

Forskning

Marvikenreaktorn - ett industripolitiskt utvecklingsprojekt i otakt med tiden

Carl-Erik Wikdahl
Energikommunikation AB

April 2007

SKI-perspektiv

De övergripande målen för SKI:s forskning är:

1. att ge underlag för SKI:s tillsyns- och granskningsverksamhet
2. att vidmakthålla och utveckla kompetens och forskningskapacitet av betydelse för kärnsäkerhetsarbete, samt
3. att bidra till säkerhetsarbete i svensk kärnteknisk verksamhet

Syftet med det detta arbete är att dokumentera och ge en historisk bakgrund till de viktiga första stegen i utvecklingen av svensk kärnkraft och vilka överväganden som låg till grund för de beslut som togs. Marvikenreaktorn var en väsentlig industriell satsning som pågick under en tid med snabb utveckling av kärnkraftteknologin. Det är ett intresse för dem som idag arbetar med teknologin att förstå de processer som ledde till att den genuint svenska utvecklingslinjen övergavs till förmån för en internationell utveckling och kommersialisering av teknologin.

Projektinformation

SKI:s projekthandläggare:

Oddbjörn Sandervåg, Enheten för Reaktorteknologi och strukturell integritet

Projektnummer:

200705002

Forskning

Marvikenreaktorn - ett industripolitiskt utvecklingsprojekt i otakt med tiden

Carl-Erik Wikdahl
Energikommunikation AB

April 2007

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI. Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens/författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKI:s.

Sammanfattning

Den statliga Atomenergiutredningen tillsattes 1955 och publicerade sin rapport i början av 1956. Med utgångspunkt från diskussionerna inom utredningen offentliggjorde Vattenfall samtidigt planer på två reaktorprojekt Adam och Eva. Det statligt finansierade forsknings- och utvecklingsföretaget AB Atomenergi (föregångare till nuvarande Studsvik AB) presenterade ett liknande program med beteckningar R3 och R4. R3/Adam skulle producera fjärrvärme och R4/Eva skulle bli kondenskraftverk.

1958 enades Vattenfall och Atomenergi om sammanslagning av sina planer till två gemensamma projekt: R3/Adam skulle byggas i Ågesta utanför Stockholm och R4/Eva skulle så småningom realiseras som Marviken placerad på Vikbolandet vid Bråviken.

Svensk elektricitet producerades i slutet av 1950-talet praktiskt taget enbart som vattenkraft. Motståndet mot en fortsatt vattenkraftutbyggnad ökade snabbt samtidigt som prognoserna visade på en ökning av elförbrukningen med uppåt 7 % per år. Det var bråttom att få fart på nya energikällor, helst sådana som inte krävde någon bränsleimport.

Ågesta och Marviken koncipierades och föddes in i ett sammanhang som kallats ”Den svenska linjen”. Den innefattade användningen av svenskt naturligt uran som bränsle och tungt vatten som moderator och kylmedel. Det använda reaktorbränslet skulle enligt denna modell på sikt upparbetas för att möjliggöra utvinning av plutonium. Detta ämne skulle på kort sikt kunna återanvändas i det svenska reaktorprogrammet och kanske på sikt i framtida snabba reaktorer. Programmet gav också en frihet att om det visade sig nödvändigt framställa svenska atombomber.

Det praktiska planerandet och byggandet av Marviken kom emellertid att genomföras under en tid som innebar en snabb utveckling av atomkrafttekniken, internationellt och i Sverige. I USA utvecklades lättvattenreakortekniken till kommersiellt intressanta kraftreaktorprojekt och hela världen erbjöds insyn i tidigare hemlig teknik. Dessutom blev amerikanskt anrikat uran tillgängligt på världsmarknaden.

Den privat- och kommunalägda kraftindustrin i Sverige såg den internationella utvecklingen som ett bättre alternativ än den svenska linjen och började tidigt intressera sig för att bygga lättvattenreaktorer i Sverige. Kanske såg man också en möjlighet att konkurrera med det statligt styrda Vattenfall om den dittills självklara tätt positionen i svensk kraftproduktion.

Mot bakgrund av denna turbulens omstöptes utformningen av Marviken många gånger. I början planerades en tryckvattenreaktor med naturligt uran som bränsle och tungt vatten som kylmedel och moderator. Eleffekten skulle vara 100 MW. I sin mest avancerade form skulle Marviken utformas som en tungvattenkokare baserad på direktcykel och självциrkulation med intern nukleär överhettning och bränslebyte under drift. Anrikat uran skulle användas som bränsle i normaldriftfallet. Eleffekten skulle i den utformningen bli 200 MW.

Konstruktionen frystes 1965 och startår för anläggningen med det enklaste driftfallet angavs till 1968. Atomenergi svarade för konstruktionen i samarbetet med Vattenfall och Asea var huvudleverantör. Bränslet tillverkades av AB Atomenergi.

Tveksamheterna om Marvikenprojektet ökade under åren efter beställningen inom Vattenfall liksom hos den politiska oppositionen. Kraftverksbygget fortsatte emellertid och vid årsskiftet 1968/69 var stationen färdig för provdrift. En utvärdering visade då mot bakgrund av nya säkerhetskriterier på omfattande behov av om- och tillbyggnader.

Sommaren 1969 övergavs utvecklingsarbetet på överhettarbränsle eftersom materialproblemen ansågs för svåra.

I slutet av 1969 var det praktiskt klart att Marvikenprojektet skulle läggas ner och i mitten av april 1970 togs det definitiva beslutet inom AB Atomenergi. Regeringen bekräftade beslutet kort därefter.

Marvikenreaktorn kom aldrig att användas för någon energiproduktion. Men inom svensk kraftindustri har funnits en utbredd uppfattning att Marvikenprojektet fick stor betydelse för kompetensuppbyggnaden inom svensk kärnkraftindustri. Det förefaller troligt att utan Marvikenerfarenheterna hade svensk industri inte lyckats ta fram en självständig lättvattenreaktorkonstruktion.

Innehållsförteckning

1	Svensk atomenergiutveckling under fyrtio- och femtiotalet	10
1.1	Atomkommittén 1945	10
1.2	Atoms for Peace	10
1.3	Atomenergiutredningen 1955	11
1.4	Den svenska linjen	12
1.5	Adam/Eva och R3/R4	12
1.6	Ågesta	12
1.7	R4 och Eva förenas	13
1.8	Urangruva och upparbetning.....	13
2	Kraftbalansen	14
3	Tidig reaktorutveckling i andra länder	15
3.1	Tungvattenreaktorer	15
3.2	Lättvattenreaktorutvecklingen	16
4	Lättvattenreaktorer på väg in i Sverige	17
5	Utvecklingen av Marviken som tryckvattenreaktor	19
5.1	Marviken 105 MW.....	19
5.2	Tveksamhet inom Vattenfall.....	19
5.3	Atomdelegationen föredrar nationell satsning.....	20
5.4	Bashful	20
5.5	Nukleär överhettning	21
6	Marviken som kokareaktor, Marviken-K200	22
6.1	Asea föreslår Marviken-K200.....	22
6.2	Snabb utveckling utomlands	22
6.3	Tre driftsfall	23
6.4	Beslut att bygga Marviken-K200.....	24
6.5	Kritisk säkerhetsgranskning.....	24
6.6	Kritik från Ågestatekniker	25
6.7	Enighet om Marviken-K200 med överhettning	25
6.8	Offentlig debatt om den svenska linjen	26
6.9	För första gången kritisk debatt i riksdagen.....	26
7	Marviken byggs och provas	27
7.1	Byggnadsarbetet påbörjas	27
7.2	Provdrift inleds.....	27
7.3	Marvikenprojektet avslutas	28
8	Marvikens tekniska utformningar - en överblick	29
8.1	Tryckvattenreaktorn.....	29
8.2	Marvikens-K200 med möjlighet till intern överhettning.....	29

8.3	Bränslehantering	32
8.4	Turbinen.....	32
9	Nerläggningen av Marviken.....	34
10	Marviken och planer på svensk atombomb	35
11	Alternativ användning av Marvikens kraftstation.....	37
11.1	Oljeeldat reservkraftverk	37
11.2	Internationellt experiment för reaktorsäkerhet	37
12	Var Marviken till någon nytta?.....	38
13	Kronjuvelerna i svensk kärnkraftteknik.....	40
14	Slutord	40
	Källor	41
	Bilaga 1: Från tungt till lätt vatten. Utvecklingen i Sverige 1945 – 1974	43
	Bilaga 2: Marviken-experimenten – Internationell samverkan om forskning inom reaktorsäkerhet.....	46
	PS-principen.....	46
	Första experimentserien	47
	Andra experimentserien	47
	Kritiskt flöde	47
	Hydrauliska belastningar från en jet-stråle	48
	Spridning av aerosoler i primärsystemet.....	48

1 Svensk atomenergiutveckling under fyrtio- och femtiotalet

1.1 Atomkommittén 1945

I augusti 1945 fälldes två atombomber över Hiroshima och Nagasaki. Detta blev en startsignal för atomenergiforskningen i Sverige liksom i många andra länder. Redan hösten 1945 begärde Försvarets Forskningsanstalt (FOA, nu FOI) anslag för inledande forskning. Militärerna ansåg att det skulle kunna vara viktigt för ett litet land som Sverige att ha egna atombomber.

Men de fredliga aspekterna på atomenergin dominerade. Atomkommittén upprättades i november 1945. Det var en kommitté som skulle planlägga den framtida forskningen och visa på möjligheter inom det fredliga atomenergiområdet.

I kommitténs betänkande som kom 1946 föreslogs att staten skulle utveckla den nya energikällan men att även industrin skulle delta. 1947 bildades AB Atomenergi med staten som huvudägare och ensam finansär.

Det stod tidigt klart att Sverige hade stora tillgångar på uranmalm, även om halterna var låga, och att det skulle vara möjligt att bygga reaktorer med naturligt uran som bränsle och tungt vatten som moderator.

1951 påbörjades arbetet med den första svenska reaktorn, R1, en forskningsreaktor med naturligt uranmetall som bränsle och tungt vatten som moderator. Den startades i mitten av 1954 och hade först en värmeeffekt på 600 kW men höjdes senare till 1 MW. Den placerades i ett bergrum nära Tekniska Högskolan i Stockholm.

1.2 Atoms for Peace

Den 8 december 1953 gjorde USAs president Eisenhower ett utspel i FN kallat ”Atoms for Peace”. Där utlovades att teknik som tidigare varit hemlig och klyvbart material skulle göras tillgängligt för alla länder. Dessutom föreslogs inrättandet av FNs atomenergiorgan IAEA, International Atomic Energy Authority.

1955 anordnades den första internationella s.k. Genevekonferensen som ett konkret resultat av Eisenhowers utspel. Mängder av tidigare hemligt material släpptes av USA, som också lovade att sälja naturligt och anrikat uran för användning i fredliga reaktorprojekt. FN:s internationella atomenergiorgan, IAEA, skulle kontrollera handeln och användningen av klyvbart material.

Genevekonferensen gav en rejäl skjuts åt det svenska atomenergiarbetet. AB Atomenergi började förbereda en stor expansion av sin verksamhet. Vattenfall (som då hette Kungliga Vattenfallsstyrelsen och var en statlig myndighet) etablerade en atomkraftavdelning och en grupp privata och kommunala kraftföretag med Sydskraft (nu E.ON Sverige AB) i spetsen startade Atomkraftkonsortiet AKK, som senare skulle ombildas till Oskarshamns Kraftgrupp AB, OKG. Även inom Asea, som följt den nya tekniken under en rad år, beslöts om uppbyggnad av en atomkraftavdelning i Västerås.

1955 köpte AB Atomenergi ett landområde på Sörmlandskusten norr om Nyköping där uppbyggnaden av atomforskningsstationen Studsvik startades.

1.3 Atomenergiutredningen 1955

Regeringen tillsatta i december 1955 Atomenergiutredningen, som redan i mars 1956 presenterade utredningen sina förslag (SOU 1956:11). Utan några stora förändringar presenterade regeringen utredningens förslag i en proposition den 13 april samma år. Industrin, bl.a. Asea, protesterade under remissbehandlingen mot att AB Atomenergi gavs en sådan dominerande roll. Men propositionen godkändes av riksdagen utan debatt.

Riksdagsbeslutet 1956 blev startskottet för kraftfulla statliga insats på atomenergiområdet med en tiodubbling av de statliga anlagen under en rad år jämfört med tiden före 1955. När det gäller planerna på atomkraftverk skriver regeringen via handelsminister Gunnar Lange i propositionen:

----”Atomenergiutredningen har anfört att försöksverksamheten under denna period (här avses de närmaste 10 – 20 åren) i första hand bör inriktas på atomdrivna värmeverk, varav vissa med elgenerering. I andra hand bör verksamheten omfatta stora elkraftverk. Utredningen räknar med att – förutom experimentreaktorer – under den närmaste 10-årsperioden kan komma att uppföras fem à sex atomdrivna värmeverk samt att en tämligen allmän användning av atomvärmeverk därefter är att vänta. Ett första atomkraftverk beräknas bli färdigt om ungefär sju år och ytterligare ett par större anläggningar före år 1970. Enligt utredningens mening bör utvecklingsarbetet främst avse reaktorer som är baserade på naturligt uran – vilket finns i landet - och tungt vatten.

