende på vilken ände som är kall respektive varm) vilket gör att båda ändarna måste lagras med ringformade lager.

Optimeringen av flöden, geometri och temperatur är ett mycket komplext problem med ett stort antal parametrar som kan varieras. Tillsammans med SAAB genomförde AB Atomenergi en lång

⁷Man tar alltså bort lite av den betydligt mer rikligt förekommande tunga fraktionen i varje led, inte som man kanske naivt kan tro, att man selekterar den lättare önskade fraktionen. Eftersom man i varje led bara kan ta bort en liten del av den tunga fraktionen krävs det ett stort antal led.

serie beräkningar där de kunde bestämma en lämplig geometri med avseende på radie, längd och position för insläpp och uttag samt vilka flöden in och ut ur system som maximerade effektiviteten hos centrifugen. Initialt bestämde man sig för vissa parametrar utgående från en kombination av tekniska, fysikaliska och ekonomiska skäl.

Den initialt planerade centrifugen skulle ge en effektivitet på mindre än 60 % av den teoretiskt maximala för den planerade längden och rotationshastigheten och en centrifug skulle inte kunna leverera mer än ca 1,5 SWU per år. Man insåg snabbt att detta skulle leda till att över 1 miljon centrifuger skulle krävas för att kunna leverera den planerade mängden anrikad uran per år och att det i sin tur skulle leda till en ekonomiskt och underhållsmässigt ohållbar situation. Sensommaren 1969 lade man därför om inriktningen mot mer avancerade centrifuger med högre periferihastighet och större längd.

Från perioden förekommer det ritningar på centrifuger både av groth- och zippetyp och man verkar inte riktigt ha bestämt sig för vilken typ som är att föredra.

3.2. Lagring

Att konstruera ett lager som ska kunna rotera med över 50 000 varv per minut år efter år med mycket små friktionsförluster visade sig vara ett formidabelt problem. Naturligt föll lotten på SKF att studera möjliga lösningar på hur rotern skulle kunna monteras.

Dokumentationen från vissa delar av SKF:s forskningsprogram är knapphänt men det tycks som om man ansågs sig vara kapabla att tillverka ett lager men att kostnaden skulle bli något högre än vad man först planerade.

3.3. Materialforskning

De rotoror som de svenska forskarna hade sett och hört talas om var alla tillverkade av aluminium vilket är ett relativt lättillgängligt och lättarbetat material. På grund av den begränsade brottstyrkan är den maximala periferihastigheten som kan uppnås med en rotor tillverkad av aluminium av de kvalitéer som fanns tillgängliga vid den tiden⁸ ca 250 m/s.

Professor Kistemaker berättade vid sitt besök att de i det holländska projektet i sin senaste centrifuggeneration istället valt stål med en mycket hög dragbrottsstyrka. I det svenska programmet kunde man med hjälp av Sandvik snabbt identifiera ett möjligt kandidatmaterial, de så kallade maråldringsstålen⁹. Sandvik hade vid denna tidpunkt, det sena 1960-talet, just börjat studera dessa stål och tagit fram ett prototypmaterial, kallat 1HS90 HV. Utgående från den uppmätta dragbrottsstyrkan på 1765 MPa¹⁰ beräknades den maximala periferihastigheten överstiga 400 m/s vilket var det mål som AB Atomenergi hade satt upp.

Stålet var både formbart och svetsbart och Sandvik hade högt förtroende för det som rotormaterial. Därför skedde mycket lite vidare forskning på det området. Från Sandviks sida inväntade man resultatet från vidare studier inom områdena termodynamik och rotationsdynamik. Det vill säga, de ville ha ett underlag för att kunna svara på frågan hur tunt godset i rotorväggarna kunde vara för att man skulle få en jämn och effektiv värmefördelning samtidigt som rotern och lagren skulle tåla de vibrationer som systemet utsätts för vid starten.

⁸ Dagens för ändamålet bästa aluminium tillåter periferihastigheter upp mot 400 m/s.

⁹ Namnet kommer från martensitiska åldringshärdade stål.

¹⁰ För att ett maråldrat stål i dag ska falla under exportkontroll enligt Nuclear Suppliers Group måste dragbrottsstyrkan överstiga 1900 MPa. De i dag förekommande maråldrade stålen med högst dragbrottsstyrka tillåter periferihastigheter upp mot 700 m/s.

Parallellt med Sandviks forskning om höghållfast stål för centrifugproduktion bedrev även FOA en studie där målet var att avgöra glasfibers lämplighet som rotormaterial. FOA övervägde även möjligheten att använda det vi i dag skulle kalla kolfiber som rotormaterial men man gjorde snabbt den bedömningen att kostnaden kombinerat med den osäkerhet som detta då relativt nya konstruktionsmaterial skulle innebära inte var värt den måttliga ökningen i rotationshastighet som man förväntade sig kunna uppnå.

