

# Erfarenheter av den svenska linjen tungt vatten och naturligt uran i Ågesta kraftvärmeverk

---



Av Alvar Östman  
November 2002

---

ISSN 1104-1374  
ISRN SKI-R--02:54--SE

**SKi**







## Förord

Denna rapport är en kort beskrivning av erfarenheterna av den s.k. svenska linjen på 50- och 60-talen för kärnkraftanvändning. Förutsättningarna för den svenska linjen och erfarenheter av densamma behandlas. Den ursprungligen tänkta användningen var som kraftvärmeverk för ett tiotal större tätorter i mellan- och syd Sverige samt för elproduktion. Kulvertkostnaderna krävde en närförläggning, denna förutsatte av säkerhetsskäl en bergsumsförläggning. En forskningsreaktor R1 uppfördes vid Kungliga Tekniska Högskolan som var i drift 1954-1970. Ågesta Kraftvärmeverk blev det enda fullskaliga kärnkraftverk som byggdes enligt den svenska linjen och var i drift 1963-1974. Ett stort kärnkraftverk, Marviken utanför Norrköping, kunde aldrig tas i drift pga. säkerhetsskäl trots att anläggningen var färdigbyggd.

Spridning av denna svenska linje uteblev. I stället för små kärnkraftanläggningar byggdes fyra stora elproducerande anläggningar, vars förläggningsplatser bestämdes av andra skäl. Medan den svenska linjens fjärrvärmeinriktning krävde närhet till brukaren kunde ett stort elproducerande kärnkraftverk placeras långt borta från avnämarna. Säkerhetsskäl gynnade glesbefolkade områden, transporter av radioaktivt material skedde lämpligen med fartyg, stora kylvattenbehov förutsatte också kustnära förläggning. Arbetsmarknads-skäl har även varit viktiga vid valet av förläggningsplatser.

Rapporten är grundad på mina egna erfarenheter från arbetet med Ågesta Kraftvärmeverk som anställd vid AB Atomenergi under åren 1957 – 1965. I en separat del bifogas i bearbetat skick Vattenfalls VK6-PM ”Ågesta – Erfarenheter från driften av Ågesta Kraftvärmeverk 1963 – 1974” med Alf Lindfors som huvudförfattare utgiven 1978-08-01.

Alf Lindfors har gjort vissa smärre kompletteringar och minskat omfånget. Jag är stort tack skyldig Vattenfall som generöst ställt sitt material till förfogande. Tidigare kollegor har varit mig till stor hjälp vid införskaffandet av material, de har också beredvilligt svarat på frågor. Jag vill här nämna Arthur Dahlgren f.d. AB Atomenergi, Rune Nilsson från Forsmarks Kraftgrupp AB, ett tack till dem. Till sist vill jag tacka SKI som praktiskt stöder mig, inte minst Britt-Inger Wede.

Dispositionen kunde vara annorlunda t.ex:

- Utveckling i världen
- Konstruktion och byggande av Ågesta
- Drifttagning och drift

Istället har jag valt att i korta stycken beskriva skeenden i Ågesta, t.ex hur olika vägval påverkat anläggningen.

Anläggningen finns beskriven i ett flertal rapporter. Jag vill här framhålla B. Mc Hugh som huvudförfattare av The Ågesta Nuclear Power Station, A Staff Report by AB Atomenergi, Stockholm. Inträffade missöden finns också redogörelser för. Varför haverierna och tillbudet som inträffat är däremot knapphändigare beskrivet. Denna rapport är ett försök att peka på företeelser i tidigare skeenden som senare får konsekvenser.

# Innehållsförteckning

<b>SKI Perspektiv</b>	<b>s. 7</b>
<b>Drömmen om en bättre framtid</b>	<b>s. 9</b>
<b>Varför skulle Sverige bygga kärnkraftverk?</b>	<b>s. 9</b>
<b>Varför skulle Sverige välja en egen kärnkraftlinje?</b>	<b>s. 9</b>
<b>Konstruktion och byggande</b>	<b>s. 10</b>
<b>Provdrift och idrifttagning</b>	<b>s. 14</b>
<b>Nukleär provdrift och drift 1964-1965</b>	<b>s. 15</b>
<b>Ett tänkbart haveri</b>	<b>s. 16</b>
<b>Driftledning</b>	<b>s. 17</b>
<b>Strålskydd</b>	<b>s. 18</b>
<b>Allmänhetens bevakning</b>	<b>s. 18</b>
<b>Drifterfarenheter 1964 - 1965</b>	<b>s. 18</b>
<b>Driften av Ågesta-verket 1965-1974 - tillgänglighet</b>	<b>s. 19</b>
<b>Ågesta läggs ner</b>	<b>s. 20</b>
<b>Kvalitetshöjande arbete</b>	<b>s. 21</b>
<b>Lärdomar</b>	<b>s. 22</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>s. 23</b>
<b>Slutord</b>	<b>s. 27</b>
<b>KÄLLOR</b>	<b>s. 28</b>
<b>ARKIV</b>	<b>s. 28</b>
<b>INTERVJUER</b>	<b>s. 28</b>

*På omslaget syns en bild från Ågestas kontrollrum.*

*Foto: Sören Fröberg ©*

## **ÅGESTA - Erfarenheter från driften av Ågesta kraftvärmeverk 1963-1974**

<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>s. 31</b>
<b>1. INLEDNING</b>	<b>s. 33</b>
<b>2. DRIFT OCH UNDERHÅLL</b>	<b>s. 34</b>
2.1 Driftstatistik	s. 34
2.2 Drifterfarenheter, provdrift	s. 34
2.3 Drifterfarenheter, fulleffektdrift	s. 35
2.4 Underhållserfarenheter, mekanisk utrustning	s. 40
2.5 Underhållserfarenheter, el- och kontrollutrustning	s. 43
<b>3. HÄRDFYSIK OCH BRÄNSLE</b>	<b>s. 45</b>
3.1 Härdfysik	s. 46
3.2 Bränsleteknik	s. 48
<b>4. KEMI</b>	<b>s. 49</b>
<b>5. RADIOLOGISK SÄKERHET OCH HAVERIBEREDSKAP</b>	<b>s. 50</b>
5.1 Strålskydd	s. 50
5.2 Utsläpp och omgivningskontroll	s. 51
5.3 Haveriberedskap	s. 52
5.4 Safeguard	s. 53
<b>6. UTBILDNING</b>	<b>s. 54</b>
<b>BILAGA 1</b>	
Figur 1	s. 55
Figur 2	s. 56

## SKI Perspektiv

När ett land fattar beslutet att använda kärnenergi för sin elförsörjning innebär detta ett stort och långt åtagande. I Sverige inleddes forskningen för att använda kärnenergin i slutet av fyrtiotalet. Kommersiell produktion av värme och el inleddes vid Ågesta 1964. Idag produceras el i elva reaktorer i landet. Hur länge denna produktion kommer att fortgå är oklart men klart är att kärnkraftepoken inte tar slut med detta, utan vi måste också på ett säkert sätt riva anläggningarna och ta hand om avfallet. Detta kräver ytterligare flera decennier.

För att förbättra kunskapen om den första elproducerande reaktorn i Sverige och för att bidra till att dokumentera erfarenheter från drift och uppförande av Ågestareaktorn, har SKI låtit en av dem som var med, Alvar Östman, teckna ner sina erfarenheter. Alvar skildrar i rapporten på ett personligt sätt tidsandan och det politiska klimatet samt jakten på teknisk information och kunskap om hur man konstruerar ett kärnkraftverk. De egna erfarenheterna har inte räckt för Alvar, han har idogt under många års tid letat reda på och intervjuat tidigare kolleger vilka tillika med Alvar var pionjärer inom området.

De erfarenheter som erhöles vid Ågesta har varit av stort värde för drift och tillsyn av dagens kärnkraftverk. Vissa av principerna vi fortfarande vårdar utvecklades vid Ågesta. Det är av stor vikt att SKI:s personal och andra intresserade har kunskap om dessa fakta.

De lärdomar Alvar hämtat från Ågesta är många, men speciellt trycker han på vikten av praktisk teknisk kunskap. Att de som håller på med kärnkraft har grundliga tekniska kunskaper om komponenter och system är något han ofta återkommer till.

Jag känner stor respekt för Alvar som person och som yrkesmänniska. Han har omdöme och respekt för tekniken. Hans eget och kollegers engagemang för att påtala säkerhetsbristerna i Marvikenprojektet är ett tydligt tecken därpå. Ågestas ledning var bland de första som i skrift tog avstånd från Marvikenprojektet, vilket sedermera också skrotades. Jag vill rikta ett stort tack för det enastående arbete Alvar gjort genom att i denna rapport skriva ner sina erfarenheter. Jag vill också rikta ett stort tack till Alf Lindfors på Vattenfall som stött arbetet och även direkt bidragit till rapporten genom att ställa en Vattenfall rapport från 1974 till förfogande. Denna finns bilagd i rapporten.

Christer Viktorsson  
Chef för avdelningen för reaktorsäkerhet vid SKI  
Stockholm den 25 november 2002





## Drömmen om en bättre framtid

Fyra kilometer söder om Stockholmsförorten Farsta ligger Ågesta friluftreservat. Namnen på kartan erinrar om det svunna odlingslandskapet. Effektiva jordbruksmaskiner gynnade stordrift som krävde färre arbetsarmar trots ökad produktion. Den överflödiga befolkningen flyttade in till tätorterna. Bostadsbristen blev besvärande stor framförallt i tätorter och blev ett socialt och politiskt problem. Mot den bakgrunden byggdes Farsta i början av 60-talet och är söderorts motsvarighet till Vällingby.

I spåren av kalla kriget och Marshallplanen gjordes "kärnkraftteknologin" tillgänglig av USA. Ren billig energi skulle underlätta tillvaron för människorna. Hur energiutvinningen skulle gå till i praktiken hade man inte riktigt klart för sig. Flera tekniskt utvecklade länder tog fram egna utvecklingslinjer för användning av kärnkraft. Storbritannien, Frankrike, Italien m.fl. sökte sig fram. Sverige gjorde likadant. USA hade olika tänkbara utvecklingslinjer. T.o.m. Danmark drev vid denna tid en egen linje.

## Varför skulle Sverige bygga kärnkraftverk?

Avspärningen under andra världskriget visade hur beroende landet var av energiimport. Från början av 1950-talet till 1970 sexdubblades oljeleveranserna till den svenska marknaden. Störningar i oljeförsörjningen inträffade. Den första allvarliga störningen inträffade i samband med Suez-krisen 1956. Suez-kanalen stängdes. Oljepriserna steg och brist på olja och bensin uppstod.

En statlig energiutredning SOU 1956:11 s. 7. förespråkade:

*"...förutom experimentreaktorer förutsätter utredningen att 5-6 atomdrivna (kraft-) värmeverk kan tillkomma under den närmaste 10-årsperioden..."*

Utöver argumenten för kärnkraftsutbyggnad såsom elförsörjning, oljeoberoende och teknisk utveckling fanns enligt min mening drömmar om ett bättre liv, med tillgång till egen producerad atomkraftel i samhället. Tidningar skrev om hur mycket energi som fanns i en sockerbitsstorlek urankuts. Hur mycket hårt arbete som krävdes för att praktiskt utvinna denna energi, som antydde bli billig, framgick ej. Sveriges tidigare framgångar inom teknik var också en sporre för att upprepas inom kärnkraftområdet.