Mer konkret angavs i propositionen att ett första atomkraftverk på 100 MW eleffekt skulle tas i drift 1963 och ett par större kraftverk av storleksordningen 300 – 500 MW el före år 1970.

AB Atomenergi gavs ett dominerande inflytande över det fortsatta utvecklingsarbetet. Atomenergi skulle svara för forsknings- och utvecklingsarbetet samt konstruktion och uppförande av reaktorer medan Vattenfall skulle vara beställare och därefter svara för driften. Asea betraktades som en av flera möjliga leverantörer.

I enlighet med utredningens förslag inrättades ett särskilt rådgivande organ till regeringen, Delegationen för atomenergifrågor (Dfa). Delegationen fick senare ställning som tillsynsmyndighet enligt den nya atomenergilagen (1956:306). Granskningen av atomenergianläggningar m.m. ur säkerhetssynpunkt sköttes av en särskild kommitté inom delegationen, Reaktorförläggningkommittén, Rfk (SKIs föregångare).

Delegationen för atomenergifrågor kom att spela en mycket stor roll i utformningen av det svenska atomprogrammet fram till slutet av 1960-talet.

1.4 Den svenska linjen

Riksdagsbeslutet 1956 innebar en konkret etablering av ”Den svenska linjen”. Dess innebörd var att den långsiktiga tillgången på energi skulle säkras genom att atomkraften byggdes ut och att en nationell självförsörjning av reaktorbränsle skulle ske genom att en urangruva skulle öppnas. Reaktorerna skulle användas för produktion av fjärrvärme och el. Alla tycktes i det läget vara överens om att de uppställda nationella energipolitiska målen skulle uppnås genom en stor och självständig satsning på tungvattenreaktorer med naturligt uran som bränsle.

Långsiktigt ingick också planer på en svensk upparbeitungsanläggning i vilken plutonium skulle kunna utvinnas från det använda reaktorbränslet. Plutonet skulle användas som bränsle i det svenska reaktorprogrammet men också långsiktigt i ett eventuellt program med snabba brytdreaktorer. I bakgrunden fanns också en politisk viljeinriktning att möjliggöra en satsning på ett svenskt atomvapen.

1.5 Adam/Eva och R3/R4

Strax före årsskiftet 1955/56 offentliggjorde Vattenfall sina planer på två reaktorprojekt Adam och Eva. AB Atomenergi presenterade liknande reaktorplaner några månader senare men med de könlösa beteckningarna R3 och R4.

1958 enades Vattenfall och Atomenergi om samarbete i två gemensamma projekt: R3/Adam skulle byggas i Ågesta och R4/Eva skulle så småningom realiseras som Marviken.

1.6 Ågesta

Arbetet med Ågesta startade 1958 med en budgeterad kostnad på 40 miljoner kronor och planerad start 1961. Ågesta blev en tryckvattenreaktor med naturligt uran som bränsle (i form av urandioxid, som efter pressning och sintring hade keramiska egenskaper) och tungt vatten som moderator och kylmedel. Anläggningen skulle leverera 55 MW värme till den nybyggda förorten Farsta utanför Stockholm och dessutom 10 MW el.

I ett samarbetsavtal delades konstruktionsansvaret mellan Atomenergi, Vattenfall och Asea. Vattenfall svarade för reaktorbygget medan Stockholms Elverk stod för resten. Stockholms Elverk var också delägare i AKK, Atomkraftkonsortiet, varför AKK tidigt fick insyn i det svenska utvecklingsarbetet inom kärnkrafttekniken.

Asea var huvudleverantör av reaktordelen. Större delen av själva bränslet i form av urandioxid som pressats och sintrats till små cylindriska kulsarna tillverkades vid Aseas bränslefabrik i Västerås. Övriga delar av bränslet tillverkades vid Atomenergis bränslefabrik på Liljeholmen i Stockholm, där också slutmontage och förslutning gjordes. Atomenergi övergick till Zircaloy (en legering som består av metallen zirkonium och låga halter av tenn) som bränslekapslingsmaterial i stället för aluminium som tidigare använts.

Ågesta försenades och togs i drift 1964. Notan slutade på 200 miljoner kronor. Ågesta lades ner 1974 av ekonomiska skäl eftersom oljepriset sjunkit. Att beslutet var felaktigt visade sig dels genom klagomål på utsläppen från det oljeeldade värmeverket dels genom att oljekrisen som utvecklades efter Oktoberkriget 1973 ledde till våldsamma ökning av oljepriset –åtminstone tillfälligt.

Tre bränsleladdningar tillverkades till Ågesta, varav en med uran från Ranstad. För de två andra laddningarna användes utländskt bränsle. Den första bränsleladdningen upparbetades senare i Mol i Belgien.

Alla parter har alltid varit överens om att Ågesta var ett viktigt projekt som gav värdefulla erfarenheter på en mängd olika områden som reaktorkonstruktion, reaktorfysik, kärnkraftsäkerhet, bränsletillverkning, reaktordrift och strålskydd.

1.7 R4 och Eva förenas

När Vattenfall för budgetåret 1957/58 begärde anslag för Eva sa regeringen nej. Detta trots att en kraftproducerande reaktor på 100 MW skulle stå färdig redan 1963 enligt beslut av vårriksdagen 1956. Haken var Atomenergis arbete med R4. Genom ingripanden av Delegationen togs i stället fram ett samarbetsavtal mellan Atomenergi och Vattenfall i september 1957. De två projekten skulle bli ett och Atomenergi skulle svara för reaktordelen med Vattenfall som ansvarig för kraftstationens övriga utrustning.

En viktig förutsättning var att reaktorn skulle konstrueras för att använda naturligt uran som bränsle och tungt vatten som moderator.

1.8 Urangruva och upparbetning

Parallellt fanns också beslut om en urangruva i Ranstad och eventuellt en svensk anläggning för produktion av tungt vatten. Delegationen tillstyrkte 1957 Atomenergis planer på ett uranverk i Ranstad och i Kvarntorp byggdes en försöksanläggning för produktion av tungt vatten.

I Ranstad tillverkades uran från alunskiffer som togs i dagbrott på Billingen utanför Skövde. Anläggningen uppfördes 1960 – 65 och användes för urantillverkning till 1969.

Dessutom skulle Atomenergi enligt 1956 års riktlinjer satsa på plutoniumutvinning. Projektstudier genomfördes för en upparbetningsanläggning tänkt att ligga i norra Bohuslän. Men kostnaderna visade sig så småningom bli mycket stora varför man i stället satsade på ett gemensamt europeiskt projekt i Belgien.

Så sent som 1976 aktualiserades dock på nytt frågan om en svensk upparbetningsanläggning i den s.k. AKA-utredningen (Utredningen rörande högaktivt avfall från kärnkraftverk). Utredningens förslag var i det avseendet politiskt ointressant.

Verksamheten inom Atomenergi var omkring 1960 mycket omfattande. Man hade etablerat stora utvecklingsresurser i Studsvik medan bränsletillverkningen och

konstruktionskontor låg kvar Stockholm. AB Atomenergi hade 1960 över ett tusen anställda.

Bilaga 1 innehåller en kortfattad historisk genomgång av atomenergiutvecklingen i Sverige under tiden 1945 till 1974 – *Från tungt till lätt vatten*.

I denna skrift används först ordet ”atomkraft” och därefter ”kärnkraft” i samma betydelse. Historiskt skedde en förändring av språkbruket i mitten av 1960-talet ungefär parallellt med övergången från tungvattenreaktorer till lättvattenreaktorer.

2 Kraftbalansen

Under efterkrigstiden ökade elkonsumtionen kraftigt och vattenkraften byggdes ut. Under hela femtiotalet ökade elkonsumtionen med närmare 7 % per år men i slutet av årtiondet började motstånd av miljöskäl mot fortsatt storskalig utbyggnad av vattenkraften att sprida sig. Detta var en viktig förutsättning för de politiska besluten om atomkraftutbyggnaden. Ny kraftproduktion behövdes men valfriheten var begränsad; vatten, kol och olja var av varierande skäl mindre intressanta på sikt men hoppet stod till en successiv stor utbyggnad av atomkraften med svenskt uran som bränsle.

Av betydelse för den tidiga planeringen av R4/Eva-Marviken var att Centrala Driftledningen (CDL, senare kallad Kraftsam och numera Svensk Energi) i augusti 1957 presenterade en prognos som visade på en kraftigare tillväxt av elförbrukningen under 1960-talet än vad man tidigare hade räknat med. Härigenom fanns ett behov av stora atomkraftstationer redan före 1970, något som gjorde det angeläget att snarast få en prototypreaktor i drift.

En senare CDL-utredningen från september 1961 förutsåg för 1960-talet en något svagare förbrukningsökning än vad som angavs 1957. Fram till 1970 angavs den årliga ökningen att successivt minska från närmare 7 % till något under 6 %.

En ny CDL-utredning 1962 angav en något dämpad utveckling av elförbrukningen, troligen skulle ökningen bli 5,5 % per år under 1970-talet. Eftersom vattenkraftutbyggnaden beräknades avstanna efter 1970 behövdes en stor utbyggnad av atomkraften. Starten av den utbyggnaden var emellertid senarelagd några år jämfört med tidigare prognoser. 1962 års CDL-prognosen för det svenska kraftsystemet under 1970-talet

	1970		1975		1980	
	Effekt MW	Energi TWh/år	Effekt MW	Energi TWh/år	Effekt MW	Energi TWh/år
Vattenkraft	10800	54,0	11900	60,0	12700	64,0
Mottryckskraft	1400	4,5	1800	6,0	2000	7,0
Kondenskraft	1800	0,5	1800	4,3	1800	1,5
Atomkraft	200	1,0	800	5,4	3800	25,5
Totalt	14200	60,0	16200	75,7	20300	98,0

Som ett kuriosum kan nämnas att den i verkligheten installerade kärnkrafteffekten år 1980 var precis 3800 MW.

3 Tidig reaktorutveckling i andra länder

De fem länder som tidigt, under sista hälften av 1940-talet, började med utveckling av atomreaktorer var Frankrike, Sovjetunionen, Storbritannien, USA och Kanada. I första skedet byggdes reaktorer i de fyra förstnämnda länderna som en del av atomvapenprogrammet, dvs. för produktion av plutonium. I USA startade man tidigt också en utveckling av reaktorer för U-båtsdrift. Kanada engagerades tidigt av USA för att delta i det amerikanska atombombsprogrammet under andra världskriget. I Kanada fanns stora fyndigheter av mycket rikhaltig uranmalm.

De först kraftproducerande reaktorerna i Frankrike och Storbritannien var grafitmodererade och kylde med gas. I Sovjetunionen utvecklades grafitmodererade reaktorer med vatten som kylmedel (samma grundprincip som sedan kom att användas i Tjernobylnreaktorerna). I USA utvecklades lättvattenreaktorer, PWR och BWR för kraftproduktion. PWR byggde på samma teknik som i U-båtsreaktorerna.

3.1 Tungvattenreaktorer

I Kanada satsade man under 1950-talet på en konstruktion som så småningom kom att kallas CANDU (Canadian Deuterium Uranium). Det är en reaktor baserad på naturligt uran och tungt vatten som moderator och kylmedel. Omkring varje bränsleelement finns en tryckrör och bränslebyte sker under drift vid full effekt. Bränsleelementen/tryckrören är horisontella.

Det tunga kylvattnet kokar inte i tryckrören utan leds till ånggeneratorer där vanligt vatten bringas till kokning i sekundärkretsarna (som i en PWR).

Den första kanadensiska reaktorn var på 20 MW el och startade 1962 (NPD). Den andra var på 206 MW och startade 1967 (Douglas Point). Man ser hur programmet ungefär sammanfaller med det svenska när det gäller effektnivåer och tidplan. Under slutet av 1950-talet och början av 1960-talet följde de svenska teknikerna på Atomenergi utvecklingen i Kanada. Bl.a. intresserade man sig för den kanadensiska idén med tryckrör och under en period fanns ett konkret intresse att använda denna teknik i Ågesta och Marviken.

Skälet för val av tryckrörssystem i de kanadensiska reaktorerna var dels att man ville slippa stora trycktankar men framför allt därför att man då på ett någorlunda enkelt sätt kunde åstadkomma bränslebyte under drift. Bränslebyte under drift valdes dels därför att drifttiderna kunde förlängas, dels därför att uranet i bränslet utnyttjades bättre genom att medelutbränningen ökar. I en trycktubsreaktor kan bränslebytesmaskinen placeras helt utanför reaktorn men i en trycktanksreaktor, som Marviken, måste hela utrustningen finnas inne i tanken.

Det kanadensiska tungvattenprogrammet blev basen för kärnkraftutbyggnaden i landet under lång tid. I Kanada finns nu (2007) cirka 20 reaktorer typ CANDU med en sammanlagd effekt av 10 000 MW, dvs. samma nivå som i det svenska kärnkraftprogrammet. Dessutom har ungefär lika många reaktorer exporterats till ett tiotal länder. Kanada är det enda land som lyckats utveckla tungvattenreaktorer på en kommersiell marknad.