3.4. Drivning

En centrifugmotor ska kunna arbeta vid mycket höga varvtal, utveckla minimal värme, klara att starta från låga varvtal och hålla för flera års kontinuerlig drift. Dessutom bör den vara billig och kompakt. Uppdraget att hitta en lämplig motor föll på KTH som tillsammans med ASEA kom fram till att en asynkronmotor med kortslutsrotor var det bästa valet. Man genomförde aldrig någon större studie utan resonemanget var av generellare natur.

En asynkronmotor är relativt billig, kan arbeta vid mycket höga varvtal och kräver ingen avancerad frekvensvariabel drivkälla vid starten eftersom varvtalet inte är synkroniserat med drivfrekvensen. Nackdelen är att varvtalet inte är fixt utan beror på belastningen vid en given frekvens, ström och spänning på matningen, det vill säga det som är en fördel vid starten blir en nackdel vid kontinuerlig drift. Effektförlusterna är större än för andra potentiella motorer men fortfarande så små att de går att hantera vid kontinuerlig drift.

Eftersom vridmomentet avtar ju större skillnaden är mellan den synkrona frekvensen och rotorns varvtal är så skulle man behöva ett startaggregat som kunde leverera 3–4 fixa frekvenser vilket skulle minska starttiden och effektförlusterna och därmed värmeökningen i systemet. Genom att använda separata startaggregat så skulle man även slippa att behöva dimensionera driftaggregatet för det effekthungriga startförloppet utan det skulle räcka med ett betydligt mindre och billigare aggregat. ASEA hade vid tidpunkten nyligen avslutat arbetet för NASA:s räkning med en asynkronmotor som arbetade vid 24 000 rpm vilket är något högre än de varvtal som var aktuella för en stålbaserad centrifug. Man hade även utvecklat ett tyristorbaserat drivaggregat som kunde leverera trefas växelström vid 1000 Hz till en tvåpolig asynkronmotor vilket översteg de 650 Hz som efterfrågades av projektet.

KTH och ASEA ansåg att frågan om motorval därmed var tillräckligt utredd jämfört med övriga frågor i projektet och ärendet fick låg prioritet och få praktiska studier genomfördes.

3.5. Pumpar och ventiler

Mycket lite arbete lades ner på att utveckla ventiler och pumpar då man ansåg att de som redan fanns tillgängliga på den inhemska marknaden var av sådan kvalitet att de skulle kunna användas i en centrifuganläggning. Behovet av ventiler minskade i och med att man planerade att montera ett tiotal centrifuger i en kasset, se nedan, och därmed kunde dela på ett gemensamt tillflöde.

Man resonerade enligt följande: i kassetten skulle centrifugerna seriekopplas så att en störning på en centrifug ändå skulle påverka övriga centrifuger i kassetten. Det fanns därmed inget behov att kunna bortkoppla en enskild centrifug. För att minimera längden på de rör som skulle behövas för att sammankoppla centrifugerna inom kassetten så skulle varannan centrifug placeras uppochner. På så sätt räcker det med ett kort rör från utloppet på en centrifug till inloppet på nästa men samtidigt omöjliggör man konstruktioner som använder ett kulnållager i botten, det vill säga zippecentrifuger.

3.6. Produktionsanläggningen

En anläggning av den här pariteten kräver en lång tid att planera och sedan anlägga. Därför ville man påbörja arbetet redan innan man frös designen av centrifugen. Det visade sig snabbt att valet av centrifug påverkade effektiviteten avsevärt och därmed dimensioneringen av anläggningen. Under åren 1968–1974 genomfördes det flera studier av hur anläggningen skulle kunna se ut och vilka krav som ställdes på den. Resultatet av dessa studier varierade avsevärt beroende på hur den aktuella centrifugdesignen såg ut.

Inom projektet funderades det mycket på hur man skulle lösa problemet med driftsäkerheten och driftsstopp. 200 000 centrifuger med den bästa möjliga driftssäkerheten skulle fortfarande innebära att ca 500 centrifuger om dagen skulle behöva service eller reparation varför anläggningens serviceverkstad skulle behöva ca 200–500 anställda och en omfattande maskinpark. Varje störning riskerade att destabilisera gasflödet och därmed produktionen. Den lösning som man skissade på var kassettkomponerade centrifuger där 10–12 centrifuger monterades på en ram med all el-, kyl- och gasrelaterad infrastruktur fast monterad och med snabbkopplingar till de centrala systemen. Om en sensor indikerade att någon del i kassetten höll på eller redan hade fallerat så förbikopplades den med hjälp av ventiler och brytare varefter kassetten kunde lyftas upp i sin helhet med en traverskran och en reservkassettkomponeras och kopplas in på några få minuter. Om felet var av enklare natur kunde personal i kranen utföra reparationen i kranen från en arbetsplattform och den reparerade kassetten fick bli ny reservkassettkomponent. Om felet var av allvarigare natur eller om kassetten skulle till service levererades kranen kassetten till verkstaden och en ny kassettkomponent hämtades som reservkassettkomponent.