## Varför skulle Sverige välja en egen kärnkraftlinje?

Med en egen kärnkraftlinje, den svenska linjen, där man använde naturligt uran och tungt vatten kunde Sverige undgå insyn och hålla vägen öppen för egen kärnvapentillverkning. Svensk import av kärnämnen från USA hade i praktiken inneburit att Sverige ej anskaffade egna kärnvapen. För kontroll av detta skulle svenska anläggningar få inspekteras. Se Svenskt kärnvapen av Thomas Jonter, Sweden and the Bomb, SKI-Report 01:33, 2001. Den svenska linjen förutsatte användning av naturligt uran som kärnbränsle och tungt vatten, D<sub>2</sub>O som moderator och kylmedel. *Fig. 1.*

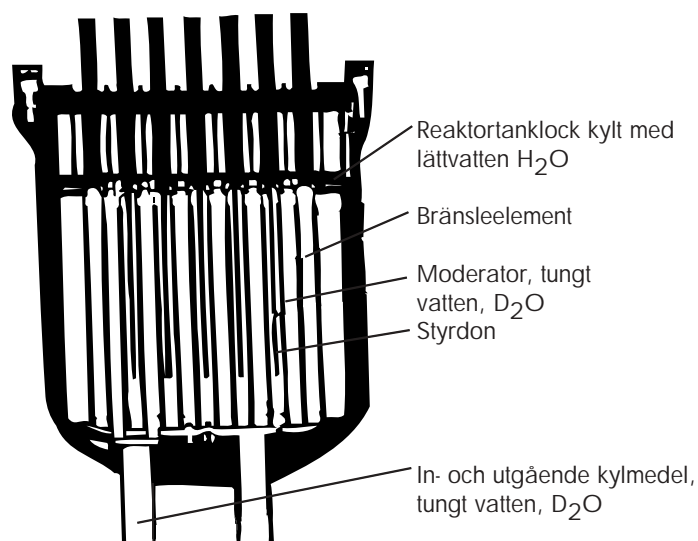
Sveriges urantillgångar är betydande även internationellt sett. Att naturligt uran och ej anrikat uran användes var en följd av de stora kostnaderna för anrikning av den klyvbara isotopen  $U_{235}$  i reaktorbränslet. En ytterligare orsak till valet av naturligt uran som bränsle var den politiska ledningens önskan att ej behöva tillåta inspektion av reaktorläggningar. I kärnenergिसammanhang kallas ofta  $H_2O$  lättvatten. Sveriges nuvarande (2002) elva reaktorer i drift är kylda och modererade med lättvatten. I kombination med naturligt uran hade andra moderatorer än  $D_2O$  varit möjliga t.ex. grafit som är brandkänsligt (Tjernobyl). Lättvatten som moderator skulle ha krävt anrikat uran som bränsle.

De egna urantillgångarna i Kvarntorp och Ranstad, fastän låghaltiga, kunde användas. Tungt vatten kunde köpas från Norge.

Ett ytterligare skäl för en nationell kärnkraftlinje var att stötta egen forskning och industri genom kunskapsbyggnad. Import av amerikansk teknik hade inneburit att makten hade glidit över till industrin, på bekostnad av statens inflytande. Med industrin skall i detta sammanhang förstås ASEA. Självförsörjningen var ett skäl för att använda naturligt uran som bränsle. Viktigt var att vara oberoende av utländsk industri och att anrikning var för dyr i Sverige.

## Konstruktion och byggande

År 1947 etablerade staten och industrin forskningsföretaget AB Atomenergi, som skulle arbeta med kärnenergiforskning. Företagets första stora utmaning var att bygga R1-reaktorn vid KTH (Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm), 1954—70. Frankrike levererade 3 ton uran till R1-reaktorn. R1-reaktorn, se Maja Fjaested, Sveriges första kärnreaktor, SKI-Rapport 01:1, 2001. 13 juli 1954 startade R1 sin drift och användes för neutronfysikalisk forskning. År 1956 tillkom Atomenergilagen. Då skapades tillsynsmyndigheten Delegationen för atomenergifrågor, den bestod av 5 personer. SKI tillkom år 1974 och år 1984 ersattes Atomenergilagen av Kärntekniklagen.



Figur 1. Reaktortank

ASEA-Vattenfall och AB Atomenergi hade var sitt projekt, Adam respektive R3, som slogs ihop till Ågesta kraftvärmeverk. Projekteringen startade 1957. Anläggningen skulle av säkerhetsskäl förläggas i ett bergum, *Fig 2*. Vattenfalls stationsmontageavdelning under Olle Hedström startade montagearbetet 1961. Projektet fick nu en fast form. Kostnadsutvecklingen följdes noggrannare. Kraven på ordning i montagearbetet skärptes. ASEA inträdde som detaljprojektör av tungvattenberörda system, instrumentering, kontrollrum m.m. Alla inblandade hade så mycket att göra att det fanns knappt om tid för tvister. Montaget gick undan. Vattenfalls erfarna anläggningspersonal var en förutsättning för det lyckade arbetet. ASEA's montagefolk fungerade också utmärkt. Entusiasmen bland alla inblandade var även bidragande till att svårigheter klarades av. Även om de inblandade företagens ledningar kunde ha haft olika mål märktes inte sådana motsättningar bland företagens underlydande. När Vattenfalls montageledning införde stramare ordning knorrades det, när nyordningen gav resultat upphörde irritationen.

Kunskaper om hur en reaktorläggning konstruerades i detalj var till mitten av 50-talet svåröverkomliga. Stormakterna hemlighöll av militära skäl viktiga uppgifter. I samband med Genèvekonferensen 1955 "Atoms for Peace" frisläpptes uppgifter om reaktorläggningar. Standardverket för konstruktörer av reaktorläggningar var Glasstones "Sourcebook on Atomic Energy", (1950) New York, som studerades grundligt. En annan bok som lästes omsorgsfullt var den amerikanska redogörelsen för PWR-reaktorn (1958) *The Shippingport Pressurized Water Reactor* (1958) United States Energy Commission (AEC) Reading, Ma, USA, (PWR = Pressurized Water Reactor) i Shippingport, Pennsylvania. Boken innehåller konstruktionsdata, ritningar, fotografier och en noggrann beskrivning av anläggningen. I stället för att följa en analys utförd av AEC (AEC föregångare till NRC) Wash 740 från år 1957, valde Ågesta-konstruktörerna att följa Shippingportutförandet i tillämpliga delar.

Några viktigare data om Ågesta Kraftvärmeverk, finns i Lindfors bilaga. Beräkningar gjordes för hand. Datorer har ökat beräkningshastigheten från timmar till mikrosekunder för samma syfte. CAD-ritningstekniken gör det möjligt att snabbt betrakta ett föremål i rummet från olika håll. Ändringar är enkla att genomföra. Även arkivering underlättas. Den gamle konstruktören hade "fingertoppskänsla" för dimensioner på gods och rör. Av erfarenhet visste han hur mycket fritt utrymme olika komponenter t.ex. behövde.

Första kriticitet i juli 1963. Våren 1964 uppnåddes full effekt med värme och elleveranser. Sammanlagda energileveranser 1964-1974 var 800 000 MWh värme och 415 000 MWh el.

Det var oklart vid planeringen av Ågesta hur stränga kraven på renhet vid montaget och vid tillverkningen av komponenter skulle vara. Vid montaget av material som skulle komma att beröras av tungt vatten var kraven speciellt stränga. Man ville undvika att främmande partiklar som passerade härden kunde sprida radioaktivitet i anläggningen. Extremt stränga krav gällde för all bränslehantering. Innanför reaktorinneslutningen krävdes vita rockar, handskar och skoskydd. Stränga täthetskrav infördes.

"Renmontaget" kom ibland som en överraskning för tillverkare och montageföretag. Det kan ses som ett led i inskolningen av tillverkare och personal för ett ökat kvalitetsmedvetande.

Vid sidan av renhetskravet var kraven på täthet avgörande för reaktordriften. Täthetskraven var nödvändiga av två skäl, dels fick det dyrbara tunga vattnet ej läcka ut, dels måste radioaktiviteten hållas i inneslutningen. Renhetskraven kritiserades någon gång av leverantörer och montageföretag, medan täthetskraven var lättare att förstå och acceptera.

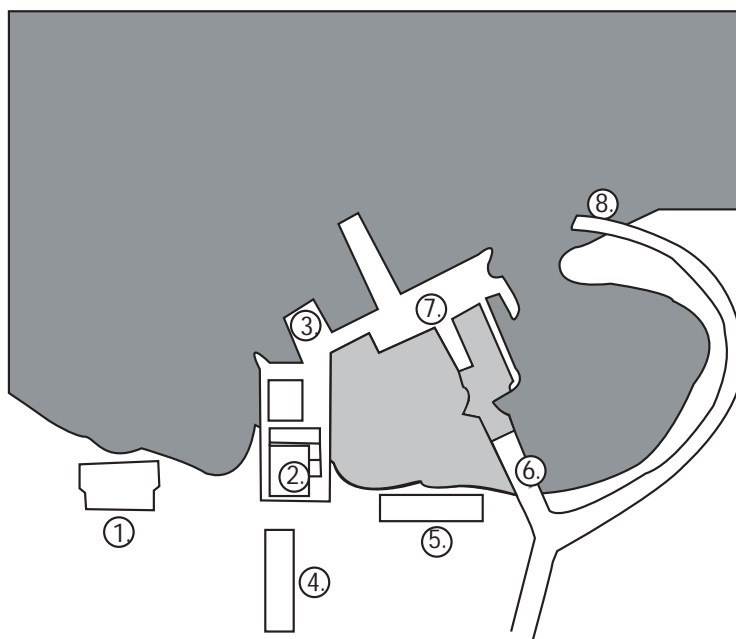
För sekundära system såsom ång- och matarvattenledningarna till ånggeneratorerna gällde ej de stränga kvalitets- och renhetskraven. Störningar från dessa anläggningsdelar blev jämförelsevis stora.

Under början av 60-talet kom kritik från industrihåll om att kvalitetskraven för Ågesta var för stränga, normala krav för ångkraftverk skulle vara tillräckliga. Något senare visades erfarenheter från nya kärnkraftanläggningar att kraven snarast behövde skärpas, vilket också skedde.

Senare delen av 1950-talet uppvisade en snabb utveckling inom reaktorområdet, framför allt i USA där flera olika reaktortyper konstruerades och byggdes. Tryckvattenreaktorer som ursprungligen utvecklades för drift av U-båtar beställdes för att uppföras på land. Det blev också möjligt att besöka amerikanska anläggningar.

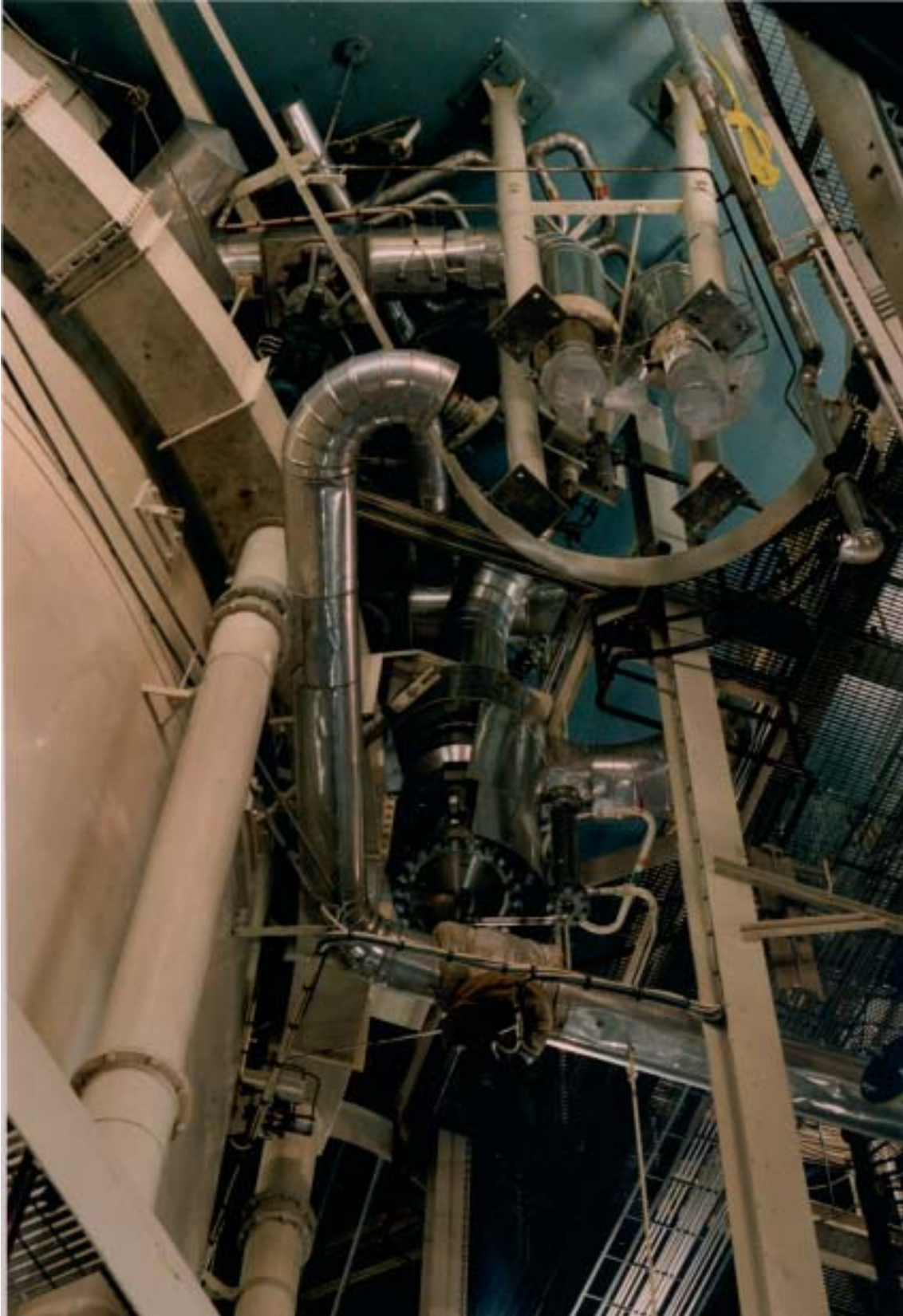
Goda informationskanaler åt projektansvariga för Ågesta var de komponentleverantörer som höll sig informerade och lärde sig tekniken. Personal sändes ut på studiebesök i