I Storbritannien startade man i slutet av 1950-talet ett projekt för att utveckla en ny typ av tungvattenreaktor, SGHWR (Steam Generating Heavy Water Reactor). Det var en tryckrörsreaktor med svagt anriktat uran som bränsle, kokande vanligt vatten som kylmedel och tungt vatten som moderator. En prototyp på 100 MW byggdes och drevs framgångsrikt under åren 1967 – 1990 men fick ingen efterföljare.

3.2 Lättvattenreaktorutvecklingen

Den internationellt mest framgångsrika utvecklingslinjen, lättvattenreaktorn, startades tidigt i USA. Grunden var reaktorer i atomdrivna U-båtar och den första landbaserade lättvattenreaktorn startade 1953 men den var inte kraftproducerande.

Shippingport var den första kraftproducerande PWR i USA med driftstart 1957. 1960 togs de två första lättvattenreaktorerna i USA i kommersiell drift, Yankee en PWR på 167 MW konstruerad av Westinghouse och Dresden 1, en BWR på 200 MW konstruerad av General Electric. De tre amerikanska lättvattenreaktorerna kom att påverka den svenska inriktningen på atomenergiområdet redan i slutet av 1950-talet, därmed också indirekt detaljutformningen av Marviken. Särskilt Dresden 1 fick på olika sätt stor betydelse för utvecklingen och konstruktionen av BWR i Sverige.

4 Lättvattenreaktorer på väg in i Sverige

De kraftföretag som inte var statligt ägda etablerade sig tidigt i atomenergiutvecklingen via Atomkraftkonsortiet Krångede AB&Co (AKK). Organisationen bildades formellt i december 1955 och hade då följande delägare:

Krångede	21 %
Sydkraft	21
Stockholms Elverk	15
Stora Kopparberg	11
Uddeholm	9
Skandinaviska Elverk	8
Bålforsen Kraft AB	8
Gullspång	7

AKK inriktade sig redan 1956 på ett eget projekt som skulle bestå av en liten (11,5 MW elektrisk effekt) amerikansk lättvattenreaktor tillverkad av Westinghouse. Samtidigt tittade man översiktligt och långsiktigt på större projekt. 1958 offentliggjorde AKK intresse för en större kraftreaktor på 200 MW som skulle tas i drift omkring mitten av 1960-talet.

1958 fick AKK en invit från Vattenfall att delta i R4-projektet med upp till 45 %. AKK avböjde med hänvisning till att alla viktiga beslutsfunktioner skulle ligga hos Vattenfall och att därmed projektet skulle bli beroende av statlig styrning.

AKK fortsatta i stället arbetet med att ta fram underlag för en importerad reaktor, nu med en eleffekt på 60 MW och med placering i Simpevarp utanför Oskarshamn. AKK och Vattenfall förde ingående förhandlingar om att gemensamt satsa på importreaktorn. I slutet av 1958 beslöt emellertid Atomdelegationen att inga medel skulle beviljas Vattenfall för användning i Simpevarpsprojektet.

AKK gick vidare på egen hand arbetet med underlaget för en mindre lättvattenreaktor. 1959 lämnade AKK in en koncessionsansökan och under 1960 utvärderades anbud från två leverantörer. De offererade anläggningarna visade sig efterhand vara mindre intressanta och 1963 fick AKK offerter från Asea på två alternativ, ett på 20 MW och ett 60 MW.

I USA hade under tiden ekonomin för större lättvattenreaktorer utvecklats på ett intressant sätt. Det mest påtagliga var att General Electric i slutet av 1963 fått beställning på ett kärnkraftverk, Oyster Creek, på 600 MW. Priset ansågs inom AKK vara sensationellt lågt.

Mot bakgrund av denna utveckling undersökte AKK flera nya alternativ, bl.a. fanns en offert från General Electric på en 320 MW-anläggning. Intensiva förhandlingar fördes också med Asea. I november 1964 överlämnade Asea en preliminär offert på en turn-key leverans av ett 400 MW kärnkraftverk placerat i Simpevarp norr om Oskarshamn. Efter bara några veckor tog AKK ett principbeslut att fortsätta förhandlingarna enbart med Asea.

1965 bildades Oskarshamnsverkets Kraftgrupp AB (nu OKG AB) med delvis samma delägare som i AKK och den 14 juli 1965 beställde OKG det första kommersiella kärnkraftverket i Sverige, Oskarshamn 1. Det var en BWR på 400 MW konstruerad av Asea utan någon licens från General Electric. Kostnad för den nyckelfärdiga anläggningen var 300 miljoner kronor.

Den 3 juli 1968 undertecknades en principöverenskommelse om bildandet av Asea Atom med staten som ägare till hälften av aktierna. Två dagar senare, den 5 juli offentliggjorde Vattenfall att man beställt två reaktorer, Ringhals 1 och 2, på en total effekt på drygt 1500 MW, varav Ringhals 1 hos det nybildade halvstatliga företaget Asea Atom. Ringhals 2 beställdes samtidigt från den amerikanska reaktorleverantören Westinghouse.

I mars 1969 beslöt OKG att beställa reaktordelen till Oskarshamn 2 hos Asea Atom och senare samma år beställde Sydkraft Barsebäck 1, som en tvilling till Oskarshamn 2.

Innan provdriften vid Marviken avslutats hade alltså fem nya lättvattenreaktorer beställts av svenska kraftföretag med en sammanlagd effekt av nära 3200 MW. Fyra av reaktorerna beställdes hos det nya halvstatliga företaget Asea Atom.

5 Utvecklingen av Marviken som tryckvattenreaktor

1958 träffades avtal mellan Atomenergi och Vattenfall om samarbete inom det gemensamma projektet R4 /Eva. Atomenergi skulle svara för reaktordelen och Vattenfall för stationen i övrigt. Asea var engagerat som konstruktör och leverantör. Inriktningen var en tungvattenreaktor med naturligt uran. Eleffekten skulle vara cirka 100 MW.

Ett tryckrörsutförande övervägdes men under 1960 enades Atomenergi och Vattenfall om att R4/Adam skulle byggas som en trycktankreaktor, dvs. i stort sett en förstoring av Ågesta. Den enda nyheten var att reaktorn skulle utföras för bränslebyte under drift. Kraftverket skulle byggas vid Marviken på Vikbolandet vid Bråviken.

Atomenergi lade i stor utsträckning ut konstruktionsuppdrag och även experiment för reaktordelen till Asea, som i vissa avseenden samarbetade med NOHAB (Nydquist & Holm AB, senare Bofors – Nohab).

5.1 Marviken 105 MW

I september 1960 ansökte Vattenfall om koncession för Marvikenanläggningen med en effekt på 105 MW. Anläggningen skulle starta 1967.

Tanken på en anordning för bränslebyte under drift hade hämtats från de kanadensiska reaktorerna. I Marviken skulle bränslebytesmaskinen byggas in i reaktortanken ovanför härden. Den skulle fungera under fullt tryck i tanken och under drift men vid reducerad effekt. Beräkningar visade att en sådan anordning kunde motiveras av ekonomiska skäl. I kommande anläggningar skulle det vara möjligt att förflytta och byta bränslet under drift vid full effekt.

Samtidigt som arbetet med detaljkonstruktionsritningar pågick inom Atomenergi och Asea studerades mera översiktligt nästa utvecklingssteg inom båda företagen, tidvis oberoende av varandra.

5.2 Tveksamhet inom Vattenfall

Då det tekniska underlaget för ett ställningstagande till Marvikenprojektet färdigställdes i mitten av 1961 visade Vattenfall att kostnaderna skulle bli ungefär 400 Mkr (inkl. räntor under byggtiden). Den specifika anläggningskostnaden för en stationseffekt på 105 MW ansågs av Vattenfall som mycket hög jämfört med ett konventionellt kondenskraftverk. Även den totala energikostnaden ansågs som mycket hög.

En tillkommande ekonomisk faktor under 1961 var den fortgående förbättringen av tillgång på olja. Priset hade fallit närmare 40 %. Detta ledde till att kraftföretagen, både i Sverige och utomlands, började inta en försiktigare hållning till en kommersiell introduktion av atomkraften.

Vattenfall framhöll därför hösten 1961 att det för kraftföretagen skulle det vara tillräckligt med en inriktning att tillföra elproduktionssystemet större tillskott av

atomkraft först under senare delen av 1970-talet. Därför ansåg Vattenfall att det inte vara nödvändigt att ha en demonstrationsanläggning klar redan 1967.

Atomenergi ansåg emellertid att det fanns starka skäl för att uppföra Marviken enligt den ursprungliga tidplanen.

5.3 Atomdelegationen föredrar nationell satsning

Delegationen för atomenergifrågor ansåg det betänkligt från handelspolitiska synpunkter att tillgodose 1970-talets ökande elförbrukning genom konventionella ångkraftverk med kraftig ökning av oljeimporten som följd. Även lättvattenreaktorer med nödvändig import av anrikat uran ansågs tveksamma med handelspolitiska argument.

Atomdelegationens slutsats blev att motiven för en fortsättning av den svenska linjen, trots förskjutningar i kostnadsutvecklingen för atomkraft och oljekraft, alltjämt var giltiga.

Delegationen utgick ifrån att det bl.a. av tillverkningstekniska skäl behövdes ett utvecklingssteg mellan Ågesta och de fullstora kommersiella atomkraftverken. I fråga om Marvikens lämplighet som mellansteg ansåg delegationen att inget aktuellt alternativ t.ex. Simpevarvsprojektet på 60 MW eller det s.k. reaktorexperimentet som tidigare studerats inom Atomenergi, kunde fylla samma funktion.

Som en särskild fördel med Marviken angavs möjligheten att bygga till en s.k. kokartillsats på cirka 30 MW el. Asea:s experter hade vid muntliga dragningar med delegationen framför att den gynnsammaste utvecklingslinjen för tungvattenreaktorer var kokartypen. Delegationen tillstyrkte fortsatt arbete med Marvikenprojektet och angav start av elproduktion 1967 – 68.

Statsmakterna beslöt 1962 att uppföra Marvikenstationen enligt förslaget från Atomdelegationen.

Den internationella reaktorutvecklingen med tonvikt på lättvattenreaktorteknik indikerade emellertid efter hand att den beslutade versionen av Marviken skulle innebära ett alltför begränsat utvecklingssteg, eller kanske snarare en återvändsgränd.

5.4 Bashful

Parallellt med arbetet på Marviken utformad som tryckvattenreaktor enligt beslutet 1962, bedrevs inom Atomenergi och Asea utredningar rörande ett långsiktigt projekt i form av en fullstor tungvattenreaktor av kokartyp. Inom Atomenergi gjordes den s.k. Bashful-utredningen (Boiling And Superheating Heavy Water Full Scale Study) angående en 400 MW kokarreaktor med direktcykel för drift med eller utan intern överhettning under tiden januari 1961 till maj 1962. Utredningen gav en mycket positiv bild av utvecklingsmöjligheterna för denna reaktortyp.

Det engelska ordet "bashful" betyder "blygsam" och enligt projektledaren Peter Margen valdes namnet medvetet som en ironisk kontrast mot projektets innehåll av många nya utmanande egenskaper hos reaktorn. Man hoppades på det sättet väcka uppmärksamhet.

Bashful innebar att man lämnat kravet på naturligt uran som bränsle under normal drift. Kvar fanns möjligheter till drift med naturligt uran, dock med reducerad effekt och lägre utbränning. Skälet var att man ville ha möjlighet att driva reaktorn även om tillgången till import av anrikt uran skulle upphöra.

Inom Asea mottog man Bashful-utredningen med stor entusiasm. Detta inte bara av tekniska utan också av affärsmässiga skäl. Marviken var i denna tidsperiod en avgörande viktig verksamhetsgren för Asea:s växande atomkraftavdelning, i själva verket det enda större projekt som gav intäkter. En satsning på en kokarreaktor var speciellt intressant för Asea eftersom man hade ett samarbete med General Electric om Simpevarpsreaktorn, en BWR på 60 MW. Intressant för Asea var också de utmanande tekniskt avancerade satsningarna som redovisades i Bashful-utredningen.

5.5 Nukleär överhettning

Vid studier av utvecklingen utomlands fick man klart för sig att intern överhettning av reaktorången studerades både i flera amerikanska kokarprojekt och i det engelska projektet SGHWR. Även i Sovjetunionen fanns ett liknande projekt. Argumentet för intern överhettning var att den termiska verkningsgraden skulle bli högre och att turbinen skulle kunna göras mer konventionell och därmed billigare. Turbinkonstruktionerna var anpassade för drift i kol- eller oljeeldade kraftverk som hade högre ångtemperatur än i en kokarreaktor utan överhettning.

Senare visade det sig att överhettarprojekten i USA och Storbritannien övergavs omkring 1966.