4. Ekonomi

Det svenska centrifugprogrammet var till 100 % ett civilt program motiverat av kommersiella skäl och det måste därför kunna bära sina egna kostnader, inklusive höga utvecklingskostnader som andra länder med både civila och militära program i alla fall delvis kunde täcka inom den militära budgeten.

Under 1960-talets inledande skede subventionerades den civila bränslemarknaden av framför allt det amerikanska militära programmet där man ansåg att de gasdiffusionsanläggningar som till stor del försörjde även den civila marknaden var en strategisk resurs och vars fasta kostnader och delar av de rörliga stannade i den militära sektorn. Inför den förväntade snabba tillväxten av antalet kraftproducerade kommersiella reaktorer på 70- och 80-talet som man förutspådde behövde man bygga ut anrikningskapaciteten avsevärt men då på helt andra villkor än tidigare. Även om den nya anrikningsmetoden, centrifuger, lovade att sänka energidelen av driftskostnaden avsevärt så var driften mer komplicerad med svårbestämda reparations- och servicekostnader och de initiala investeringarna förväntades bli högre.

Sammantaget gav den tidiga analysen vid handen att den kraftigt ökade efterfrågan på bränsle inte skulle kunna kompenseras fullt ut av en parallell utbyggnad av den så kallade *front-end* sidan av kärnbränslecykeln där just anrikningen förväntades bli den stora flaskhalsen. Detta antogs leda till en kraftig ökning av världsmarknadspriset för anrikningskapacitet. År 1962 kostade en SWU 175 USD¹¹ och man förväntade sig priser i intervallet 250–300 USD per SWU under 1970-talets senare del.

Med en total kostnad på 9,1 miljarder kronor, inklusive utveckling och uppförande, skulle en svensk anläggning kunna producera bränsle till en SWU-kostnad på 200–230 USD, enligt beräkningar från 1968. Anläggningen skulle kunna börja leverera anrikat uran 1978 och vara fullt utbyggd 1980.

Runt 1970 började man märka en avmattning i det tidigare nästan omättligen intresset i kärnkraft samtidigt som flera stora anrikningsanläggningar började anläggas. År 1972 kostade en SWU 185 USD med en sjunkande tendens samtidigt som det svenska forskningsprogrammet drogs med förseningar och stora budgetöverdrag. År 1970 planerades den totala kostnaden för utvecklingen av centrifugen och de nödvändiga kringssystemen uppgå till 70 miljoner kr. År 1974 hade den uppskattningen ökat till minst 175 miljoner kronor och den planerade driftsstarten hade förskjutits till sent 80-tal, troligen så lång fram som till 1992. Den totala kostnaden hade då, enligt prognosen, bara stigit till 10 miljarder kronor, men eftersom man förväntade sig ett SWU-pris på världsmarknaden som låg närmare dagens 160 USD så var projektet inte längre ekonomisk försvarbart.

AB Atomenergi började tappa intresset redan 1973–1974 enligt interna dokument där framtiden för projektet diskuterades och det är uppenbart att ingen avdelning längre ville betala för den forskning som bedrevs. Från 1975 är projektet i praktiken dött även om FFA fortsätter att bedriva forskning i mindre skala fram till 1980.

¹¹ Alla priser och kostnader anges i 2011 års penningvärde om inget annat anges.

5. Sammanfattning

Det svenska centrifugprojektet initierades i en tid av optimism och framtidstro i kärnkraftsbranschen. Programmet inleddes trevande och utan direkt ledning men AB Atomenergi tog under det sena 1960-talet på sig ansvaret att leda och finansiera vad som på dess höjdpunkt var ett omfattande program.

En analys av den, förvisso ofullständiga, dokumentation som finns tillgänglig visar att de flesta av de svårare tekniska och vetenskapliga problemen var lösta eller på väg att lösas, i alla fall teoretiskt.

Den ekonomiska motivationen för projektet försvann under 1970-talets första del och huvudelen av det aktiva forsknings- och utvecklingsarbetet avbröts 1974–1975. De två statliga aktörerna FOA och FFA har publicerat en stor mängd tekniska rapporter som i en möjlig framtida studie skulle kunna öka kunskapen om de tekniska aspekterna av det svenska programmet likväl som av centrifugteknologi i stort.

Det finns inget i materialet som på något sätt tyder på en koppling till det militära programmet som AB Atomenergi även hade varit delaktigt i utan centrifugprogrammet var strikt civilt med avsikten att kunna försörja svenska lättvattenreaktorer med bränsle. Inte heller tyder något på att man avsåg att anrika uran till sådana nivåer att det skulle vara användbart som vapenmaterial.

6. Referenser

- [1] D.R. Olander, *Adv. Nuc. Sci. Technol.* **6**, 1972, 105
- [2] S. Whitley, *Rev. Mod. Phys.* **56**,1984, 41
- [3] S. Whitley, *Rev. Mod. Phys.* **56**,1984, 67



2015:42

Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen. Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 300 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Strålsäkerhetsmyndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00
Fax: +46 8 799 40 10

E-mail: registrator@ssm.se
Web: stralsakerhetsmyndigheten.se