- |                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1. Avfallshantering          | 5. Administrationsbygge        |
| 2. Turbinhall                | 6. Tillfartstunnel             |
| 3. Manöverrum (Kontrollrum)  | 7. Reaktorhall                 |
| 4. Laboratorium och verkstad | 8. Uppfart till kyltornsplanet |



*Figur 2. Ågestas geografiska planering*





*Figur 3: Ett kärnkraftverk är närmast att likna vid en stor röranläggning med pumpar, tankar, ventiler och miltals med rör. Bilden visar fundamentet till en demonterad huvudvärmeväxlare och kvarvarande huvudcirkulationspump och rör. Foto: Sören Fröberg ©*

Europa, USA och Kanada. Genom att lägga ihop insamlade uppgifter med egna försök och experiment kunde det egna konstruktionsarbetet drivas vidare. Förseningar inträffade dock i arbetet med att ta fram konstruktionsritningar och beskrivningar.

Sammanläggningen av landets resurser 1958 i form av samarbetet mellan Atomenergi, Vattenfall och ASEA med en anknytning till Stockholms Elverk blev lyckosam. Den arbetsfördelning som följde var att Atomenergi ansvarade för reaktordelen, Vattenfall för stationsutformningen i stort och ASEA blev huvudleverantör för reaktordelen. Stockholms Elverk svarade för byggnadsentreprenaden.

En svårighet i konstruktionsarbetet var att tillräckligt antal personer med erfarenhet av konstruktion, byggande och drift av högtrycksånganläggningar, saknades. Erfarenheter av föregående slag skulle ha kunnat användas vid planeringen av Ågestaverket. Det fanns flera orsaker till svårigheter. Driftserfarenheter från liknande anläggningar saknades, detta medförde att en ganska stor utbildningsinsats blev nödvändig, detta ökade arbetsbördan för ledningen. Regler och bestämmelser från myndigheter hade inte hunnit utvecklas. En granskning av ritningar och driftförutsättningar av en myndighet likt dagens SKI hade avslöjat svagheter. Osäkerheten i vägval medförde dock att konstruktörer eller driftansvariga valde den säkraste linjen. Tillvägagångssättet gav resultat, det borde ha utökats snarast. Med facit i hand frågar man sig varför ej elkablar och instrumentledningar brandisolerades och separerades bättre. Konstruktionsarbetet hämmades av att en projektledare för hela projektet saknades bl.a. visades detta i att sekundärsystem ägnades för liten uppmärksamhet.

## Provdrift och idrifttagning

I juli 1962 etablerade sig driftledningen i Ågesta för att följa montaget och förbereda provdrift och drift. Formell klassrumsträning i kärnfysik, radiologi, instrumentfunktion etc. anordnades för den blivande driftpersonalen. Denna utbildning avslutades med skriftlig tentamen. Ett begränsat antal personer "licensierades" till vakthavande ingenjörer (vhi). Vakthavande ingenjören fungerade som driftledare så snart anläggningen var i drift. Fram till 1965, dvs. så länge AB Atomenergi med Nils Rydell som driftschef hade ansvaret för driften var fördelningen av vakthavande ingenjörer följande:

Ingvar Holtz	AB Atomenergi
Kristian Kull	- " -
Ingemar Myrén	- " -
Alvar Östman	- " -
Lars Broström	Vattenfall
Harry Höglund	- " -
Ingvar Wetterholm	Atomkraftskonsortiet
Driftschefer var:	
Nils Rydell	AB Atomenergi, 1962-1965
Evert Eriksson	Vattenfall, 1965-1969
Karl-Erik Sandstedt	Vattenfall, 1969-1974

Utöver dessa personer fanns specialistfunktioner såsom Erik Lindén för kemi, Bertil Mandahl för strålskyddsverksamheten samt Pehr Blomberg och Göran Apelqvist för reaktorfysiken.

Vattenfall svarade för utbildningen av driftpersonalen av vilka de flesta hade sjöingenjörsexamen. Ordningen i anläggningen var föredömlig. Få formella regler eller arbetsbeskrivningar fanns.

Genom att den blivande driftledningen fanns på plats i stationen under det sista året av montage blev provdrift och senare drift realistiskt planerade. De blivande vakthavande ingenjörerna fick var och en vissa delar av anläggningen att ansvara för och att kunna svara för tekniska detaljer. Dessutom skulle var och en veta hur de olika tekniska delarna samfungerade. Alla skulle känna till innebörden av de grundläggande säkerhetsfunktionerna.

Driftledningen i Ågesta tränade personalen och höll god ordning. Som exempel kan nämnas förste anläggningschefen Nils Rydell som krävde en till så synes enkel sak som att alla vid verket måste hitta i anläggningen. Jag vill påstå att dagens goda ordning i våra kärnkraftverk grundlades i Ågesta.

I dec 1962 var primärsystemen monterade. De fylldes med lättvatten och reaktorn laddades med verkliga bränsleelement och styrdon. I början av 1963 testades pumpar, ventiler och annan utrustning så långt det var möjligt med lättvatten. Ett stort antal styrdonstester genomfördes. Laddmaskinen för bränsle och styrdonförflyttningar provades. Med en elektrisk ångpanna värmdes primärsystemen till +210°C för fortsatta provkörningar.

Vid lättvattenprovdriften upptäcktes ett stort antal manöverfel på ventiler. Motordrivna ventiler fastnade. Efter motåtgärder förbättrades manöverförmågan. De inträffade felen på komponenter bekräftade nödvändigheten i renhet- och andra kvalitetskrav. De höga ekonomiska förlusterna för att ta en reaktor ur drift för reparationer har ytterligare förstärkt kvalitetskraven.

Innan reaktoranläggningens primärsystem kunde fyllas med tungt vatten måste först det lätta vattnet fullständigt avlägsnas genom vakuomtorkning. Därefter fylldes primärsystemen med tungt vatten och reaktoranläggningen var färdig för nukleär provdrift.

## **Nukleär provdrift och drift 1964-1965**

Teknisk Tidskrift bevakade regelbundet den svenska kärnkraftutvecklingen och i nr 13, 1965 redovisades erfarenheterna från provning, tester samt den första tidens drift i Ågesta Kraftvärmeverk. Artiklarna är skrivna av de personer som svarade för resp. del av anläggningen.

Ågesta-anläggningens värmeprocess hade fungerat väl, ”samtliga projekterade värden för flöden, tryck, temperatur osv. har uppfyllts...” Sammanfattningsvis gav artiklarna en uppfattning om att några nämnvärda prutningar i kvalitetskrav inte hade varit möjliga. Däremot framgick önskemål om att enklare och mer robusta komponenter var önskvärda.

Ågesta visade att det var möjligt att bygga en kärnkraftanläggning enligt den svenska linjen och hålla den i drift. Det var t.ex. inte självklart att tungvattenförlusterna skulle bli så låga att de kunde accepteras ekonomiskt. Komponenter för tungvattenanvändning fanns ej på marknaden utan utveckling av konventionell utrustning krävdes.



Reaktorfyikaliskt visade mätningarna goda resultat. Reaktorfyikerna Göran Apelqvist och Pehr Blomberg avslutar sin artikel i Teknisk Tidskrift med:

*”Att det reaktorfyikaliska arbetet givit goda resultat måste till en inte ovä-sentlig del tillskrivas den ansvariga driftledningens och den verkställande driftpersonalens positiva inställning.”*

Fanns det några driftserfarenheter som talade mot den svenska linjen? Läckage av tungt vatten är av ekonomiska skäl förödande. Det första driftåret läckte bestrålningskanaler som gick genom det lättvattenkylda locket till reaktortanken. Läckaget upptäcktes tidigt och en ändring i konstruktionen hindrade fortsatt läckage. Ytterligare läckage i små mängder inträffade vid pumpar, ventiler och vid ett svetsförband. Genom mätningar av tritium-halten i ventilationsluften och i lättvattensystemen kunde sammanlagda tungvattenförlusterna bestämmas till cirka 25gram per timme. Mot beräknade cirka 2% förluster tungvatten per år uppvisade Ågesta 1% per år inkl. ett spill av 175 kg under det första driftåret.

När anläggningen stängdes 1974 och tömdes på tungt vatten hade driftsrutiner och den höga kvaliteten vid uppförandet givit önskat resultat, vilket var att med tungt vatten och naturligt uran driva ett kraftvärmeverk. Risken för stora tungvattenförluster hade dock under de gångna åren varit ett ständigt närvarande hot.

## **Ett tänkbart haveri**

Risken med otillräcklig kylning av bränslet s.k. LOCA (förlust av kylvatten) finns för både lättvatten- och tungvattenreaktorer. Skulle tungvattnet ha förlorats t. ex. genom ett rörbrott kunde bränslet ha kylts med lättvatten. Tungvattnet hade då blivit uppblandat med lättvatten, men uppgraderingen skulle ha tagit tid och orsakat driftstörning. Ett sådant haveri tror jag flera i kontrollrummet och även andra tänkte på. På frågor om vad som var det värsta scenariot blev svaret ”vi förlorar tungvattnet och klarar inte kylningen av härden”. Frågan ställde jag 1992 till några personer som arbetat i Ågestas kontrollrum. Namn på tillfrågade återfinns under rubriken Intervjuer, i slutet av denna rapport. De tillfrågade skulle i dag knappast komma ihåg vad de svarade eller frågan.

Svaren var också att det krävdes två händelser, först skulle tungvattnet försvinna av någon anledning och sedan skulle nödkylsystemet ej fungera.

Att kylvattensystemet kunde haverera visades vid ett haveri i återkylarsystemet som Lindfors m.fl. beskrivit i Vattenfalls Erfarenheter från driften, som tidigare återopats. Något stort tungvattenläckage, flera m<sup>3</sup>, inträffade aldrig. Ett läckage om c:a 0,5 m<sup>3</sup> tungt vatten inträffade dock vid haveriet i återkylarsystemet. En backventil i nödkylsystemet läckte när den utsattes för reaktortrycket, den utläckta mängden tungvatten kunde tillvaratas.