6 Marviken som kokarreaktor, Marviken-K200

6.1 Asea föreslår Marviken-K200

Det var Asea som tog det konkreta steget att mot bakgrund av Atomenergis Bashful-studie föreslå en ändrad inriktning för Marviken. I maj 1962 presenterade Asea två nya förslag på hur reaktorn skulle utformas. Båda förslagen innebar att man lämnade tryckvattenutförandet och i stället inriktade sig på en kokarreaktor med tungt vatten försedd med möjligheter till intern överhettning. Det större av de två förslagen innebar ett förverkligande av Bashful, dvs en 400 MW kokare. Detta hade emellertid inneburit att i stort sett börja om Marvikenprojektet från början. För att kunna bibehålla så mycket som möjligt av det arbete som lagts ner i projektet blev Asea:s förslag en kokare på 200 MW, kallad Marviken-K200.

Vattenfall hade reagerat negativt till Bashful-studien och avrådde nu också från en satsning på Marviken-K200. I stället ansåg man att den ursprungliga satsningen på en 100 MW tryckvattenreaktor skulle fullföljas. Teknikerna inom Vattenfall ansåg att det föreslagna kokarprojektet var alltför djärvt och att kostnaderna var för höga.

Atomenergi föredrog en ändring från tryckvattenutförandet till Marviken-K200 och gick tillsammans med Asea in med en skrivelse till Atomdelegationen med förslag om att Marviken skulle konstrueras som en 200 MW kokarreaktor med möjlighet till nukleär intern överhettning.

Bashful-studien hade visat att ekonomin för en stor kokare skulle bli väsentligt bättre än för den ursprungliga projektutformningen. Skälen till förbättrad ekonomi var bl.a. att ånggeneratoren och den del pumpar kunde slopas. Dessutom hade turbinleverantören Stal visat att man genom effektivare tätningar i den roterande turbinen kunde hålla tungvattenläckaget på en låg nivå.

Problemet med en kokarreaktor i direktcykel med turbinen var dock att dåtidens turbinleverantörer inte hade erfarenhet av turbindrift med mättad ånga (som har hög fukthalt). Det ansågs att det skulle finnas risk för snabb erosion av turbinskovlarna, något som skulle kunna undvikas om ångan överhettades. Detta skulle kunna ske med en yttre oljevärmd överhettare men intern nukleär överhettning ansågs som en mycket intressant framtidssatsning.

6.2 Snabb utveckling utomlands

De viktigaste skälen till en övergång till Marviken-K200 var dock den snabba tekniska och marknadsmässiga utvecklingen av atomkraften på andra håll i världen, främst USA men också Kanada, Storbritannien och möjligen Ryssland. Den svenska reaktorutvecklingen riskerade att komma ordentligt på efterkälken. Utvecklingen i Frankrike var inte så intressant eftersom inriktningen där fortfarande var gaskylda reaktorer.

Atomdelegationen visade intresse för den nya inriktningen av projektet. Vattenfall och Atomenergi fick därför i uppdrag att i samarbete med Asea ta fram ett detaljerat projekteringsunderlag. De båda företagen lämnade i december 1962 en slutrapport där

Marviken K200 värderades genomgående positivt. Mot bakgrund av den snabba internationella utvecklingen av atomenergin ansågs det motiverat att ta det förhållandevis stora utvecklingssteget.

En annan viktig faktor var 1962 års CDL-utredning med en prognos som angav 3800 MW atomkraft i drift år 1980 – det var bråttom med att få erfarenheter av en prototypreaktor innan den planerade stora kommersiella utbyggnadens startades. Slutligen kan också nämnas förhoppningar om export av svensk atomkraftteknik. Två länder som nämndes tidigt var Egypten och Pakistan.

6.3 Tre driftsfall

Tre driftsfall redovisades, två med svagt anrikat uran med respektive utan överhettning och det tredje, s.k. beredskapsdrift, med naturligt uran utan överhettning. Effekten var 200, 140 respektive 105 MW.

Den totala kostnaden beräknades till ungefär 400 miljoner kronor (exkl. räntor) och energikostnaden med och utan överhettning till 5 resp. 7 öre/kWh, jämfört med 8 öre/kWh för den tidigare tryckvattenversionen (kalkylränta 7 %, avskrivningstid 20 år och utnyttjningstid 6000 timmar per år)¹.

Den nya tidpunkten för start av reaktorn angavs till 1969, vilket innebar ett års försening jämfört med tidigare uppgifter.

I en särskild skrivelse till atomdelegationen i januari 1963 förklarade Vattenfall att man hade god tillförsikt till satsningen på Marviken K men uttryckte tveksamhet till den nukleära överhettningen:

” Som tidigare framhållits för delegationen är de med nukleär överhettning förknippade tekniska problemen väsentligt svårare. Förutom rena konstruktionsfrågor återstår även en del mer principiella problem att lösa. Detta medför naturligtvis vissa osäkerheter i nu föreliggande konstruktion. De svåraste tekniska problemen är hänförliga till bränsleelementen för överhettning. Vid bedömning av dessa problem bör dock observeras dels att överhettarelementen icke utgör en fast del av reaktorn, varför tekniska förbättringar kan tillgodogöras successivt, dels att kraftstationen kan drivas med mättad ånga utan överhettarelement, till dess ifrågavarande utvecklingsarbete inom och utom landet givit gynnsamma resultat. Tidsprogrammet för utvecklingen av överhettarelementen är således elastiskt. Sammanfattningsvis kan således konstateras, att det finns skäl att bibehålla den angivna principiella uppläggningsen, som innebär att reaktorn utformas som kokarreaktor med möjlighet till intern nukleär överhettning.”

Men i andra avseenden visade Vattenfall ett ökat avståndstagande till den nya utformningen. Man framhöll t.ex. i samma skrivelse att Atomenergi måste ha ansvaret för reaktordelens funktion och prestanda med hänvisning till att projektet i den nya utformningen blivit väsentligt mer avancerat än i tryckvattenutförandet.

¹ För en omräkning med konsumentprisindex från prisnivån i mitten av 1960-talet till början 2007 skall de angivna siffrorna multipliceras med en faktor strax under 9. En sådan beräkningsmetod och val av index kan naturligtvis diskuteras men ger en ungefärlig storleksordning på kostnaderna i 2007 års penningvärde.

6.4 Beslut att bygga Marviken-K200

Atomdelegationen accepterade förändringen av projektet till Marviken-K200 inklusive möjligheten till drift med intern nukleär överhettning i början av 1963. Under våren behandlades regeringens proposition, grundad på atomdelegationens ställningstagande, i riksdagen och godkändes utan debatt.

Omläggningen innebar att den energipolitiska komponenten i atomenergiprogrammet försvagades ytterligare. Drift av Marviken med lättanrikat uran – som redan 1959 antytts som en möjlighet - blev nu av ekonomiska skäl huvudalternativet, vid överhettning till och med nödvändig.

Denna fråga uppmärksammades av ett av riksdagens utskott, Statsutskottet. Utskottet framhöll vikten av att landet på längre sikt kunde hållas oberoende av bränsletyper som måste importeras. Med möjligheterna att driva kokarreaktorn med naturligt uran eller ersätta anrikat uran med plutonium producerat i det egna reaktorprogrammet godtog dock utskottet omläggningen av projektet.

Harry Brynielsson, VD för AB Atomenergi 1951 -69, uttryckte i en tillbakablickande uppsats 1990 följande åsikt om beslutet att ändra inriktningen av Marvikenprojektet:

”Det avtal som tecknades mellan Vattenfall och Atomenergi i september 1957 gällde alltså en 100 MWel reaktor med tungt vatten under tryck. Denna princip bibehölls ända till 1962 och man kan i efterhand beklaga, att den då ändrades.”

Övergången till Marviken-K200 innebar en förnyad prövning av koncessionen. Den tekniska säkerhetsgranskningen gjordes av Atomdelegationens reaktorförläggningskommitté (Rfk).

6.5 Kritisk säkerhetsgranskning

I sitt yttrande över Vattenfalls koncessionsansökan, som avsåg bara drift med mättad ånga, tog Rfk upp även överhettarfrågan. Rfk framhöll att överhettningen skulle komma att ställa omfattande krav på konstruktionen även för drift med kokare med mättad ånga. För första gången gjordes också en kritisk granskning av förslaget med bränslebyte under drift. Rfk tillstyrkte emellertid under hösten 1963 koncessionen för kokarversionen dock med ett antal krav på omfattande konstruktionsändringar.

Mot bakgrund bl.a. av Rfk:s yttrande blev Vattenfalls inställning till projektet mer och mer negativ och krav framfördes att överhettningen skulle slopas. Anläggningen ansågs som utomordentligt komplicerad varför det fanns anledning förmoda att tillgängligheten skulle bli mycket lägre än vad som förutsatts i de driftekonomiska beräkningarna. Särskilt kritiserades bränslebytesmaskinen, en tekniskt komplicerad utrustning placerad inne i reaktortanken, och förfarandet att flytta och byta bränsle under drift.

Även upphandlingen av reaktordelen vållade problem. Atomenergi strävade efter att direkt engagera de viktigare intressenterna inom industrin i anbudsgivningen. För ändamålet bildades ett konsortium – AB Reaktorteknik – med deltagande av Asea, Johnson-koncernen, NOHAB och Uddeholm. Offerten för reaktordelen bedömdes av

Vattenfall och Atomenergi som tekniskt bristfällig. Dessutom låg priset väsentligt över den ram som angetts av statsmakterna, varför Atomenergi måste avböja offerten.

I detta läge åtog sig Asea att ensam fungera som huvudleverantör för reaktorn till ett pris som ungefär stämde överens med beviljade anslag. Konstruktionen skulle baseras på löpande anvisningar från Atomenergi. Detta innebar att Asea i stor sett var fri från garantiåtaganden. Avtal träffades mellan Atomenergi och Asea i maj 1963.

Trots de starka betänkligheterna från Vattenfall fullföljdes således upphandlingen av anläggningen. Atomenergi ansåg nämligen att de förutsättningar som gällde 1963 års beslut inte ändrats. Bolaget hänvisade till att utvecklingsarbetet på överhettarbränsle med stora insatser i USA pågick vid två experimentreaktorer och att två kraftproducerande reaktorer med demonstration av överhettning väntades bli beställda inom kort. Ett viktigt skäl var att den av Vattenfall begärda omkonstruktionen av Marviken skulle innebära att projektet skulle försenas ytterligare och att den pågående upphandlingen inte kunde fullföljas.

Vattenfall begärde då ett nytt avtal och i det som skrevs i augusti 1964 markerades att Atomenergi hade det tekniska och ekonomiska ansvaret för hela projektet medan Vattenfalls roll var av entreprenadkaraktär.

6.6 Kritik från Ågestatekniker

Allvarlig kritik mot utformningen av Marviken som kokareaktor framfördes av en grupp ledande tekniker vid Ågesta i ett PM daterat maj 1964. I ett yttrande över Marvikens säkerhetsfunktioner skrev gruppen följande i sammanfattningen:

”Huvuddelen av de här påpekande svagheterna i Marvikens systemutformning har att göra med överhettarfunktionerna. Dock erbjuder direktcykeln även utan överhettning mycket stora tungvattensvärigheter som ännu väntar på sin lösning.

Med den uppläggning av i första hand Marvikens säkerhetsfunktioner, som för närvarande gäller, måste vi mot bakgrund av våra erfarenheter från Ågesta betrakta det presenterade projektunderlaget som omöjligt att förverkliga”.

6.7 Enighet om Marviken-K200 med överhettning

Frågan om fullföljandet av Marviken-K200 kom att behandlas återigen hösten 1964. Vid Delegationens överläggningar med Vattenfall, Atomenergi och Asea framkom det att samtliga nu förordade att Marvikenprojektet skulle fullföljas i utformningen med överhettning. Från Vattenfalls sida motiverades denna inställning med det långt framskridna arbetsläget och med att en ändring skulle ha lett till fördröjning och fördyring.

Atomenergi och Asea underströk vikten av att överhettningen med tanke på konkurrenssituationen i förhållande till lättvattenreaktorerna så snart som möjligt borde provas ut för tungvattenlinjen. Asea sa också att genomförandet av Marvikenprojektet skulle ge industrin betydande erfarenheter även om man senare skulle gå över till lättvattenreaktorteknik.

Delegationen drog slutsatsen att Marvikenprojektet borde fullföljas. Man framhöll att det – trots de amerikanska lättvattenreaktorernas kommersiella försprång – ännu inte var möjligt att avgöra vilken reaktortyp som på längre sikt skulle visa sig vara mest ekonomisk. Om överhettning ansåg delegationen att de potentiella vinsterna rättfärdigade ett risktagande.

6.8 Offentlig debatt om den svenska linjen

Under 1964 och 1965 började allt fler tunga debattörer att mot bakgrunden av den internationella utvecklingen ifrågasätta både den svenska linjen och verksamheten inom AB Atomenergi. I fackpress och dagspress inleddes en häftig teknisk-politisk debatt där många hävdade att den svenska linjen måste överges och att Sverige i stället skulle satsa på att bygga lättvattenreaktorer och att importera anrikat uran. Även flera tunga tekniker från Vattenfall deltog i den offentliga debatten och krävde att Vattenfall skulle få fria händer i valet av reaktortyp för kommande projekt.