De inträffade haverierna visade att driftspersonalen behöver tid på sig för motåtgärder vid onormala händelser, eller att motåtgärderna är automatiserade. Embryot till rådrumsregeln kan spåras till Ågesta, dvs. inga händelser, med vissa undantag, får medföra krav på omedelbara operatörsingrepp.

## Driftledning

Nils Rydell, AB Atomenergi var driftschef och ansvarig för provdrift och idrifttagning till våren 1965 när han efterträddes av Evert Eriksson, Vattenfall. Under denna tid pågick kompletteringar av utrustningen. Tidigare förseningar skulle tas igen. En lång räckta av åtgärder skulle göras för att få anläggningen helt färdig. En svår reparationsåtgärd var att täta inspektionsrör som gick genom det lättvattenkylda reaktortanklocket. AB Atomenergis verkstadspersonal klarade av det svåra arbetet.

Rydell och Eriksson fick ägna mycken tid åt olika konstruktions- och montagefrågor. En positiv följd av alla kompletteringsarbeten var att de många inblandade verkligen lärde sig anläggningen. I kontrollrummet diskuterades komplexiteten i anläggningen. Anläggningen var för dåtida förhållanden komplicerad och därigenom svåröverskådlig från kontrollrummet, som ej var ergonomiskt konstruerat dvs. möjligheten att övervaka reaktorsäkerheten var begränsad. Anledningen till detta låg i att olika konstruktionskontor utformat "sina" delar av anläggningen med olika krav på utförande. En gemensam projektledning fanns ej varför möjligheter till förenkling ej tillvaratogs. Etablerad standard saknades. Komponenter med lika stor betydelse för drift resp. säkerhet hade specificerats med skilda kvalitetskrav. Symboler på ritningar kunde variera beroende på vem som utfört den. Kritik av detta slag är allvarlig. Driftpersonalens arbete försvårades i onödan av att så många "kockar" deltagit i projekteringen och uppförandet av anläggningen. Förhållandet är inte unikt. Varje större värmekraftverk innehåller komponenter levererade från olika företag i världen.

När anläggningen var kritisk skulle vhi, vakthavande ingenjören, finnas inom anläggningen. Vid uppstart efter bränsleomflyttningar, reaktorfyikaliska experiment och andra viktigare händelser var en reaktorfyisiker närvarande och ofta driftschefen. Det var vanligt att olika specialister tillkallades vid behov. Ansvar och arbetsfördelning var mindre klart uttalade under början av verksamheten, det fungerade ändå p.g.a. anläggningens litenhet. Alla kände varandra. Under idrifttagningsskedet hade personalen funnit sina roller.

Driftschefen hade stor arbetsbörda genom att så många frågor vilade på honom, säkerhet, linjeorganisation, besökare, kontakter med massmedia och det dagliga arbetet med stora och små saker som dök upp.

Den svenska linjen påverkades knappast allvarligt av bristen på gemensam projektledning. Men som bidragande orsak till fördröjningar, förseningar och småhaverier är det nödvändigt att förhållandet kommer fram. En faktor bakom ASEA:s framgångar med sina lättvattenreaktorer kan sökas i den sammanhållna projektledningen.

## Strålskydd

Ur strålskyddssynpunkt var det första driftåret helt odramatiskt. Den störningsfria driften och det låga läckaget av tungt vatten medförde att kontaminering av utrustning och personal var låga. Vid arbeten i huvudvärmeväxlarrummet erhöll personal mätbara persondoser. Ur arbetssynpunkt visade sig placeringen av vitala komponenter i isolerade strålskyddade celler vara ändamålsenlig.

Vid reparation av skadade rörledningar som går genom det lättvattenkylda locket till reaktorn, erhöll reparationspersonal från Degerfors Järnverk stråldoser som dock låg inom de accepterade doserna för entreprenörpersonal, maximalt 9 mSv/kvartal. Motsvarande tillåtna årsdoser för personal i radiologiskt arbete (driftpersonalen i Ågesta) var 50 mSv.

De doser av joniserande strålning som registrerades fram till utgången av 1964 var:

<b>Dos mSv</b>	<b>Antal personer</b>
0,25 - 2	14
2 - 4	8
4 - 6	4

Det var främst verkstadspersonal från Degerfors Järnverk, Vattenfall och AB Atomenergi samt strålskyddspersonal som erhöll stråldoserna. Driften av utländska reaktorer visade på liknande erfarenheter, reparationspersonal är en utsatt grupp vid kärnkraftdrift. För att minska dosbelastningen på underhållspersonal har man idag t.ex. avståndsmanövrerade fogberednings- och svetsmaskiner och mycket annat. Åtgärder övas och planläggs omsorgfullt.

Utsläppen av luft- och vätskeburen radioaktivitet till omgivningen var låga, långt under tillåtna nivåer.

## Allmänhetens bevakning

Ett stort allmänt intresse var knutet till Ågesta under det första driftsåret. Dagstidningarna rapporterade om små såväl som stora händelser kring Ågesta. Föreningarna och kostnadsöverskridandena uppmärksammades särskilt. Sjön Magelungens intresseförening, som hade anlitat Nobelpristagaren Linus Pauling för rådgivning, var aktiv i motståndet till utsläpp av radioaktivitet till "sin" sjö. Någon antikärnkraft rörelse existerade inte. Tekniker i olika företag var intresserade av kärnkraftutvecklingen och besökarströmmen till Ågesta var ansevärd.

## Drifterfarenheter 1964 - 1965

Den viktigaste erfarenheten av det första årets drift av Ågesta kärnkraftvärmeverk var att det gick att bygga kärnkraft efter den svenska linjen, men att det i Ågestaprojektet fanns mindre konstruktionsbrister. Bristerna låg i den tekniska detaljutformningen. I allt väsentligt hade möjligheterna för den svenska linjen tekniskt bekräftats i Ågesta.

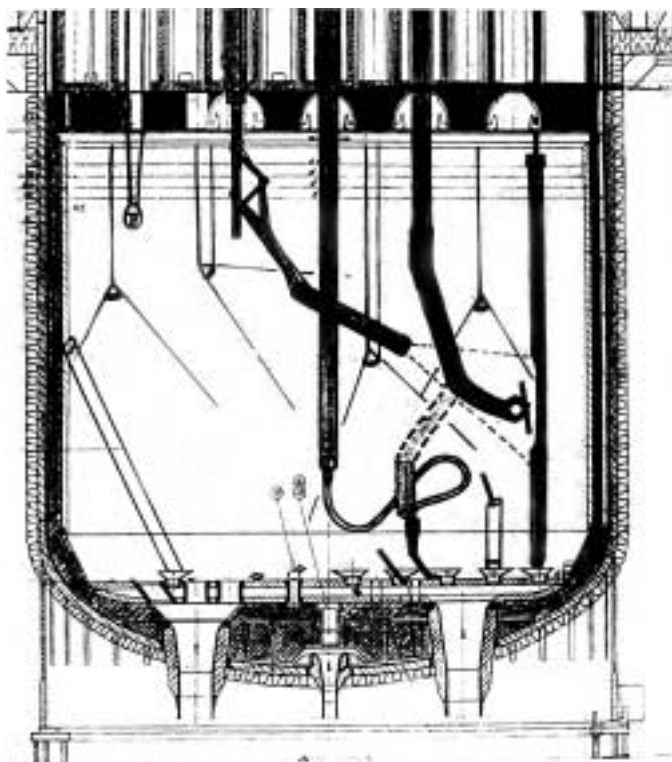
## Driften av Ågesta-verket 1965-1974 - tillgänglighet

Den fortsatta driften finns redovisad av Alf Lindfors. Där framkommer att driften blir mera regelbunden med färre avbrott och reaktorns tillgänglighet ökar. Reaktortillgängligheten är ett mått på anläggningens kvalitet och av avgörande betydelse för ekonomin. Reaktoranläggningars höga kapitalkostnader och låga bränslekostnader innebär att stillestånd i driften blir dyrbara.

Den genomsnittliga årsvisa tillgängligheten ökade från c:a 50% 1964 till nära 100% 1974. Som en första generationens reaktoranläggning var Ågestaverket framgångsrikt. Efter besök vid utländska reaktoranläggningar var den vanliga kommentaren ”anläggningarna stod stilla”.

Ett undantag i tillgänglighet är från år 1968. I början av detta år indikerade sprickdetekteringssystemet skadade bränsleelement. Indikationer på skadade bränsleelement ökade och i mitten av mars 1968 avbröts driften. Efter stoppet uppmättes en förhöjd dosrat vid en rörkrök i huvudvärmeväxlarrummet. När pumpen i aktuell rörkrets startades flyttade sig strålkällan, för att senare återkomma efter pumpstopp. Strålkällan var troligen en del av ett bränsleelement.

De mekaniska skadorna på bränsleelementen finns dokumenterade i arbetsrapporter som i detalj beskriver haveriet. En sammanfattande redogörelse ges i Vattenfalls driftrapport 110/1968 av den 19 juni 1968. Inget utsläpp skedde till omgivningen. En rensningsoperation genomfördes varvid man lyckades avlägsna de skadade bränsleelementsdelarna. *Fig. 4* visar tillvägagångssättet. Rensningen var en stor framgång som visar att svåra



*Figur. 4*

åtgärder kan genomföras om de övas och planeras omsorgsfullt. Ågesta-reaktorn var inte konstruerad att vara en experimentreaktor utan prototyp för ett kraftvärmeverk. Erfarenheter drogs av haveriet, t.ex. att bränsle får ej vibrera för det kan då skadas.

Den 1 maj 1969 inträffade ett haveri i återkylarsystemet. Vid en tryckförändring i systemet orsakad av ett pumpskifte, skadades en backventil, ett 4 dm<sup>2</sup> stort stycke av ventilen slets ur ventilhuset med ett stort läckage som följd. Innan avstängning vid kyltornet på berget ovanför reaktorläggningen kunnat genomföras, strömmade c:a 400 m<sup>3</sup> kylvatten ut i turbinläggningen. Det utströmmade vattnet träffade generatorskenorna och stoppade turbinen. Kopplingskåp för elutrustning som innehöll styrutrustning för säkerhetssystem översköldes med vatten. Som följd av översvämningen erhöles jordfel som orsakade att flera säkerhetssystem fick felaktig eller obefogad funktion. Transformatorerna som låg utanför väggarna i turbinläggningen, men på en lägre nivå än den havererade backventilen, undgick att bli översvämmade.

Reaktorn stoppades manuellt från kontrollrummet sedan olika stängningsfunktioner av ventiler utlösts p.g.a. översvämningen. En följd av haveriet var att c:a 500 liter tungt vatten läckte ut genom otäta backventiler.

Haveriet visade att det var svårt att helt förebygga händelser av det inträffade slaget. Konstruktionerna måste dock göras så att följderna av inträffade felfunktioner blir så små som möjligt. Händelsen visade på brister i konstruktionen och hur olika strukturer, system och komponenter skall placeras i höjdd.

Efter ventilhaveriet i återkylarsystemet tillsatte Delegationen för atomenergifrågor en utredning om säkerheten i anläggningens elektriska delar. Utredningen, som gjordes av Ångpanneföreningen, pekade på ett antal brister av vilka flertalet åtgärdades senare. Allvarligt var att el och signalkablar hade dragits i ett gemensamt stråk, brandisoleringen av kablarna var också bristfällig. Denna erfarenhet togs tillvara vid konstruktionen av lättvattenreaktorerna. Kabelseparering utfördes för säkerhetssystemen. Senare reaktorer t.ex. Oskarshamn 3 och Forsmark 3 byggdes från början 4-”subbade” (uppdelade). De äldre subindelades så långt det var möjligt. Kabelbranden, 1975, i Browns Ferry-reaktorn, i USA aktualiserade vikten av denna åtgärd.