6.9 För första gången kritisk debatt i riksdagen

Vid behandlingen i riksdagen presenterades för första gången en motion (från två högerpartiledamöter) där en nerläggning av projektet föreslogs. I riksdagsdebatten om Marviken den 17 mars 1965 deltog Nils Carlshamre (h) och Manne Ståhl (fp).

Nils Carlshamre jämförde Marvikenprojektet med André's ballongfärd till Nordpolen. Man hade kommit i ett läge när det rent psykologiskt tycktes omöjligt att stoppa ett företag som nästan alla ansåg vara ofruktbart och dömt att misslyckas.

Manne Ståhl kritiserade öppet regeringens intresse för svenskt atomvapen och kopplingen mellan Marvikenprojektet och atomvapen.

Ett skäl till att debatten om Marviken nu blev öppet kritiskt torde sammanhånga med att utvecklingen av kommersiella lättvattenreaktorer. OKG beställde några månader senare, den 14 juli 1965, Oskarshamn 1 av Asea.

I och med riksdagens positiva beslut var Marvikenfrågan avgjord och avfördes för några år från den politiska agendan.

7 Marviken byggs och provas

7.1 Byggnadsarbetet påbörjas

Under år 1965 slutfördes huvuddelen av konstruktionen och upphandlingen av Marvikenstationen. Leveransavtalet med Asea utvidgades till att omfatta även utrustning för överhettning och en datamaskin för kontrollanläggningen. Ett samarbete med den amerikanska atomenergikommissionen rörande bl.a. överhettning inleddes. Byggnadsarbetet påbörjades våren 1965. Atomenergi räknade med att anläggningen skulle vara klar 1968 och att nukleär drift med mättad ånga skulle kunna starta året därpå.

Under 1966 påbörjades rekrytering av driftpersonal och mot slutet av året inleddes montage av utrustning. Underlaget för beslut om överhettningsbränslet förstärktes genom försök i materialtestreaktorn R2 i Studsvik.

Under 1967 sattes reaktortanken på plats och montage av utrustning för reaktordelen påbörjades. Det tunga vattnet beställdes. Atomenergi bedömde fortfarande att projektets totaltidplan skulle kunna hållas. Framtagning av underlag för överhettarelementen fortsatte och Atomenergis bedömning var att dessa skulle kunna sättas på plats efter ett års drift med mättad ånga.

7.2 Provdrift inleds

1968 var montagearbetet i stor sett avslutat och icke-nukleär provdrift med vanligt vatten startade. Förberedande arbeten för överhettning pågick under året.

Provdriften med vanligt vatten under 1969 visade på behov av en del justeringar och kompletteringar. Atomenergi räknade därför med att stationen skulle kunna överlämnas först i oktober 1969 i stället för december 1968 som tidigare planerats.

Ombyggnadsbehoven framkom som resultat av omfattande funktions- och säkerhetsanalyser som genomförts inom den gemensamma säkerhetskommittén som bestod av experter från Atomenergi och Vattenfall.

Vid starten av Marvikenprojektet fanns inga internationella kriterier på reaktorsäkerhet. Under sista hälften av 1960-talet formulerade emellertid AEC (Atomic Energy Commission) i USA grundläggande kriterier för hur säkerheten skulle bedömas. En del av problemen med Marvikens säkerhetsredovisning och Rfk:s bedömning under de sista åren berodde på att Marviken-konstruktionen inte uppfyllde en del av nya amerikanska kraven.

Det har inte varit möjligt att finna någon dokumentation på att Asea uttryckte allmän kritik utåt av Marviken-K200 under de sista åren före beslut om nerläggning. Dock skrev Lars Leine, chef för Asea atomkraftavdelning i november 1963 följande till Asea-chefen Curt Nicolin i ett internt brev:

”En kraftig ansträngning bör göras för att vi skall komma in på lättvattenkokaren. Risk synes föreligga att tungvattenreaktorn ej blir tillräckligt attraktiv ur ekonomisk och driftmässig synpunkt.

Lättvattenkokaren ligger närmast till för en breddning av vårt program. Den ger löfte om mycket god ekonomi i framtiden, samtidigt som den redan i dag visat sig vara en driftsäker och ekonomiskt fördelaktig reaktortyp.

Vårt arbete inom det svenska tungvattenprogrammet (i huvudsak på statens bekostnad) bör fortsätta som hittills, eftersom det ger oss värdefulla erfarenheter för såväl tung- som lättvattenreaktorer.”

Troligen var, mot bakgrund av ovanstående citat, Asea:s tekniker kritiska internt mot den komplicerade Marvikenkokaren men avstod från att uttrycka detta utåt eftersom Asea:s arbete med tungvattenkokaren skedde på statens bekostnad.

Det är dock känt att det redan från mitten av 1960-talet fanns olika uppfattningar mellan Asea:s och Atomenergis reaktorfysiker om reaktorn hade stabila driftegenskaper eller ej.

Delegationens reaktorförläggningskommitté konstaterade i april 1969 att en avsevärd del av säkerhetsredovisningen ännu inte inkommit till myndigheten, något som ansågs betänkligt eftersom lättvattenprovdriften var långt framskriden.

7.3 Marvikenprojektet avslutas

I augusti 1969 anmälde Atomenergi att utvecklingsarbetet med att använda Marviken som en demonstration av intern nukleär överhettning lagts ner. Som skäl angavs att tekniken övergetts på alla andra håll i världen och att överhettardrift av Marviken skulle innebära marginell förbättring av driftekonomin.

Några överhettarelement tillverkades aldrig och Reaktorförläggningskommittén fick aldrig tillräckligt underlag för ett godkännande av drift av Marviken med överhettad ånga.

Under hösten 1969 bearbetades en del av de brister som framkommit vid provdriften. Efter hand tillkom nya problem som skulle bli kostsamma att åtgärda och som skulle innebära en ytterligare försening. I april 1970 beslöt därför Atomenergi att föreslå att arbetet med att färdigställa Marviken skulle avbrytas och att det tunga vattnet och bränslet skulle säljas.

Vattenfall instämde i Atomenergis förslag och den 27 maj beslöt regeringen att tillåta en nerläggning av Marvikenprojektet.

Enligt Industridepartementets redovisning var de totala kostnaderna inklusive avvecklingen 564 Mkr. Ränta under byggtiden och vissa pensionsåtaganden hos Vattenfall uppgick till 149 Mkr. Försäljning av tungtvatten och bränsle inbringade drygt 70 Mkr. Totala nettokostnaden blev därför ungefär 640 Mkr.

8 Marvikens tekniska utformningar - en överblick

8.1 Tryckvattenreaktorn

Enligt den ursprungliga överenskommelsen mellan Atomenergi och Vattenfall år 1960 skulle Marvikens byggas som ett atomkraftverk med en elektrisk uteffekt på 100 MW. Energin skulle produceras i en tryckvattenreaktor med naturligt uran som bränsle och tungt vatten som moderator/kylmedel.

Några viktiga data för tryckvattenversionen visas nedan:

Värmeeffekt	400 MW
Eleffekt, netto	100 MW
Tryck, primär/sekundär	35/12,6 bar
Bränsle	Naturligt uran
Bränslestavar	Urandioxid med diameter 12,0 mm
Kapslingsmaterial	Zircaloyrör med ytterdiameter 13,4 mm
Bränslehöjd	3,85 m
Invändig tankdiameter	5,38 m
Total mängd tungt vatten	130 ton
Utbränning	ung. 5000 MWd/ton

8.2 Marvikens-K200 med möjlighet till intern överhettning

Marviken byggdes alltså som en tungvattenkokare med möjlighet till nukleär överhettning. Inne i reaktortanken skulle byggas en bränslebytesmaskin. Det slutgiltiga beslutet om utformningen togs i början av 1963.

Nedan visas i en tabell reaktorns huvuddata:

		Mättad ånga	Överhettad ånga
Värmeeffekt	MW	474	591
Eleffekt, totalt	MW	139	203
Eleffekt netto	MW	132	196
Arbetsstryck	bar		49,5
Moderatortemperatur	°C		190
Överhettningstemperatur	°C		500
Reaktortankens höjd, exkl. kupol	m		23,5
Reaktortankens innerdiameter	m		5,22
Härdens höjd	m		4,42
Härdens diameter	m		4,30
Antal kokarkanalerna			147
Antal överhettarkanalerna			32
Totalmängd tungt vatten	ton		185

Det tunga vattnet skulle koka i kokarkanalerna vid 50 bars tryck, och ångan skulle samlas i överdelen av reaktortanken. Efter vattenavskiljning skulle ångan vända neråt i överhettarkanalerna och överhettas till 500 grader C och tas ut genom individuella studsar i botten av reaktortanken för att sedan gå direkt till turbinen.

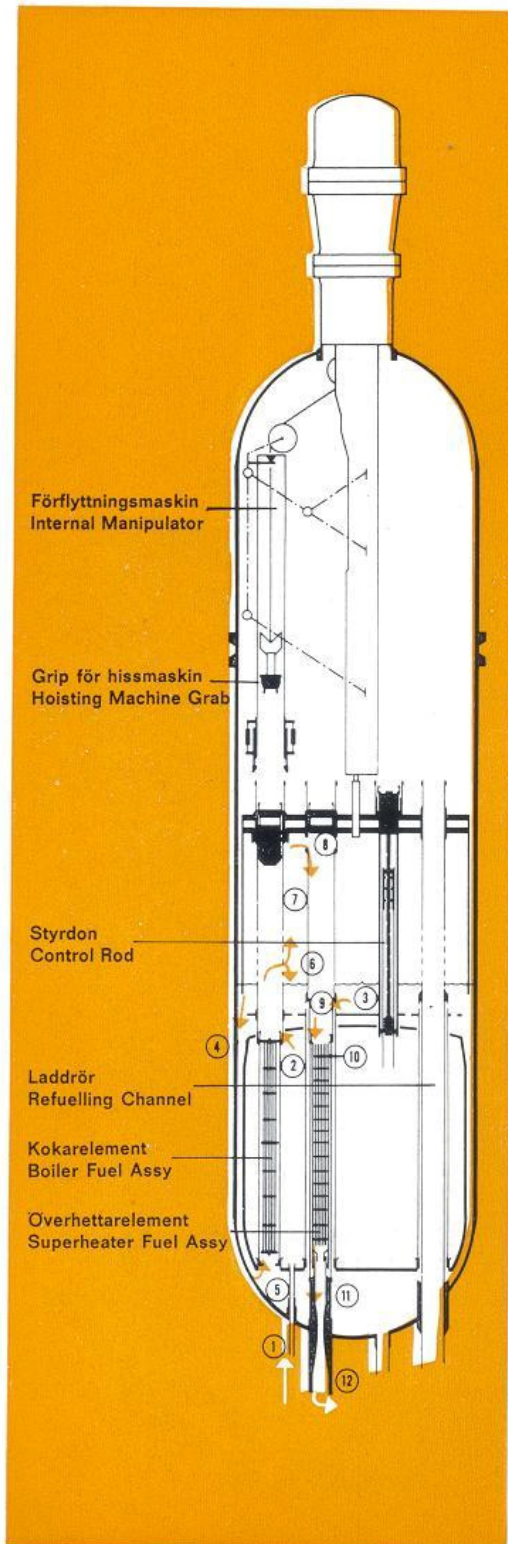
Var femte bränslekanal, 32 st, var avsedd för överhettarbränsle. Vid drift med mättad ånga var dessa bränslekanaler tomma och hälften av kanalernas utgångar pluggade.

Kokarbränslet bestod av urandioxidkutsar kapslade i zircaloyrör. Medelanrikningen var 1,35 % U-235. Överhettarbränslet tillverkades aldrig men skulle ha bestått av urandioxid med en anrikning av 1,75 % U-235. Kapslingsrören skulle ha tillverkats i rostfritt stål.

Inne i reaktortanken fanns ovanför härden en bränslebytesmaskin som under drift vid reducerad effekt skulle kunna flytta bränsleelementen. Man skulle också kunna föra ut utbränt bränsle från reaktorn och föra in nytt bränsle till härden under drift. Detta gällde dock bara kokarbränslet. Överhettarelementen skulle bytas då reaktorn inte var i drift.

Härden hade en höjd av ca 4,42 meter men totalhöjden på reaktortanken var 23,5 meter för att rymma bränslebytesmaskinen.

På nästa sida visas en bild med en genomskärning av reaktorn och en beskrivning av flödet genom reaktorn.



FLÖDET I REAKTORTANKEN

FLOW THROUGH REACTOR VESSEL

Flöde Flow	Temp °C	Mängd Mass kg/s
1. Matarvatteninlopp i tanken Feed water inlet to vessel	109	204
2. Vatten ut ur moderatorn Water out from moderator	224	204
3. Vatten in i överhettarnas isolerrör Water to superheater isolat- ing tube	260	150
4. Vatten ned genom fallspalten Water down through down- comer zone	260	1800
5. Vatten in i kokarelementen Water to boiler elements	260	1950
6. Ång/vatten-blandning ut ur kokarelementen Steam/water mixture out from boiler elements	263	1950
7. Vattenavskiljning Water separation	263	216
8. Ånga in i överhettarkana- lerna Steam into superheater channels	263	215
9. Ånga ned genom överhettar- elementen*) Steam down through super- heater elements	263	215
10. Ånga i förbindelse med iso- leringsspalt Steam in connection with insulating annulus		litet small
11. Överhettad ånga ut gm över- hettarnas utloppsdyror Superheated steam out through superheater outlet nozzles	475	215
12. Överhettad ånga till ångsamlingslåda & turbin Superheated steam to steam header & turbine	472	215

*) Vid drift med mättad ånga är denna kanal tom.
These channels are empty during saturated
steam operation.

8.3 Bränslehantering

Bränslet kunde flyttas med hjälp av en i reaktortanken inbyggd bränsleförflyttningsmaskin. Avsikten var att man skulle kunna förflytta kokarelement under drift från en position i reaktorn till en annan. Detta för att man ville åstadkomma bättre medelutbränning av bränslet.

Man skulle också under drift kunna byta ett använt bränsleelement mot ett färskt genom slussmaskinen under reaktortanken. Under hanteringen kylde det använda bränslet genom att kylvatten sprejades över bränsleelementet.

Totalt tillverkades 154 kokarbränslepatroner till Marviken under åren 1967 och 1968 vid Atomenergis bränslefabrik på Lövholmen i Stockholm. 68 av dess innehöll anrikat uran och resten, 86 st, försågs med naturligt uran.

Det anrikade uranet för kokarbränslet köptes från det brittiska atomenergiorganet UKAEA och levererades 1967. Samma år levererades också större delen av det tunga vattnet från Savannah River i South Carolina, USA.

På nästa sida visas en illustration över bränslehanteringen inne i reaktorn och hur bränslet skulle föras in och ur reaktorn.

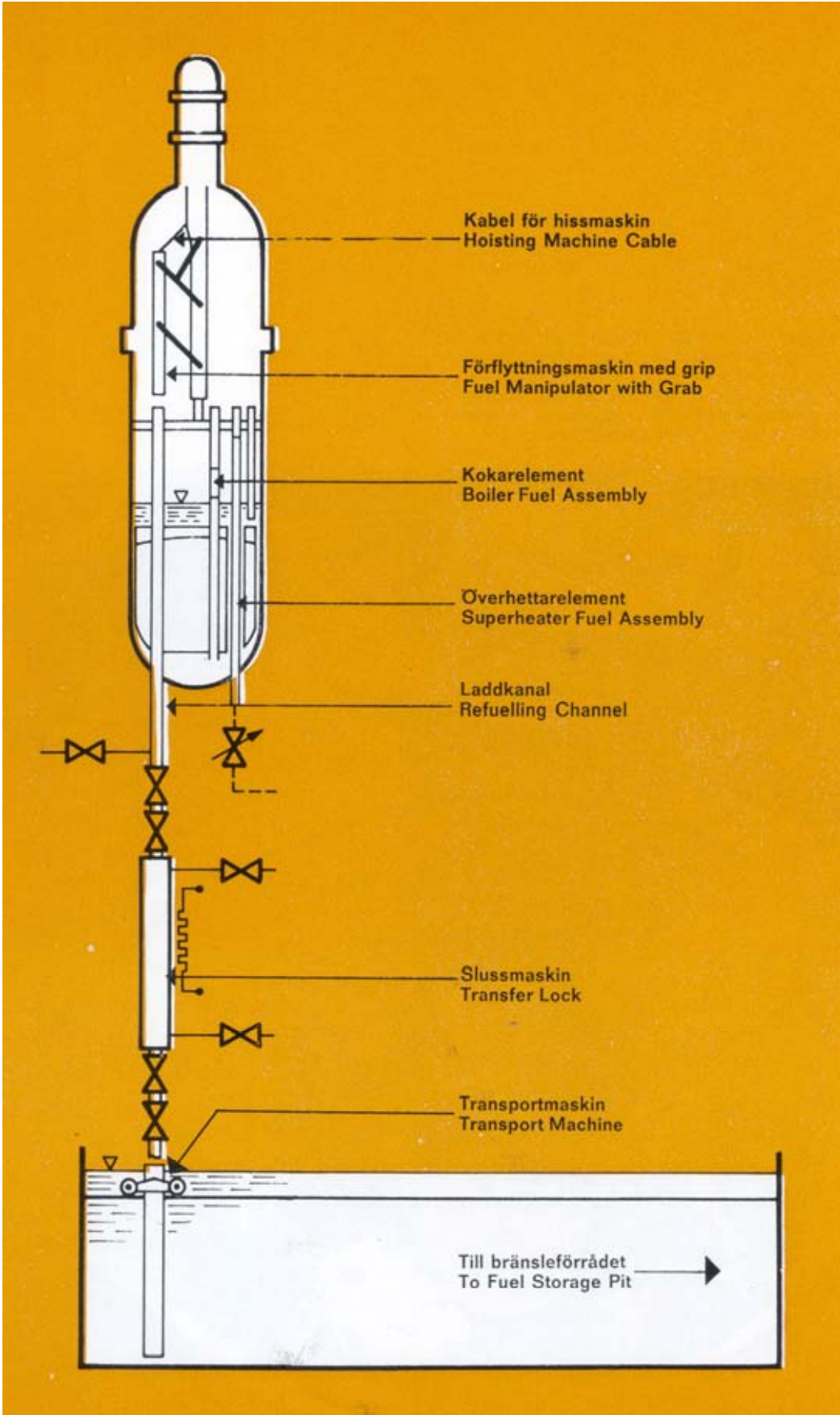
8.4 Turbinen

Marvikenturbinen levererades av STAL (numera Alstom) i Finspång. Det är en 200 MW turbin, där högtrycksdelen består av en motrotation radial turbin och sex lågtryckssektioner med axialflöde. Det var den första – och troligen den enda – kraftverksturbin byggd för tungvattenånga någonstans i världen.

De höga kostnaderna för tungt vatten gjorde det nödvändigt att hålla utläckage av tung vattenånga på en låg nivå och att minska risken för tubbrott i turbinkondensorn.

Speciella axeltätningar konstruerades varvid torr luft användes som ett tätningsmedel mellan den tunga vattenångan och atmosfären. Läckaget av tungt vatten ansågs kunna bli mindre än 250 kg per 6000 drifttimmar.

Kondensorns tubinfästningar förstärktes och man räknade med maximalt två tubbrott per driftår. Dessa skulle kunna leda till ett läckage av högst 100 kg lätt vatten per år in i tungvattensystemet.



9 Nerläggningen av Marviken

De reaktor fysikaliska beräkningarna för Marvikenhärden genomfördes av en grupp från Atomenergi, Vattenfall och Asea.

Temperaturkoefficienterna för bränsle och moderator var betryggande negativa. Även för den s.k. voidkoefficienten (eller ångblåskoefficienten) visade tidigare beräkningarna på tillfredsställande negativa värden, men osäkerheten i beräkningarna var stora.

Vid de förfinade beräkningar som gjordes under senare hälften av 1960-talet framkom det att den sammanlagda effektkoefficienten skulle bli svagt positiv efter en tids utbränning. Dynamiska beräkningar visade dock att reaktorns regelsystem med de beräknade reaktivitetskoefficienterna kunde dämpa ut de små reaktivitetsstörningarna och hålla effekten konstant.

Provdriften i Marviken visade på behov av vissa ändringar och kompletteringar som skulle medföra ytterligare förseningar och fördröjningar.

Personal från Atomenergi, Vattenfall och Asea Atom med hjälp av vissa konsultföretag arbetade under hösten/vintern 1969/70 med att ta fram ett fullständigt tekniskt/ekonomiskt underlag ett färdigställande av Marviken. Man kom då fram till följande:

- Stabilitetsegenskaperna hos reaktorhärden var ogynnsamma (liknande egenskaper fanns dock i de kanadensiska reaktorerna) och det ansågs nödvändigt med en ändring av bränsleknippets konstruktion, ökning av antalet bränsleelement samt ändring av anrikningsgraden
- De värmetekniska systemen för avblåsning av ånga från reaktorn samt för hjälpkylning vid eventuella fel och haverier behövde ändras
- Nytt system för reaktorns avstängning behövdes

Dessutom ansåg Atomenergi att begränsningar i reaktorns prestanda skulle behövas under inledningen av driften. Den nukleära provdriften skulle därmed inte kunna avslutas förrän i början av 1973.

En bidragande orsak till det omfattande åtgärdsprogrammet var säkerhetsfrågorna. Den amerikanska atomenergikommissionen hade 1967 fastställt nya kriterier för reaktorsäkerhet som blev normgivande även i andra länder. Det visade sig omöjligt för Marviken att utan väsentliga ombyggnader klara de nya säkerhetskriterierna.

Mot denna bakgrund ställde Atomenergi frågan om värdet från utvecklingssynpunkt av att färdigställa Marviken motsvarade de ökade kostnaderna och behovet av ytterligare insatser från en rad experter. Bolaget konstaterade att marknaden för tungvattenreaktorer försämrats och att lättvattenreaktorerna nu var helt dominerande. Ett fortsatt arbete med tungvattenreaktorer skulle splittra de begränsade svenska resurserna.

I april 1970 beslöt därför Atomenergi föreslå en nerläggning av Marvikenprojektet och bindande beslut togs av regeringen någon månad senare.

10 Marviken och planer på svensk atombomb

Det är ett faktum att den svenska regeringen och ÖB under hela 1950-talet var inställda på att skapa förutsättningar för svenska atombomber. Därmed fanns det militära skäl till satsning på den svenska linjen – naturligt uran från egna gruvor som reaktorbränsle i svenskbyggda reaktorer med tungt vatten som moderator/kylmedel.

Det är därför inget tvivel om att planerna under sista hälften av 1950-talet på R3 och R4 aktivt understöddes av försvaret och av regeringen. Den ursprungliga utformningen av Marviken med naturligt uran och bränslebyte under drift passade också väl in i de militära aspekterna på den svenska linjen.

Men i slutet av 50-talet hände en del som kom att påverka synen på den svenska linjen. USA ställde anrikat uran till förfogande för den internationella handeln liksom en mängd detaljinformation om den reaktortekniska utvecklingen i USA. Detta påverkade tidigt AKK att inrikta sig på en lättvattenreaktor med anrikat uran som bränsle. AKK var till skillnad från Atomenergi och Vattenfall oberoende av de militärpolitiska aspekterna och låsningen till den svenska linjen. AKKs agerande påverkade teknikerna i Vattenfall och så småningom också regeringens energipolitik.

Den andra faktorn som påverkade den politiska inställningen mot den svenska linjen var ett kraftigt ökat motstånd mot svenskt atomvapen inom socialdemokratien.

I februari 1962 blev den s.k. kärnladdningsgruppens rapport klar. Den hade beställts av ÖB och delvis utförts av FOA. I den rapporten ansågs fortfarande Marviken vara det bästa alternativet för att producera vapenplutonium för svenska atombomber. Ett problem som identifierades var att reaktorns tunga vatten skulle köpas från USA, som skulle komma att kräva rätt att inspektera reaktorn så att den inte kördes med inriktning att framställa vapenplutonium. Därför ansåg det viktigt att man snarast träffade avtal med Norge om import av tungt vatten.

Under de därpå närmast följande åren förändrades förutsättningarna ytterligare för den svenska linjen och i ÖBs försvarsutredning 1965 har ÖB helt övergett tankarna på att använda Marviken. Nu var det enbart frågan om att få fram en särskild reaktor optimerad enbart för produktion av vapenplutonium. Dessutom kräver ÖB i sin skrivelse inte något beslut om svenskt atomvapen utan förespråkar handlingsfrihet, dvs beredskap att senare eventuellt besluta om svenskt atomvapen.

I och med beslutet 1963 att övergå till Marviken –K200 som innebar användning av anrikat uran försvann i praktiken möjligheten att använda Marviken för produktion av vapenplutonium. Visserligen fanns reservutgången att driva reaktorn med naturligt uran men den tillkom enbart av bränsleförsörjningsskäl – alltså inte för att möjliggöra produktion av vapenplutonium. Om man hade börjat använda importerat anrikat uran i reaktorn skulle hela anläggningen, inte vara bränslet, ställas under internationell kontroll. Därmed uteslöts alla möjligheter att använda plutonium producerat i Marviken för militära ändamål.

I 1968 års försvarsproposition hävdades att det inte låg i Sveriges intresse att skaffa kärnvapen. Den 9 januari 1970 ratificerade Sverige det internationella avtalet om icke-spridning (NPT).

Flera personer inom svensk kraftindustri och en del journalister har hävdat att den i Marvikens reaktortank inbyggda bränslebytesmaskin var ett tydligt bevis på att reaktorn konstruerades med möjlighet att producera s.k. vapenplutonium.

För att kunna producera sådant plutonium i en kraftreaktor måste man nämligen ha möjlighet att ta ut bränslet efter kort tids drift eftersom hög utbränning gör det omöjligt att använda det bildade plutoniet i en atombomb. Men att stänga av en kraftreaktor många gånger per år leder till låg drifttillgänglighet och dålig driftekonomi.