De följande åren vid Ågesta-anläggningen, fram till avstängningen 1974 blev ur driftsynpunkt lugna. Under olika perioder bestrålades t.ex. 1972, sju stycken testelement för ASEA-Atom, två st nya italienska och ett tidigare bestrålat italienskt plutoniumanrikat bränsleelement. In- och urladdningen av testelementen förorsakade kortare avbrott i driften vilket nedsatte drifttillgängligheten. Om planerade avbrott borträknas var tillgängligheten de senaste åren mycket hög.

## **Ågesta läggs ner**

Den 2 juni 1974 stoppades reaktorn för sista gången. P.g.a. de då höga oljepriserna gick anläggningen med överskott det sista driftåret. Avställningsbeslutet hade emellertid tagits

redan innan de stora oljeprishöjningarna skedde i början av 1974. Beslutet om att ta reaktor-anläggningen ur drift motiverades bl. a. med de höga kostnaderna för att bygga om vissa säkerhetssystem. Man hade också fått de kunskaper och erfarenheter som förväntats. Intäkten täckte inte heller driftkostnaden vid nedläggningsbeslutet. Bränslet laddades ur och reaktorn tömdes på det tunga vattnet som redan tidigare sålts. Primärsystemen fylldes med kväve. Bränsle, tungt vatten och viss utrustning transporterades bort från Ågesta.

Med nedläggningen av Ågesta Kraftvärmeverk gick första fasen av den ”svenska linjen” i graven. En alltför komplicerad satsning på en stor tungvattenreaktoranläggning i Marviken utanför Norrköping, kunde av säkerhets- men också kommersiella skäl, aldrig tas i drift utan lades i malpåse 1970. År 1962 hade svenska staten gett tillstånd att forskningsreaktorn Marviken skulle byggas. Marviken togs aldrig i drift trots att den byggdes färdig. Tidningar och övriga massmedia uppmärksammade Marviken-nedläggningen i förvånansvärt ringa grad. Nedläggningsprocessen hade varit så utdragen att det fanns inga ”nyheter” att komma med längre. Något behov av AB Atomenergi i halvstatlig regi fanns inte mera, så många av företagets anställda fick flytta till nya arbeten på andra orter. Ingen massuppsägning, för kärnkraftindustrin i övrigt behövde personal.

ASEA framstår som den stora vinnaren. Under sin verksamhet hade staten på olika sätt stått för företagets utvecklingskostnader. Efter stängningen av Ågesta och Marviken framstod ”ASEA:s linje”, lättvattenkokaren som fräsch och okomplicerad. De av ASEA levererade lättvattenreaktorerna har fungerat utmärkt och tillgängligheten är hög. ASEA bröt statens atommonopol, sedan AB Atomenergi satsat på ”fel häst”, i Marviken. De tillsynes helt bortkastade miljonerna på Marviken-projektet kom ändock till nytta, men på ett inte avsett sätt.

Medan Atomenergi och till en början Vattenfall kämpade för att få ordning på Marviken-anläggningen, kunde ASEA ostört utveckla kokarreaktorprojektet Oskarshamn 1 där erfarenheter från Marviken kunde tas till vara. Storskaliga termohydrauliska experiment gjordes också senare i Marviken. Eftersom det var beställaren som avbeställde Marviken-reaktorn behövde ASEA aldrig betala några reklamationskostnader som i fråga om kärnkraftanläggningar kan uppgå till stora belopp.

## **Kvalitetshöjande arbete**

Vattenfall startade ett omfattande kvalitetshöjande arbete i början av 60-talet. Arbetet syftade till att kvaliteten skulle utvecklas för företagets anläggningar.

Kvalitetstänkande är speciellt viktigt när ny teknik införs. När kvantitet uppmärksammas framför kvalitet blir riskerna för misstag stora.

Organisationen för hela Ågesta-projektets skapande var splittrad. Stockholms Elverk, Vattenfall, Atomenergi och ASEA hade var sitt kompetensområde. En sammanhållande projektledning saknades. Eftersom Sverige är ett litet land där beslutsfattarna i de olika företagen oftast kände varandra, hade likvärdig utbildning, verkade i samma branschfören-



ingar, fungerade ändå projektledningen fastän den haltade. Kvalitetsskillnader hos olika system kunde lätt iakttagas och härledas till de ansvariga företagens kvalitetsuppfattning.

Inte bara ASEA och efterföljare utan även kraftbolagen och andra företag t.ex. serviceföretag har tagit lärdom av Ågesta. Deras kvalitetskrav är jämna och höga. Lättvattenreaktorernas projektledning var annorlunda än för Ågesta. Resultaten har ej heller uteblivit i form av bättre tillgänglighet och få allvarliga händelser i driften.

Kvaliteten på ett arbete, en produkt eller som i detta fall en komplicerad kärnkraftanläggning kräver förmåga att arbeta tillsammans. I kontrollrummet måste alla känna och lita på varandra. I Ågesta hade personalen samtränats under provdriften. Ingen fick handla på egen hand ute i anläggningen utan att kontrollrummet visste om det. Avsteg från denna enkla regel kunde medföra besvärande följder. Vid några tillfällen syndade personalen mot föreskrifterna i detta avseende med tillbud som följde.

I Ågesta ordnades kurser för blivande driftpersonal vid andra reaktorer i landet, detta var före simulatorernas intåg. Från Ågesta kom de blivande ledande personerna till lättvattenreaktorerna i Sverige, som började byggas ungefär när Ågesta närmade sig slutet.

## Lärdomar

- Översvämningen i återkylarsystemet visar att utströmmande vatten ej får träffa viktiga delar av anläggningen.
- Driftpersonalen skall känna och lita på varandra och vara tränad.
- Det går att teoretiskt beräkna och bygga svåra anläggningar om man är omsorgsfull.
- Det skulle ha gått att fortsätta med att bygga större tungvattenreaktorer än Ågesta, men risken att förlora stora mängder tungt vatten hade hela tiden funnits kvar.
- Tungvattentekniken skulle ha krävt färre och säkrare komponenter.
- Det är komplicerat att bygga stora anläggningar i bergrum.
- Ågesta anläggningen var byggd så att den skulle kunna demonteras någorlunda.
- För reaktortanken fanns en grav där man med viss möda hade kunnat gjuta in densamma.

## **Sammanfattning**

### **Före sin tid på 1950-talet**

- Förläggningen (i berg, nära naturlig värmesänka)
- Konstruktionen (täta primärsystem, renmontage, trycktätt skal, reaktorgrav dit den utjänta reaktortanken kunde flyttas och gjutas in)

### **Före sin tid på 1960-talet**

- Verkningsgrad
- Tillgänglighet

### **Före sin tid på 1970-talet**

- Låga dosbelastningar
- Låga utsläpp
- Reaktorsäkerhets”kultur”

### **Före sin tid på 2000-talet**

- Förslag om världens enda fullskaliga kärnkraftmuseum orört efter 28 år sedan nedläggning, nära en stor stad och lättillgängligt. Denna tanke är tillsvidare inte aktuell.

### **Några ytterligare speciella erfarenheter**

- Prototypanläggning som till slut blev accepterad trots motstånd vid uppförandet. (Pauling m.fl, till protester mot nedläggningen 10-15 år senare)
- Framgångsrikt tagit hand om en mekaniskt havererad bränslehard (lösa bränslekulsar på reaktortankbotten och i primärsystemen)
- Framgångsrikt bestrålat och utvärderat plutoniumrikat bränsleelement (utvecklingsled i MOX-bränsleanvändningen) trots att anläggningen ej var avsedd för sådana experiment.

### **Ågesta har starkt bidragit till att göra Sverige världsledande eller bland de ledande i världen på ett antal områden:**

- Kärnkraftsäkerhet
- Tillgänglighet
- Täta system
- Utsläppskontroll
- Haveriberedskap
- Kärnavfallshantering
- Safe-guard (nukleär icke-spridning)
- Rollfördelning: Myndigheter – koncessionsinnehav – allmänhet



Det skrivna är grundat på egna erfarenheter från arbetet med Ågesta Kraftvärmeverk såsom anställd vid AB Atomenergi under åren 1957 – 1965. Tidigare kollegor har varit till stor hjälp, de har gett mig material och svarat på frågor. Muntliga uppgifter är mer än 40 år efteråt svåra att hantera, minnesbilderna har bleknat. När jag använt muntliga uppgifter har desamma erhållits flera år tillbaka i tiden.

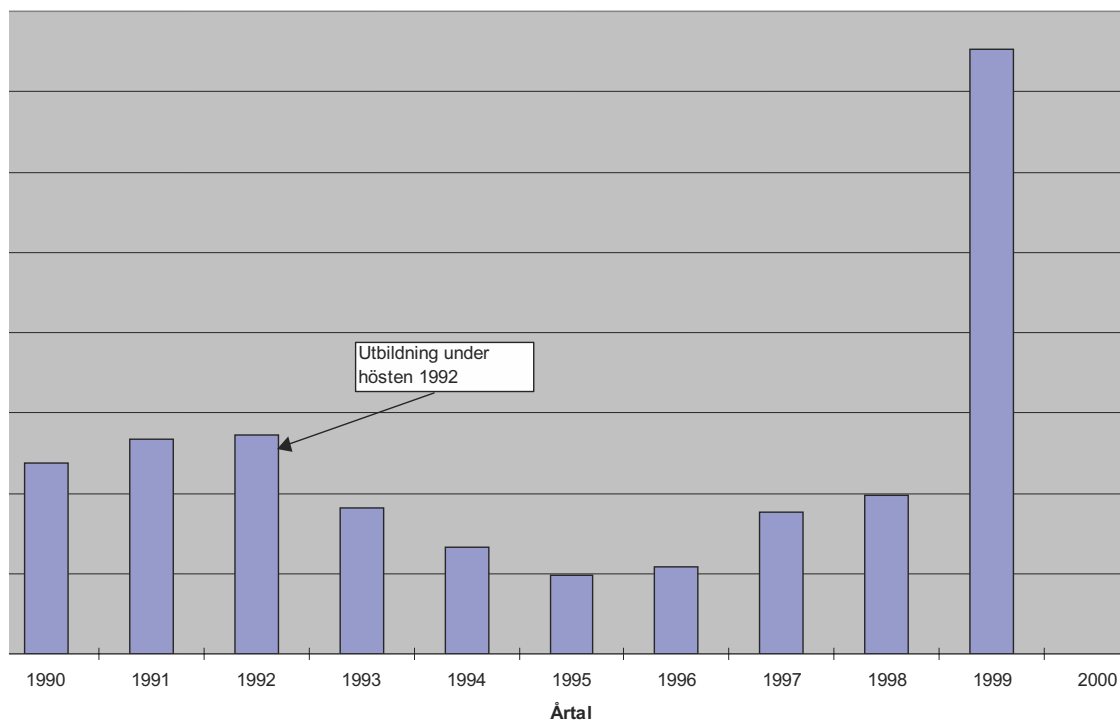
Någon notapparat ingår inte utan i stället i urval en källförteckning som främst upptar haverier och felfunktioner. I texten har viktigare källor direkt angivits, dessutom ingår en förteckning över användbara konstruktionsbeskrivningar.

## **Ågesta – påverkan på dagens kärnkraftreaktorer**

Allmänt påverkades konstruktion och drift av nya reaktorer av de haverier som inträffade i Ågesta.