Peter Margen, ansvarig för reaktorutvecklingen inom Atomenergi, har i sina minnesanteckningar skrivit följande om kopplingen mellan Marvikenprojektet och militärens önskan att få tillgång till vapenplutonium:

“As I explained above, our design team at Atomenergi had introduced the requirement that it should be possible to refuel at full reactor pressure, and thereafter even at full load for purely economic reasons, initially as part of the studies of future large scale plants, and then in our suggested design for R4/Eve. In our discussion with Atomenergi management, the fact that this could also be of value if a situation would arise in future where the production of military plutonium became desirable was mentioned, but never as a directive for our design work.”

Bengt Pershagen, ansvarig inom AB Atomenergi bl.a. för de omfattande reaktorfysikaliska beräkningarna inom Marvikenprojektet skriver i sin skrift ”Yrkesliv” (sid. 83) mera generellt om sin syn på kopplingen mellan den civila och militära användningen av atomenergin:

”Självklart var vi medvetna om att atomenergin hade utvecklats i krigets tjänst, men det bekymrade oss inte eftersom vi enbart sysslade med fredliga tillämpningar. Mycket av den moderna tekniken hade ju för övrigt militär bakgrund, t.ex. radar, jetmotorn och datorn. Plutonium betraktade vi som ett värdefullt reaktorbränsle, lika kostbart som guld.”

11 Alternativ användning av Marvikens kraftstation

11.1 Oljeeldat reservkraftverk

Efter nerläggningen av Marvikenprojektet byggde Vattenfall till en oljeeldad panna som nu förser den ursprungliga turbinen med ånga. Verkningsgraden är låg, drygt 30 %, och någon längre tids drift har aldrig varit aktuell. Marviken används emellertid fortfarande (2007) som reservkraftverk på 200 MW för kortare elbristsituationer t.ex. vid haverier i andra kraftverk eller vid extrem kyla (dvs. vid behov av s.k spetslast).

Svenska Kraftnät nuvarande kontrakt med Vattenfall om Marviken som effektreserv sträcker sig fram till februari 2008.

11.2 Internationellt experiment för reaktorsäkerhet

Marviken liksom alla lättvattenreaktorer i världen är försedda med en reaktorinneslutning. Den nerlagda Marvikenreaktorn innebar en möjlighet att göra realistiska försök i full skala enligt denna princip. Under 1972 – 1985 genomfördes i Marviken fem experimentserier med sammanlagt ett 60-tal försök med kylmedelsbortfall och 5 experiment med aerosoltransport av inaktiva ämnen simulerande frisläppta klyvningsprodukter från en härdsälta.

Ett stort antal länder i Europa samt USA, Kanada och Japan bidrog med finansieringen. Försöken samordnades med andra reaktorsäkerhetsexperiment i Tyskland och USA. Dessa arbeten har gett ett säkrare underlag för bedömning av konsekvenserna av ett stort reaktorhaveri i en lättvattenreaktor. Experimenten beskrivs i Bilaga 2 av Oddbjörn Sandervåg som medverkade i experimenten.

12 Var Marviken till någon nytta?

Marvikenprojektet innebar onekligen en stor ansträngning ekonomiskt och resursmässigt men ledde inte till någon nukleär kraftproduktion. Man kan mot den bakgrunden ställa frågan om Marviken var till någon nytta. Hade projektet någon betydelse för kompetensuppbyggnaden och den fortsatta utbyggnaden av svensk kärnkraft? En genomgång av litteraturen ger följande åsikter om Marvikens betydelse:

Industriminister Krister Wickman i förordet till ”Svensk atomenergipolitik. Motiv och riktlinjer för statens insatser på atomenergiområdet 1945 – 1960”. Också kallad ”Vitboken om Marviken”. Den gavs ut av Industridepartementet i november 1970:

När det gäller det industripolitiska målet att bygga upp en industriell kapacitet på reaktor- och bränsleområdet kan man konstatera att vi hittills haft framgång. Med bildandet av Asea-Atom för två år sedan tog vi det avgörande steget mot att skapa en självständig och konkurrenskraftig reaktorindustri. Genom att slå samman resurser från Asea och Atomenergi har vi fått ett företag med goda förutsättningar att etablera sig på den snabbt växande men mycket hårda reaktormarknaden. Jag vill särskilt påpeka att Asea-Atom är ett av de få företag i världen som kan leverera hela reaktorsystem utan beroende av utländska licenser.

Olle Gimstedt, VD i AKK och sedan OKG från 1959 till 1980 i boken ”Från Atom till Kärnkraft. Bilder ur OKGs historia” utgiven av OKG 1985:

Därmed inte sagt att Marviken i svensk kärnkrafthistoria skall klassas som ett totalt fiasko. Satsningen på det teknologiskt alltför avancerade Marvikenprojektet innebar naturligtvis att många människor inom Asea Atom, Atomenergi, kraftföretagen och den tillverkande industrin fick mycket viktiga kunskaper och erfarenheter. Dessa kom sedan till nytta vid konstruktion och bygge av Oskar I och dess efterföljare. Men nog hade man kunnat skaffa dessa erfarenheter på ett betydligt billigare sätt än genom att gå omvägen över Marviken.

Curt Nicolin och Lars Leine från Asea resp. Asea Atom och Ingvar Wivstad från Vattenfall refereras i Sigfrid Leijonhufvuds bok ”Parentes? En historia om svensk kärnkraft” utgiven av ABB Atom 1994:

Både Curt Nicolin och Lars Leine förklarade visserligen i intervjuer med författaren 1994 att staten borde ha avvecklat den svenska linjen senast i början av 60-talet för att i stället satsa på lättvattenteknik. Man skulle ha lärt sig mycket på den vägen, men till mycket lägre kostnad för samhället.

Ingvar Wivstad, som alltså tillhörde de tidiga kritikerna av Marvikenprojektet, håller inte med: Den kostsamma övningsuppgiften Marviken bidrog till att utbilda en teknikergeneration och blev – trots allt – viktig för Aseas kompetensutbyggnad.

Tillspetsat kan man ur den synvinkeln säga att Marvikenprojektet havererade vid optimal tidpunkt – det tekniska arbetet var i huvudsak avslutat, anläggningen var inte tagen i drift och nu behövdes personalen för nya arbetsuppgifter. ”Utan Marviken hade

Asea aldrig ensam klarat Oskarshamn 1", slår Wivstad fast samtidigt som han betonar att den insatsen med tanke på resurserna ändå var magnifik.

Det kan tilläggas att utöver kunskapsinhämtandet inom Asea-koncernen från Marvikenprojektet fick Asea också betalt på samma sätt som om projektet hade genomförts men utan något garantiåtagande. Den företagsekonomiska vinsten blev, i dåtidens penningvärde, 65 miljoner kronor.

13 Kronjuvelerna i svensk kärnkraftteknik

Från ett industriellt perspektiv år 2007 kan man tillägga att svensk kärnkraftteknik, som ju på olika sätt utgår från erfarenheterna med Marvikenprojektet, skapat ett antal kronjuveler, som fortfarande är företagsmässigt mycket lönsamma:

1. Den kokarreaktor som Asea Atom levererade till OKG och som sedan vidareutvecklades är fortfarande driftekniskt lönsamma anläggningar i Oskarshamn, Ringhals, Forsmark och Olkiluoto (Finland). Totalt levererades elva reaktorer av denna typ.
2. Bränslefabriken i Västerås är sedan länge och fortfarande en av de främsta på världsmarknaden för leverans av kärnkraftbränsle både till BWR och PWR.
3. Sandvik är världsledande (inklusive den amerikanska marknaden) när det gäller tillverkning av kapslingsrör till kärnbränslestavar i zircaloy.
4. Scandpower, tidigare Studsvik of America, dominerar på världsmarknaden när det gäller programvara för reaktor fysikalisk planering och uppföljning av reaktorhårdens drift, s.k core management.

14 Slutord

Det känns naturligt att avsluta denna berättelse om Marviken med följande citat ur Bengt Pershagens bok "Yrkesliv" (sid. 109):

"Den svenska linjen gick definitivt i graven 1970 då Marviken lades ner. Men den 20-åriga statliga satsningen hade skapat förutsättningar för svensk industri att självständigt utveckla och marknadsföra lättvattenreaktorer, något som inget annat land, undantaget USA, lyckats med. Tungvattenreaktorn var död, leve lättvattenreaktorn."

Källor

- Reaktorn. AB Atomenergis personaltidning. Diverse nummer utgivna under åren 1962 till 1970.
- Diverse handlingar om Marviken i Studsvik AB's arkiv
- G. Bergström och O. Norinder. The Marviken Power Station. Nuclear Engineering International July 1969.
- Carsten B. Olesen. Heavy water steam turbine. Nuclear Engineering International July 1969.
- Svensk atomenergipolitik. Motiv och riktlinjer för statens insatser på atomenergiområdet 1947 – 1970. Också kallad Vitboken om Marviken. Utgiven av Industridepartementet 1970.
- Olle Gimstedt. Från Atom till Kärnkraft. Bilder ur OKGs historia. Utgiven av OKG 1985.
- Harry Brynielsson. Utvecklingen av svenska tungvattenreaktorer 1950 - 1970. Daedalus 1989/90. Tekniska Museet.
- Stefan Lindström. Hela Nationens Tacksamhet. Svensk forskningspolitik på atomenergiområdet 1945 – 1956. Utgiven av Statsvetenskapliga institutionen SU 1991
- Anki Schagerholm. För het att hantera. Kärnkraftfrågan i svensk energipolitik 1945 - 1980. Uppsats från Historiska institutionen i Göteborg 1993.
- Sigfrid Leijonhufvud. Parentes? En Historia om Svensk Kärnkraft. Utgiven av ABB Atom 1994.
- Johan Anshelm. Mellan Frälsning och Domedag. Om kärnkraftens politiska idéhistoria i Sverige 1945 – 1999. Utgiven på Brutus Östlings Bokförlag Symposion år 2000.
- Thomas Jonter. Försvarets Forskningsanstalt och planerna på svenska kärnvapen. SKI Rapport 01:5
- Kjell Johansson. Studsvik Achievements in the Field of Reactor Safety, and Present Swedish Policy on Severe Accident Mitigation. Studsvik Report, Studsvik/NP-89/117
- Bengt Pershagen och Carl-Erik Wikdahl (redaktörer). Kärnenergin 50 år. Utgiven 1992 av IVA, Föreningen Kärnteknik och Tekniska Museet. Finns tillgängligt på www.analys.se
- Bertil Filipsson. Bränsleminnen. 1995 (?)

- Peter Margen. Development of reactor concepts and technology in Sweden 1955 – 1970. Personal recollections, draft 1994 – 1995. En kopia finns hos författaren till denna rapport.
- Bengt Pershagen. Yrkesliv. Minnesanteckningar 2002. En kopia finns hos författaren till denna rapport.

Bilaga 1: Från tungt till lätt vatten. Utvecklingen i Sverige 1945 – 1974

Den följande texten utgör en lätt bearbetning och komplettering av motsvarande text i häftet "Kärnenergin 50 år", utgiven av IVA, Föreningen Kärnteknik och Tekniska Museet den 2 december 1992.

1945

Atomkommittén inrättades. I kommittén ingick ett tiotal representanter för statlig förvaltning, vetenskap och industri.

1947

AB Atomenergi bildades med staten som huvudägare och ensam ansvarig för kostnaderna. Företagets uppgift angavs vara att få till stånd en insats så att ett program för praktiskt utnyttjande av kärnenergin skall kunna genomföras inom rimlig tid.

1953

Ett extraktionsverk för framställning av uran startade i Kvarntorp i Kumla kommun. Anläggningen hade en kapacitet på 5 ton uran per år.

1954

Den första svenskbyggda forskningsreaktorn R1 blev kritisk den 13 juli i ett bergum vid Drottning Kristinas väg i Stockholm. Reaktorns värmeeffekt var 600 kW.

1955

Atomenergis forskningsstation i Studsvik började byggas. Atomkraftkonsortiet Krångede AB & Co (AKK) bildades. De ursprungliga intressenterna var Krångede, Sydkraft, Stockholms Elverk, Stora Kopparberg, Uddeholm, Skandinaviska Elverk, Hammarforsen och Gullspång.

1956

Den statliga atomenergiutredningen lämnade sitt betänkande. Den förslog ett kraftfullt utvecklingsarbete med inriktning på "reaktorer med naturligt uran och tungt vatten för värmeverk med eller utan elgenerering och stora elkraftverk". AB Atomenergi föreslogs få huvudansvaret för utvecklingsarbetet.

1957

Tillstånd gavs enligt atomenergilagen för reaktorn R3 i Ågesta utanför Stockholm. Reaktorns effekt angavs till 65 MW, 55 MW värme och 10 MW el. Ägare var Vattenfall, Atomenergi och Stockholms Elverk.

Avtal tecknades mellan Vattenfall och Atomenergi om samarbete för ett kärnkraftverk om 100 MW med en reaktor R4 med tungt vatten under tryck. Atomenergi skulle svara för reaktordelen och Vattenfall för stationen i övrigt samt för driftorganisationen.

1958

Regering och riksdag anvisade de första medlen till ett kärnkraftverk i Marviken och beslutar om ett uranverk i Ranstad med en kapacitet på 120 ton uran per år.

1959

AKK lämnade in koncessionsansökan för "Simpevarps atomkraftverk". Ansökan baserades på en preliminär offert från General Electric, USA, på en 60 MW kraftstation med en kokvattenreaktor.