- Bränsleelementhaveriet 1968 visade på behovet av rutiner vid ändringar av härdar och bränslekonstruktioner.
- Översvämningen 1969 påverkade lay-outen och konstruktion av senare reaktorer. Översvämmande vatten skall ej få slå ut driftsviktiga anläggningsdelar.
- Kvalitetskraven i Ågesta gav resultat. Sekundära- och tertiära system som ej uppfördes med höga kvalitetskrav uppvisade sämre driftresultat än för primärsystemen. En kärnkraftanläggning skall i sin helhet byggas med jämn och hög kvalitet. En utebliven eller felaktig sekundärfunktion kan vara lika allvarlig som en olycka i ett primärsystem.
- Behovet av utbildning för personalen framstod vid Ågesta-driften. Några av de mindre felgrepp som förekom kan ha utförts p.g.a. bristande kunskap. Av naturliga skäl var organisationen de första åren ofullkomlig, den utvecklades under hand. Personalen måste kunna sin egen anläggning. Innan träning med simulator infördes under mitten av 1970-talet var någon tids arbete vid reaktorer i Studsvik, Halden eller USA vanligt.
- I Ågesta fick de blivande cheferna för svenska kärnkraftverk träning. Även flertalet av den övriga personalen fick anställningar vid de nya anläggningar som byggdes.
- Ågestas ledningsgrupp var bland de första som 1964 skriftligt tog avstånd från Marviken-projektet, sex år innan det slutligen havererade. I ett yttrande över Marviken-reaktorns säkerhetsfunktioner skriver gruppen "Med den uppläggning av i första hand Marvikens säkerhetsfunktioner, som för närvarande gäller, måste vi, som framgår av ovanstående, mot bakgrunden av våra Ågestaerfarenheter betrakta det presenterade projektunderlaget som omöjligt att förverkliga", TPM-ÅDK-61 av den 21 maj 1964.  
Remissyttrandet hemligstämplades.  
Marviken-projektets misslyckande blev en signal till beställare och konstruktörer att ha klara och tydliga säkerhetskrav.
- I Ågesta var alla ritningar gjorda för hand. Varje systemansvarig hade en kopia för "sitt" område. Flera personer kunde samtidigt granska samma ritning. Framför en dataskärm ryms två personer. Genom att tekniken var ny och entusiasmen stor skaffade sig personalen goda detaljkunskaper om komponenter. Att detaljkunskaper är viktiga visade t.ex. felkalibreringen av säkerhetsventiler i Ringhals.

### Ventilutbildning för STT



Figur. 5

- Komponentkännedom bland verkstads- och driftpersonalen i Ågesta var god. Vid upphandling av ventiler, pumpar och andra komponenter ingick ofta provning där den blivande driftpersonalen medverkade. Det låg i tillverkarens och köparens intresse att den levererade utrustningen fungerade. I utbildningssyfte skaffade sig kärnkraftverken demonstrationsmaterial. Forsmark t.ex. lade upp ett förråd av komponenter och utbildning av stationstekniker ordnades. Utbildning under hösten 1992 i Forsmark gav resultat. Resultatet av ventilutbildningen redovisas i Fig. 5.
- I Ågesta hade begreppet Människa-Teknik-Organisation (MTO) ännu inte myntats men ledningen för anläggningen handlade i det nya begreppets anda. Tekniska frågor var favoriserade av naturliga skäl, utan teknik hade ingen anläggning funnits. Snart blev det dock tydligt att vid incidenter av skilda slag fanns en mänsklig faktor inblandad. Det inträffade att driftpersonal utan att ha klarsignal från kontrollrummet gjorde otillåtna åtgärder i anläggningen.
- Improvisationer vid underhålls- och reparationsåtgärder var vanliga i Ågesta. Sådana okonventionella ingripanden kunde vara nödvändiga att genomföra, men innebar en risk för att ej genomtänkta lösningar tillgreps. De regler som idag råder för ingrepp i våra kärnkraftanläggningar förbjuder improvisationer som skulle kunna medföra säkerhetsrisker.
- I Ågesta hann inte anläggningen åldras så att komponenter och system behövde bytas i någon högre grad. Reservdelar hade köpts för de mest frekventa behoven. Instrumenteringen skulle snabbt ha behövts bytas eller kompletteras om inte nedläggningen av anläggningen hade kommit redan efter tio års drift. Flera personer bland driftspersonalen hade medverkat i byggande och idrifttagning av anläggningen varför detaljkunskaper var vanliga, denna detaljkunskap är knappast möjlig i dag.

För tjugohundratalets kärnkraftreaktorer är läget ett annat. Konstruktionerna togs fram under 60- och 70-talen av säg då i genomsnitt 30-40 åriga personer. Detta innebär att inom några få år är personer med förstahandskunskaper om hur reaktoranläggningarna är konstruerade borta. De förlorade erfarenheterna kan inte ersättas med databaser. Eftersom inga nya reaktorer byggs kommer inte heller nya erfarenheter fram. För att möta behovet av gammal kunskap kan motåtgärder vidtas. Åldersblandade arbetsgrupper är en möjlighet. Personer kan sändas ut till de få reaktorer som byggs i världen, inte för ett två dagars studiebesök, utan för ett årslångt aktivt deltagande i arbetet. Inte minst viktigt är att lära av andras misstag. Att sända ut kunskapare är en beprövad metod. Linnés utsända till skilda vrår av världen är väl känt.

- Vid driftavbrott i Ågesta inspekterade systemansvariga annars oåtkomliga delar av anläggningen. På detta sätt kunde t.ex. läckage upptäckas i tid. Den möjligheten finns inte i dag då anläggningarna går utan avbrott i långa tider. Kontrollrumspersonalen får få eller inga tillfällen att inifrån lära känna anläggningen.

### **Vad var värdet med Ågesta kraftvärmeverk**

- Projektet Ågesta visade att det gick att uppföra ett kärnkraftvärmeverk efter en egen svensk linje med naturligt uran och tungt vatten men att det blev dyrt. 230 miljoner kronor i löpande penningvärde.
- Genom att bygga Ågesta-anläggningen fick man ett begrepp om kostnader och svårigheter att bygga kärnkraftverk, vilket var nödvändigt för val av framtidsväg.
- Det kom mycket fördelaktiga offerter på amerikanska system med vanligt vatten och anrikat uran. Sålunda erbjöds ett komplett kraftverk på 600 MW el för 800 miljoner kronor baserat på systemet kokar-reaktorer BWR. Ågestaverkets erfarenheter underlättade bedömningen.
- Ågesta blev en övningsetapp inför byggandet av de stationer med flera block kraftgenererande enheter, som i dag svarar för hälften av svensk elproduktion.
- Till slut blev Ågesta en mycket dyr liten anläggning. Den levererade 12 MW elkraft till Stockholms Elverk och 68 MW fjärrvärme till Fasta utan att förorena luften.
- Förläggningen av anläggningen i berget på platsen var olämplig. Berget var av dålig kvalitet, fullt av sprickor och var snarare ett hot mot anläggningen än ett skydd.
- Sprickorna läckte vatten som tvingade till inklädning med plåt som täckte stationens väggar. Vattnet som var aggressivt frätte hål på plåten. Rostangreppen i dag är små. Långvarig drift skulle ha krävt betydande underhållskostnader för väggplåten. Bergrumsförläggning av stora anläggningar skulle ha blivit svår.
- En annan underhållskrävande faktor var reaktorkärlets lock som var en plan, rund låda fylld med vanligt vatten för att reducera strålningen. Många genomföringar t.ex. inspektionskanaler var utsatta för temperaturspanningar och därför benägna att ge läckage av tungt vatten till lockets vatten. De nämnda erfarenheterna togs till vara vid konstruktionen av lättvattenreaktorer så långt det var möjligt.
- Trots begränsad drift blev Ågesta en värdefull skola för dem som skulle bygga och driva de anläggningar som ger hälften av landets elkraftbehov i dag.

## Slutord

Det finns fortfarande erfarenheter från Ågesta Kraftvärmeverk för dagens kärnkraftstekniker att förkovra sig i. Erfarenheterna är spridda på många håll. Anteckningar och dokumentation finns hos de inblandade företagen. En systematisk sammanställning av uppgifter saknas.



*Alvar Östman i Ågestas kontrollrum.  
Foto: Sören Fröberg ©*

## **KÄLLOR** (ett urval):

- AB Atomenergi: *Tekniska PM; TPM-ÅDK-61; R3-301, 344, 346, 367; RP-108; RMK-461 (PMR-65), The Ågesta Nuclear Power Station,*  
Edited by B. Mc Hugh, Stockholm, 1964
- Ågesta Kraftvärmeverk: *Sammanfattning av tekniska databeskrivningar m.m. för reaktordelen.* B Lillichöök Aktiebolaget Atomenergi, Aktiebolaget Atomenergi, Stockholm, Sweden, 1964
- Statens Vattenfallsverk: *Kärnkraft på östkusten maj 1969*  
*Ågesta-erfarenheter från driften 1963-1974, VK6-PM* av A Lindfors m.fl. 1978-08-01. Förkortad utgåva september 2002.
- Teknisk Tidskrift: nr 13, 1965

## **ARKIV**

AB Atomenergi, Studsvik  
Vattenfall AB, Räcksta, Stockholm  
Fortum, Stockholm  
Statens kärnkraftinspektion, Stockholm  
Statens strålskyddsinstitut, Stockholm  
Riksarkivet

## **INTERVJUER**

Bo Aler	23.09.92
Gustav Cedervall	23.09.92
Arthur Dahlgren	01.04.92
Sam Ekholm	22.05.92
Ingvar Holtz	apr. o. maj 92
Bryan Mc Hugh	05.05.92
Kristian Kull	14.04.92
Erik Lindén	01.04.92
Ingemar Myrén	07.05.92
Rune Nilsson	apr. o. maj 92
Jan Nistad	13.05.92
Alf Peterson	14.05.92
Per Ragnarson	apr. 92
Olof Ruin	13.05.92
Nils Rydell	14.05.92





## **ÅGESTA - Erfarenheter från driften av Ågesta kraftvärmeverk 1963-1974**

Bearbetad version av Vattenfalls rapport VK6-PM 67/78 av Alf Lindfors m fl

### **SAMMANFATTNING**

Kraftvärmeverket i Ågesta byggdes under de första åren på 1960-talet och togs i drift för produktion av el och fjärrvärme år 1964. Ågesta var en tungvattenkyld och –modererad tryckvattenreaktor ingående i det svenska tungvattenprogrammet, men utnyttjades också för långtidsprovning av testpatroner för svenska och utländska reaktorer även av lättvattentyp. Erfarenheterna från projektering, uppförande och drift av Ågesta i egenskap av den första kraftproducerande reaktorn i Sverige var av grundläggande betydelse för det kommande svenska utbyggnadsprogrammet av kärnkraft. Detta gäller både de tekniska och organisatoriska erfarenheterna och uppbyggnaden av en kader av välutbildade och erfarna kärnkrafttekniker för den svenska kärnkraftindustrin.

Som helhet fungerade Ågestaverket väl och visade hög tillgänglighet även om det, som förväntat vid en prototypanläggning som denna, inträffade ett antal oförutsedda händelser, bland annat en med omfattande bränsleskador 1968. Dessa kunde dock hanteras på ett tillfredsställande sätt och inga allvarliga incidenter ur strålskydds- eller omgivnings-synpunkt inträffade.

I rapporten, som bygger på en tidigare intern Vattenfall-rapport, ges en sammanfattande redogörelse för de tio årens drift och de erfarenheter och slutsatser som drogs då driften lades ned år 1974.





## 1. INLEDNING

Kraftvärmeverket i Ågesta var det första kraftproducerande kärnkraftverket i landet och det första av sitt slag i världen. Ågestareaktorn byggdes enligt tryckvattenprincipen med tungt vatten som moderator och kylmedel i trycktanksutförande. Anläggningen konstruerades för kombinerad elkraft- och fjärrvärmeproduktion med en termisk reaktoreffekt av 65 MW. Senare höjdes reaktorns termiska effekt till 80 MW, varvid den elektriska effekten kom att utgöra 12 MW och fjärrvärmeeffekten 68 MW.

Projekteringen av Ågestaverket påbörjades 1956 och projektet bedrevs från början av AB Atomenergi och Stockholms Energiverk med ASEA som huvudleverantör. Senare engagerade sig även Statens Vattenfallsverk i projektet och svarade för driften av verket, till en början i samarbete med Atomenergi. Montagearbetet i anläggningen inleddes år 1961 och provningar och provdrift startade följande år. Reaktorn gjordes kritisk för första gången den 17 juli 1963 och ungefär ett halvt år senare startade full-effektdriften och fortlöpte under en tio-årsperiod fram till nedläggningen 1974.

Ågestaverkets primära uppgift var att ge erfarenhet av projektering, anläggning och drift av ett kärnkraftverk inom landet. Under drifttiden bedrevs också forsknings- och utvecklingsarbete vid verket, bl a provades att antal bränsletyper, genom att testelement bestrålades i reaktorhärden. Vid beslutet om nedläggning hade det primära målet i allt väsentligt uppnåtts och något intresse eller motiv för att driva verket vidare kvarstod ej.

En sammanställning över huvuddata och ett flödesschema för Ågestaverket framgår av tabell 1 respektive figur 1.

*Tabell 1. Huvuddata för Ågestaverket (med härd III efter effekthöjning 1970).*

Reaktoreffekt, termisk	MW	80
Elektrisk effekt	MW	12
Fjärrvärmeeffekt	MW	68
Primärsystemets driftryck	bar	33
Inloppstemperatur till reaktor	C	205
Utloppstemperatur från reaktor	C	220
Härdkylflöde	kg/s	1 200
Total bränslemängd	t	5,5
Antal bränslepatroner		96
Antal styrstavar		25
Reaktortankens inre diameter	mm	4 555
Reaktortankens höjd	mm	5 000
Reaktortankens vägg tjocklek	min	70
Reaktorinneslutningens nettovolym	m <sup>3</sup>	29 000
Total tungvattenmängd	t	75
Ångtryck i huvudvärmeväxlare, fullast	bar	14
Ångtryck i huvudvärmeväxlare, 20% last	bar	20
Ångflöde i sekundärsystem, full last	t/h	120
Framtemperatur fjärrvärmesystemet	C	80-120
Returtemperatur fjärrvärmesystemet	C	50-75

## 2. DRIFT OCH UNDERHÅLL

### 2.1 Driftstatistik

En statistisk sammanfattning av de 10 driftåren i Ågesta ges i tabell 2. Man finner där att utnyttjad tid i förhållande till total tid varit 58%, medan den korrigerade tidstillgängligheten i genomsnitt varit 84%. Den relativt stora skillnaden förklaras av långa sommaravställningar, som i hög grad styrdes av lågt fjärrvärmebehov. Under de sista 4 åren var tidstillgängligheten genomgående över 90%.

I figur 2 visas drifthistoriken i form av ett histogram över reaktoreffekten under driftperioden samt med olika driftpåverkande händelser markerade.

Tabell 2. Driftstatistik för Ågestaverket.

År	Utbränning MWh	Lev värme MWh	Lev el MWh	Drifttid reaktor, h	Avbrott antal	Del av året i drift, % *)
1964	89400	38867	2972	2260	3	32.0 (50.0)
1965	204666	86531	13705	3510	20	40.0 (64.5)
1966	34700	165322	33227	5706	10	65.2 (93.5)
1967	34900	166078	37067	6512	11	74.4 (99.5)
1968	176500	103468	17132	2934	4	33.6 (58.5)
1969	423655	191424	48046	6608	8	75.5 (97.7)
1970	384652	186888	45360	5353	3	61.2 (83.3)
1971	219535	128078	24363	3378	4	38.5 (91.5)
1972	352337	224067	38122	5423	10	62.0 (90.5)
1973	396593	266512	43617	6396	6	73.0 (99.3)
1974	178114	129857	18175	3595	6	98.2 (99.7)
Medelvärde						58.0 (84.0)

\*) Inom parentes anges värdet korrigerat för sommaravställning, testpatronhantering etc, ("tidstillgängligheten")

### 2.2 Drifterfarenheter, provdrift

Idrifttagningen av anläggningen inleddes med lättvattenprovdrift, som startade med kalla komponent- och systemprov. Därefter följde varma systemprov med successivt stegrad temperatur upp till normal drifttemperatur 210 C. Lättvattenprovdriften avslutades med dränering och vacuumtorkning av alla tungvattenssystem.

Erfarenheterna av lättvattenprovdriften var genomgående goda. Vid sköljningen av systemen visade det sig att de strikta renhetskraven vid montaget resulterat i mycket rena system. Under proven upptäcktes endast mindre defekter på komponenter och system, vilka kunde åtgärdas omgående. Lättvattenprovdriften visade också att de strikta täthetskraven på tungvattenssystemen kunde innehållas.

Lågeeffektdriften inleddes i juli 1963 med uppfyllning av tungvattensystemen och laddning av bränsle upp till kriticitet vid kall reaktor. Provdriften fortsatte med reaktor fysikaliska prov, först vid kall reaktor och sedan vid drifttemperatur. Fortsatta komponent- och systemtester ledde till att ytterligare läckande ventiler och laddrörstättningar upptäcktes och åtgärdades. Samtidigt ökades successivt antalet bränslepatroner i härden till fullt antal 140 st.

Under perioden testades reaktorns kontrollutrustning samt laddmaskin och styrstavsdrivdon intensivt. Drivdonen manövrerades under perioden lika mycket som under 7 normala driftår. Vidare uppvärmdes och nedkyldes reaktorsystemen sammanlagt ett stort antal gånger under lättvatten- och lågeeffektdriften, vilket tillsammans med proven bidrog till att ge driftpersonalen god kännedom om anläggningens driftkaraktär.

Sammantaget visade erfarenheterna från lågeeffektdriften att projekterade data i allt väsentligt innehölls. De kvalitetskrav som tillämpats för tungvattensystemen visade sig ge god utdelning i form av utmärkt funktion. Däremot medförde det ojämna färdigställandet av anläggningen sekundära förseningar och försvårade provdriften. Behovet av en kraftfull och effektiv projektledning och –styrning blev tydligt under montage och provdrift.

### **2.3 Drifterfarenheter, fulleffektdrift**

#### 1964

Samtidigt med att lågeeffektdriften avslutades utfördes prov av ång- och fjärrvärmesystemen. Effektuppgång inleddes och den första leveransen av värme till Farsta skedde vid reaktoreffekten 13 MW. Efter fortsatt successiv höjning, uppnåddes 65 MW den 20 mars 1964. Kontinuerlig elproduktion startade i mitten av maj. Driften pågick fram till den planerade sommaravställningen med endast två kortare avbrott i värmeleveransen. Liksom under provdriftperioden härrörde de fel som inträffade under den inledande fulleffektperioden huvudsakligen från sekundära och tertiära system. Slutomdömet för denna period var att anläggningen som helhet i allt väsentligt fungerade utomordentligt väl.

Primärsystemens täthet är på grund av tungvattnets höga kostnad av vital betydelse för en reaktor av Ågestas typ. Det var därför ett bakslag när driften skulle återupptagas efter sommaravställningen och ett betydande läckage av tungvatten, ca 900 g/h, till reaktorlockets tempereringssystem upptäcktes. Ett läckage av denna omfattning nödvändiggjorde omgående undersökning och reparation (se avsnitt 2.4).

#### 1965

Efter avslutat reparationsarbete och åtgärdande av följdfel av tungvattenläckaget bl a på en huvudcirkulationspump återupptogs driften av stationen i mars med bara tre pumpar i drift.

Efter sommaravställningen med reparationsarbeten och omladdning av testpatroner togs stationen åter i drift vid full effekt. Under resten av året avbröts driften vid ett flertal tillfällen bl a för omladdning av testpatroner, utbyte av styrdon och byte av läckande laddrörstättningar. Vidare var turbinen på grund av lagerskador endast i drift cirka 30 dygn under hösten.

Den mest anmärkningsvärda störningen inträffade i december, då oavsiktlig sprinkling erhöles i huvudvärmeväxlarrummet och expansionsdelen som följd av felaktiga ventillägen vid prov av nödkylsystemet. Ca 35 kubikmeter vatten utpumpades medförande att en mängd utrustning försattes ur funktion, kabelrännor fylldes och golvbrunnar överfylldes. Händelsen visade att all elektrisk utrustning måste vara kapslad för att fungera under och efter en sprinkling.

#### 1966

Driftåret 1966 förlöpte utan större störningar. Bestrålningen av två testpatroner för Marviken avslutades och bestrålning av fyra plutoniumanrikade testpatroner samt en uran-235-anrikad testpatron för Oskarshamn 1 påbörjades. Vid gammascanning under sommaravställningen tappades en av de plutoniumanrikade patronerna från laddmaskinen och föll 6 meter ned i strypstationen. Trots det höga fallet erhöles patronen endast lindriga skador. Efterföljande undersökningar visade att stavarnas kapsling förblivit helt intakt.

Liksom under tidigare år genomfördes relativt omfattande reaktor fysikaliska prov och mätningar. Förutom de sedvanliga proven av säkerhetssystem utfördes ett stort antal driftprov, bland annat två framgångsrika nätfrånslagsprov med övergång till husturbindrift utan snabbstopp av reaktorn. Bland proven av säkerhetssystemen kan nämnas täthetsprovningen av reaktorinneslutningen, vilken visade en något högre läckagefaktor än tidigare.

#### 1967

Praktiskt taget inga oplanerade avbrott i driften inträffade detta år. Vid omladdning av testpatroner upptäcktes en mindre kapslingsskada på en av de plutoniumanrikade patronerna. Bland provade säkerhetssystem under året kan tanksprinklingssystemet nämnas. Liksom vid tidigare prov av detta erhöles problem med öppningen av vissa motormanövrerade ventiler.

#### 1968

Året präglades av ett omfattande bränsle haveri, vilket medförde att låg nere i över sju månader. I början av januari upptäcktes via sprickindikeringsystemet kapslingsskador på ett par bränslepatroner och under de omfattande styrstavsmanövrer som genomfördes iaktogs ett långsamt ökande utslag på systemet. Ökningen gjorde sig först märkbar i den centrala zonen och spred sig därefter utåt. Vid några tillfällen konstaterades även språngartade och omotiverade förändringar i temperaturdifferensen över enskilda bränslepatroner.

Med anledning av de upptäckta kapslingsskadade bränslepatronerna, den stigande aktiviteten i reaktorvattnet och de onormala temperaturdifferenserna över vissa patroner snabbstoppades reaktorn den 10 mars. Dagen efter upptäcktes vid en inspektion i huvudvärmeväxlarrummet, en dosrat på 70 R/h vid en rörkrök i en huvudcirkulationskrets. När pumpen i kretsen startades försvann strålkällan momentant för att vid pumpstopp återkomma på samma ställe. Strålningskällan utgjordes troligtvis av fritt bränslematerial.

Vid följande urladdning och inspektion kunde konstateras att en mängd bränslepatroner var skadade och efter avslutad urladdning att tre avbrutna bränslestavar, några

bottenkonor och delar av höljerör samt smådelar av bränsle och kapslingsmaterial låg kvar i reaktortanken. Under det unika upprensningsarbete i reaktortanken, som följde, användes en till stor del specialkonstruerad utrustning som nedfördes och manövrerades via laddhålen i tanklocket. Med ledning av beräkningar uppskattades den kvarvarande mängden bränsle i systemen till ca 1 kg. Det kan här noteras att vid den genomsökning av reaktortank och primärsystem som av safeguard-skäl gjordes under 1990-talet inga signifikanta bränslerester kunde lokaliseras.

Efter ett i stort sett lyckat upprensningsarbete återupptogs driften av stationen i oktober 1968 med en ny bränslehard bestående av 84 Ågestapatroner, de 4 testpatroner som fanns i reaktorn vid haveriet samt en ny testpatron för Oskarshamn. Ågestapatronerna i den nya harden försågs med spridare av modifierad utformning för att om möjligt undvika skador av den typ som förorsakade bränslehaveriet. Se vidare avsnitt 3.2.

Sedan stationen återstartats hölls reaktoreffekten under de resterande tre månaderna av året, med något undantag konstant vid 65 MW. Bland genomförda prov av säkerhetssystem kan nämnas att tanksprinklingssystemet provades med gott resultat vid två tillfällen efter den ombyggnad och automatisering som utfördes under året för att möta skärpta krav.

#### 1969

I motsats till det föregående driftåret inträffade under 1969 endast ett fåtal avbrott och störningar i driften och reaktorn hölls under hela drifttiden vid full effekt.