Forskningsreaktorn R0 togs i drift i Studsvik. I den kunde man göra kritiska mätningar vid "nolleffekt" för studium av reaktor fysikaliska egenskaper hos anordningar av uranbränsle och tungt vatten.

1960

Materialprovingsreaktorn R2 startade i Studsvik. Det var en amerikansk lättvattenreaktor av bassängtyp ("swimmingpool - reaktor") med höganrikat uran som bränsle och en initial effekt av 30 MW värme.

1962

Marvikenreaktorn lades om från tryckvattenreaktor till kokvattenreaktor med naturligt uran och tungt vatten.

ASEA började utveckla en kokvattenreaktor med anrikat uran och lätt vatten.

1963

Regeringen beviljade koncession för Marviken som tungvattenreaktor med kokning och möjligheter till nukleär överhettning. Effekten var till 200 MW vid drift med överhettning och låganrikat uran. Beredskapsdrift med naturligt uran var en möjlighet.

1964

Ågesta nådde full effekt och startade leverans av värme och el under våren.

AKK begärde anbud från ASEA på ett kärnkraftverk med en kokvattenreaktor baserad på drift med anrikat uran och lättvatten och med en effekt på minst 300 MW. ASEA lämnade i november en preliminär offert på ett nyckelfärdigt kraftverk med en effekt på 400 MW.

1965

Oskarshamnsverkets Kraftgrupp AB (OKG) bildades och beställde Oskarshamn 1.

Ranstadverket startade provdrift.

ASEA och Atomenergi träffade ett samarbetsavtal om utveckling av lättvattenreakortekniken (huvudsakligen avsågs samarbete med tillverkning av uranbränsle).

1966

Regeringen beviljade koncession för Oskarshamn 1.

1967

OKG träffade avtal med en amerikanska atomenergikommissionen om köp av anrikat uran för Oskarshamn 1.

1968

ASEA Atom bildades genom avtal mellan staten och ASEA. Avtalet skulle gälla till och med 1979.

Vattenfall beställde Ringhals 1 på 750 MW, med en kokvattenreaktor, från ASEA Atom och Ringhals 2 på 800 MW, med en tryckvattenreaktor, från Westinghouse.

1969

OKG beställde Oskarshamn 2 och Sydkraft Barsebäck 1 (med option för Barsebäck 2) från ASEA Atom. Samtliga aggregat hade en effekt på 600 MW.

Provdriften och uranproduktionen i Ranstad upphör.

1970

Regeringen beslutade att avveckla Marvikenprojektet.

1971

Oskarshamn 1 fasades in på elnätet för första gången i augusti.

Vattenfall beställde Forsmark 1 och 2 från ASEA Atom och Ringhals 3 och 4 från Westinghouse.

1972

Oskarshamn 1 startade kommersiell drift med en effekt på 440 MW.

1973

OKG ansökte om koncession för Oskarshamn 3.

1974

Driften i Ågesta avbröts och verksamheten avvecklades.
Kommersiell drift av Oskarshamn 2 startade.

Bilaga 2: Marviken-experimenten – Internationell samverkan om forskning inom reaktorsäkerhet

Oddbjörn Sandervåg

Eftersom Marviken-reaktorn i praktiken hade byggts färdig fanns möjligheten att utnyttja reaktordelen för säkerhetsteknisk forskning. En stor fördel för den experimentella forskningen var att reaktorn inte hade laddats med kärnbränsle vilket väsentligt förenklade arbeten i reaktorn. Grundläggande experiment gjordes för att verifiera de analyser som på många områden låg till grund för säker drift av våra kärnkraftverk.

Under perioden 1972 till 1981 genomfördes ett stort antal experiment som simulerade rörbrott. Under åren 1982-1985 studerades spridning av aerosoler i primärsystemet för att öka kunskapen om hur klyvningsprodukter kan spridas efter en härdsmlta. Radioaktiva material användes dock inte under dessa experiment.

Ett stort antal länder i Europa samt USA, Kanada och Japan bidrog med finansieringen. Försöken samordnades med andra reaktorsäkerhetsexperiment i Tyskland och USA. Dessa arbeten har gett ett säkrare underlag för bedömning av konsekvenserna av ett stort reaktorhaveri i en lättvattenreaktor.

Experimenten aktualiserades i samband med uppstarten av en kokvattenreaktor i Würgassen i Tyskland. Vid ångavblåsning genom säkerhetsventilerna upptäcktes att det blev stora belastningar på strukturer i reaktorinneslutningens kondensationsutrymme.

PS-principen

Som alla kokvattenreaktorer hade reaktorn i Marviken försetts med en så kallad PS-inneslutning av Mark II-typ där PS står för "Pressure Suppression" - trycknertagning. PS-principen innebär att det finns en stor värmesänka i inneslutningen i form av en stor vattenbassäng, där frigjord ånga från ett rörbrott eller från reaktorns ångavblåsningsventiler kondenseras.

Genom PS-principen kan inneslutningarna byggas mycket mindre och för ett väsentligt lägre tryck än vad annars skulle vara fallet. Under ett rörbrott kommer reaktorinneslutningens gas, för svenska verk kvävgas, i det torra utrymme som omger själva reaktorn, "drywell", att transporteras genom kondensationsbassängen till kompressionsutrymme över bassängen medan ångan kondenseras i bassängen. Kompressionsutrymme och bassängen betecknas ofta som "wetwell" eller kondensationsutrymme. Sluttrycket i en PS-inneslutning bestäms i huvudsak av förhållandet mellan volymen i drywell och volymen i kompressionsutrymme.

PS-principen används för alla kokvattenreaktorer och även för några tryckvattenreaktorer. För vissa VVER-reaktorer byggda i Östeuropa har man installerat så kallade bubbel-kondensorer. För vissa inneslutningar för tryckvattenreaktorer har t ex is ersatt vatten som värmesänka. Att det kan vara gynnsamt för säkerheten att ha

tillgång till en stor värmesänka i inneslutningen illustreras av det faktum att flera nya konstruktioner av tryckvattenreaktorer har detta.

Samtliga svenska kokvattenreaktorer har inneslutningar av Mark-II-typ. Detta är en beteckning som används för General Electrics reaktorer. I inneslutningar av Mark-II-typ blåses ångan ned till wetwell genom ett stort antal vertikala nedblåsningrör.

Första experimentserien

Efter händelserna i Würgassen ville man verifiera att PS-principen fungerade och inneslutningsexperiment genomfördes i Marviken. Den första experimentserien genomfördes under åren 1972- 73. Under denna experimentserie genomfördes 16 simulerade rörbrott. Man passade även på att inhämta en hel del annan information om rörbrott i inneslutningar i samband med experimenten som t ex effekter av brottstorlek, energifördelning i inneslutningen, nivåhåvningsbelastningar, temperaturfördelning i kondensationsbassängen, transport av jod och beteende av olika typer av elektriska komponenter och instrumentering. Även olika typer av färg och termiska egenskaper för betong provades.

Experimenten visade att PS-principen fungerar. Det upptäcktes att stående trycksvängningar uppträdde i inneslutningen och att dessa kunde påverkas av olika betingelser. Kondensation av ånga i bassängen medförde kraftiga dynamiska förlopp. Det aktuella problemet med dynamiska belastningar på grund av avblåsning av ånga från reaktortanken till kondensationsbassängen kunde åtgärdas genom utveckling och installation av anordningar för att bättre fördela ångflödet till bassängen.

Andra experimentserien

I den andra experimentserien fokuserade man på dynamiska förlopp i kondensationsbassängen och att ta fram data som kunde belysa fundamentala egenskaper förknippade med kondensationsprocessen. Denna serie omfattade 8 simulerade rörbrott och genomfördes under åren 1975-76. Ett av proven användes som ett internationellt standardproblem vilket innebar att forskare från olika länder fick prova sina egna modeller för att beräkna förloppen. Under denna serie hade man installerat bättre instrumentering och snabbare registreringsutrustning. Ett av syften var att undersöka dynamiska förlopp så kallade kondensationsoscillationer och ”chugging” som kunde medföra stora hydrauliska belastningar. Resultaten visade att belastningarna från nedblåsning genom ett större antal nedblåsningrör gav laster som kunde hanteras.

Kritiskt flöde

Den tredje experimentserien som genomfördes i Marviken-stationen var undersökning av kritiskt flöde i full skala. Projektet genomfördes under åren 1977-78. Kritiskt flöde är det maximala flödet som kan strömma ut genom ett rörbrott och har därför stor betydelse när det gäller belastningar på reaktortankens interna delar och hur snabbt reaktortanken töms på vatten, och även för belastningarna på inneslutningen. De modeller som användes innan experimenten i Marviken var baserade på utförda experiment i liten skala.

En aktuell säkerhetsfråga var i vilken grad termodynamisk ojämvikt förekommer i tvåfasflöden. Farhågan var att flödet skulle kunna mångdubblas vid utströmning genom studsar med stor diameter och kort längd. Hypotesen var att detta skulle kunna orsakas av fördröjning av förångningen på grund av ojämvikt mellan faserna. Därmed skulle dimensioneringsunderlaget för interndelar och inneslutning kunna ifrågasättas.

Innan experimenten gjordes stora ändringar i anläggningen. Man tog upp stora öppningar mellan drywell och wetwell eftersom flödena var för stora för att PS-principen skulle kunna användas. I stället blåstes ångan ut till omgivningen utanför reaktorbyggnaden. Totalt genomfördes 27 prov med rördiametrar upp till 0.5 meter. Det maximala uppmätta flödet blev över 20 ton per sekund.

Experimenten visade att flödena kunde bli några procent högre på grund av termodynamiskt ojämvikt. Sådana effekter ligger väl inom de marginaler som fanns och det kunde verifieras att de beräkningsmodeller som användes gav en god beskrivning av förloppen. De data som samlades från experimenten är fortfarande den viktigaste basen för utvärdering av modeller för kritiskt flöde.

Hydrauliska belastningar från en jet-stråle

Den fjärde experimentserien hade som syfte att verifiera fullskaliga belastningar på komponenter och inneslutningsvägg orsakade av brottflödet. Projektet genomfördes 1980-81 med totalt 12 experiment. Experimenten omfattade mätningar i fria strålar, på en platta och mot andra mål.

Resultaten verifierade tillämpbarheten av de konservativa, teoretiska modeller som hade använts för att beräkna krafter och belastningar från flödet nedströms ett rörbrott. Resultaten visade att jetstrålen blev kraftigt överexpanderad och att tryckfältet nära brottstället snabbt försvann. Mycket kraftiga gradienter observerades axiellt och radiellt i strålen. En slutsats var att effekterna nedströms en expanderande stråle kunde bli väsentligt mindre än det som beräkningarna gav. Data från experimenten med jetstrålar i Marviken användes kvalitativt för att identifiera viktiga fenomen vid lossrivning av isoleringsmaterial vid ett rörbrott. Kvantitativa data blev dock aldrig använda för metodutveckling eftersom det ansågs att beräkningsteknologin inte var tillräckligt mogen för att kunna hantera denna typ av fenomen och förlopp.

Spridning av aerosoler i primärsystemet

Den sista experimentserien genomfördes under åren 1982-85 och omfattade 5 storskaliga prov på spridning av aerosoler i primärsystemet. Under en hypotetisk hardsmälta kommer en del av kylmedlet, bränslet och konstruktionsmaterialet att förångas och blandas. Det förångade materialet transporteras till kallare delar av systemet där det kondenserar och bildar aerosolpartiklar. Dessa kan utgöra en risk för utsläpp från primärsystemet. Dock kan en stor del av materialet på grund av olika fenomen stanna kvar i primärsystemet. Det huvudsakliga syftet med experimenten i Marviken var att etablera en databas för spridning av ångor och aerosoler i full skala från en överhettad härd. Databasen användes för att validera modeller som används vid analys av svåra haverier.

Fissionsprodukterna simulerades genom förångning av cesiumhydroxid, cesiumjodid och tellurium och härdmaterial genom förångning av silver och mangan. Endast icke-radioaktivt material användes. Information samlades bland annat om aerosolkoncentration, partikelstorlekar, depositionshastighet och koncentration av ånga allteftersom materialet transporterades genom systemet. Resultaten visade bland annat att transporten dominerades av aerosolfenomen även vid höga temperaturer.

www.ski.se

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION
Swedish Nuclear Power Inspectorate

POST/POSTAL ADDRESS SE-106 58 Stockholm

BESÖK/OFFICE Klarabergsviadukten 90

TELEFON/TELEPHONE +46 (0)8 698 84 00

TELEFAX +46 (0)8 661 90 86

E-POST/E-MAIL ski@ski.se

WEBBPLATS/WEB SITE www.ski.se

www.ski.se

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION
Swedish Nuclear Power Inspectorate

POST/POSTAL ADDRESS SE-106 58 Stockholm

BESÖK/OFFICE Klarabergsviadukten 90

TELEFON/TELEPHONE +46 (0)8 698 84 00

TELEFAX +46 (0)8 661 90 86

E-POST/E-MAIL ski@ski.se

WEBBPLATS/WEB SITE www.ski.se