En allvarlig händelse inträffade dock, då det vid pumpskifte i återkylarsystemet uppstod en tryckstöt, vilken medförde att en bit sprängdes bort ur ventilhuset i en backventil efter pumpen. Innan den skadade ventilen hann isoleras, strömmade genom den ca 400 m<sup>3</sup> vatten ut i stationen och träffade bl.a generatorskenorna, vilket medförde turbinutlösning och gav indikation i kontrollrummet på att något onormalt inträffat. Vidare överbelastades och trycksattes golvvavloppssystemet och ett kopplingskåp innehållande utrustning för sprinklingssystemen samt skalventiler översköldes av vatten. Som följd härav stängde skalventilerna i matarvattensystemet. Reaktorn snabbstoppades manuellt för att förhindra tömning av huvudvärmeväxlarna. Vidare startade pumparna och öppnade vissa ventiler i utrymmes- och tanksprinklingssystemen men pumparna stoppades omedelbart från kontrollrummet. Senare konstaterades också att ca 500 kg tungvatten läckt ut i tanksprinklerstammen genom en otät backventilgrupp. Sammanlagt erhöll minst 15 objekt felaktig funktion som följd av översvämningen.

Erfarenheterna från haveriet i återkylarsystemet visade nödvändigheten av att utrustning som ligger till grund för säkerheten utformas och placeras på ett sådant sätt att yttre påverkan av översvämning och andra händelser elimineras eller begränsas. Med anledning av händelsen begärde Delegationen för atomenergifrågor en opartisk utredning angående säkerheten hos den elektriska anläggningsdelen i stationen. Denna utfördes av Ångpanneföreningen och visade på ett antal brister i anläggningen, av vilka flertalet senare åtgärdades.

Ett antal testpatroner togs ur reaktorn, bl a en för Marviken, som misstänktes vara kapslingskadad, och bestrålning av en italiensk testpatron påbörjades.

Som vanligt genomfördes under året ett flertal prov av säkerhetssystem. En del av dessa måste upprepas för att erhålla tillfredsställande resultat, vilket visade nödvändigheten av att tillräckligt ofta prova säkerhetssystemen så fullständigt som möjligt.

I slutet av året beviljade Delegationen för atomenergifrågor Vattenfalls koncessionsansökan från 1967 rörande en höjning av reaktorns maximala termiska effekt från 65 till 80 MW. Till grund för beslutet låg en förnyad säkerhetsanalys och därav föranledda förstärkningar av säkerhetssystemen. Effekthöjningen genomfördes planenligt i början av 1970.

#### 1970

Sommaravställningen förlängdes detta år med en dryg månad. Orsaken var ett brott på laddmaskinens hissline under firning av ett styrdon varvid laddmaskinens grip och styrdonet föll ca 6 m ner i ett förråd för styrdon med omfattande skador på gripen som följd. Bestrålningen av testpatronen för Oskarshamn fortsatte under hela året, medan den italienska testpatronen ersattes med en ny på grund av en kapslingsskada. Årets prov av säkerhetssystem inklusive täthetsprovning av reaktorinneslutningen visade tillfredsställande resultat.

#### 1971

Drifttiden under 1971 reducerades avsevärt av bl a till följd av en arbetsmarknadskonflikt utanför verket samt utebliven koncession för fortsatt drift med den gamla bränslehärden och senare laddningsarbeten med en ny härd. Dessutom begränsades reaktoreffekten av testpatronernas tillåtna belastning, låg reaktivitetsmarginal för den gamla härden samt otillräcklig kyltornskapacitet. Under den korta drifttiden detta år förekom också en veckas stopp då stationen avställdes för byte av laddrörstättningar.

Vid laddningsarbeten under sommaren blev laddmaskinen på grund av ett elavbrott stående mellan reaktor och bränsleförråd under halv timme med fyra bränslepatroner utan kylning. Då patronerna avklingat under flera månader förelåg emellertid ingen risk för överhettning.

Bestrålningen av testpatronen för Oskarshamn, vilken pågått under två och ett halvt år, avslutades och liksom den italienska Pu-anrikade patronen urladdades den under sommaren.

Provverksamheten dominerades av de omfattande reaktor fysikaliska proven för den nya reaktorhärden. Vid proven av säkerhetssystemen stod sig tendensen till färre felfunktioner. Däremot visade täthetsprovningen av reaktorinneslutningen en nästan femfaldig ökning av läckaget jämfört med prov före driftstarten.

#### 1972

Under sommaravställningen genomfördes åter en täthetsprovning av reaktorinneslutningen, vilken visade en 50-procentig ökning jämfört med föregående år. Med anledning av resultatet och att korrosionsskador upptäckts på inneslutningens trycktäta plåt genomfördes en förnyad, mer omfattande tryck- och täthetsprovning där trycket togs



upp till konstruktionstrycket 3 bar. Härvid upptäcktes och reparerades ett flertal skador på trycktäta plåten, varav en del sannolikt hade funnits sedan byggnadstiden. De vid provning efter reparationerna erhållna resultaten visade ett lägre läckage än vid samtliga tidigare provningar inklusive den ursprungliga 1962.

Vid reparationsarbeten på reaktorns tryckhållningstank under sommaravställningen inträffade en ofrivillig blåsning av ca 60 kg tungvattenånga i samband med en för arbetet nödvändig nivå-sänkning i reaktorn. Under hösten förorsakades en veckas stopp av ett läckage och efterföljande åtgärd i systemet för återfyllnad av tungvatten. Läckaget berodde på en spricka i en svets intill ett tidigare modifierat T-stycke i systemet.

Bestrålningen av och arbetet med testpatroner ökade under detta år i betydande grad. Sammanlagt bestrålades tio testpatroner, varav sju av ASEA-ATOMs konstruktion, två nya italienska patroner samt den tidigare bestrålade italienska, plutoniumanrikade patronen. Testpatronhanteringen förorsakade en sammanlagd avställningstid av närmare två veckor och patronernas tillåtna belastning begränsade den maximala reaktoreffekten med 5 – 10%.

#### 1973

Efter störningsfri drift fram till oktober inträffade en explosion i reservkraftbatteriet för det störningsfria och det avbrottsfria nätet. Tillstånd erhöles dock från Delegationen för atomenergifrågor att fortsätta driften utan batteri men med vissa driftomläggningar, bl a start och inkoppling av en dieselgenerator, för att säkerställa matningen av reservkraftsystemet vid ett eventuellt nätspanningsbortfall. Sedan de förstörda cellerna i reservkraftbatteriet ersatts skedde återgång till normal driftläggning i slutet av månaden.

Bestrålningen av testpatroner var liksom under föregående år av relativt stor omfattning och begränsade den maximala reaktoreffekten med ca 10%. Under olika perioder bestrålades fem testpatroner från ASEA-ATOM samt tre italienska, varav en urladdades p g a kapslingskada.

Under året genomfördes ett flertal reaktor fysikaliska prov för att säkerhetsmässigt följa upp härdparametrarnas utbränningsberoende och den genomgripande omflyttningen av bränslepatroner i reaktorn under sommaravställningen. Ännu en täthetsprovning av reaktorinneslutningen gjordes, vilken visade ett läckage bland de lägsta som uppmätts.

#### 1974

Stationens sista driftår förlöpte med endast av ett fåtal kortvariga snabbstopp, de flesta orsakade av störningar i nukleonikutrustningen. Bestrålningen av testpatroner omfattade endast en av ASEA-Atoms konstruktion och den plutoniumanrikade italienska patronen.

Den 2 juni 1974 stoppades reaktorn slutgiltigt och nedläggningen av stationen påbörjades med urladdning av härden och tömning av det tunga vattnet. Nedläggningsarbetet pågick därefter under drygt ett år och omfattade bl a borttransport av bränsle och tungvatten, dekontaminering av utrustning och utrymmen samt nedmontering, försäljning eller skrotning av utrustning.



## 2.4 Underhållserfarenheter, mekanisk utrustning

Detta avsnitt behandlar erfarenheterna av revisioner och åtgärder på den mekaniska utrustningen. Slutsatser dras om konstruktion och val av utrustning för säkra god funktion och effektivitet i underhållet. Strategier och organisation av underhållet behandlas däremot inte.

### 2.4.1 Lockreparation

Som nämnts i avsnitt 2.3 uppstod 1964 läckage i reaktorlockets tempereringskrets, som vid undersökning lokaliserades till flera av reaktorlockets elva inspektionskanaler. Efter ytterligare undersökning beslöts att en 6 mm tjock skärmsplåt skulle svetsas in framför varje inspektionskanal inne i locket. För att komma åt inspektionskanalerna i locket måste samtliga vattenfördelarrör och borinsprutningssystemet skäras bort. Därefter borrades hål (diameter 130 mm) i övre lockplattan framför varje inspektionskanal (lockplattans tjocklek 80-130mm). Under tiden byggdes av tillverkaren en modell av locket för träning i att utföra reparationen. Efter det att håltagningen vid inspektionskanalerna var klar startades reparationen vilken tog ungefär 14 dagar för varje kanal. Den relativt långa tiden förklaras av att man var tvungen svetsa med ca 7 cm långa elektroder genom ett trångt hål och att man dessutom för att kunna se svetsstället måste använda 2 speglar. Efter det att samtliga 11 sköldar svetsats in, godkänts och heliumläcksökts insvetsades en propp i det upptagna hålet i lockplattan framför respektive kanal. Nästa steg var att svetsa in samtliga vattenfördelarrör i locket. Därefter provtrycktes locket med kvävgas under 2 dygn med utmärkt resultat.

### 2.4.2 Tungvattenpumpar

Tillståndet för huvudcirkulationspumparna (Hayward-Tyler 250 HP GMPU) har rutinemässigt följts upp genom revisioner. Revision av den första skedde efter en drifttid av ca 14 000 timmar. Pumpen var i relativt god kondition, men visade en tendens till nedslitning i lagergångarna på grund av en felaktighet i axiallagret, med all sannolikhet härrörande från tillverkningen. I samband med återstart av pumpen havererade den på grund av torrkörning orsakad av bristfällig avgasning. Placering av motor över pump har alltid medfört stora svårigheter vid återstart efter det att en krets varit dränerad. Haveriet inträffade utan att befintlig gasvakt gav larm. Skador erhöles inte bara på lager utan även på rotor och stator.

En normal pumprevision har i regel tagit ca 14 dagar och gjorts med egen personal. De största problemen är att samtliga röranslutningar är helsvetsade. Argonsvetsning tillämpas men argongas är mycket svår att få fram till svetsstället. Materialet i pump och rör (SIS 2333) är mycket lättsvetsat. Ytterligare 4 revisioner på huvudcirkulationspumpar gjordes.

Under 1972-73 gjordes tre revisioner på kolvpumpar i återfyllnadssystemet för tungvatten (Bvan&Lübbe, Univerdes DNR 1B). Den första föranleddes av boxläckage med uppfyllning av vevhuset med tungvatten. Vid demontaget upptäcktes korrosionsangrepp på kolv, distansring för kolvtätning samt i pumphuset och pumphusets lock. Kolv och kolvstång uppvisade mindre slitagemärken troligen orsakade av packningsmaterialet, vilket för kolvstångstätningen och topplockspackningarna är sintrad teflon och för kolvtätningen neopren på asbestkord. För att utröna orsaken till de upptäckta korrosionsangreppen undersöktes

bl.a kolvätningarna, där packningsmaterialet visade sig ha hög kloridhalt. Efter kontakt med pumpleverantören togs en ny packningstyp fram med en kloridhalt av 0,07 %. Vid de två övriga revisionerna upptäcktes inget onormalt men samtliga packningar byttes.

Revisioner av styrdonspumpar (KSB LUSM 50/18/2) gjordes efter 10000 h och respektive 9 års drifttid. Vid den första demonterades pumpen fullständigt och lagerspel m.m uppmättes. Slitaget visade sig vara ringa och pumpen i sin helhet i mycket gott skick. Ett grafitlager byttes ut på grund av en mindre skada. Pumpen demonterades fullständigt även vid den senare revisionen och lagerspel m.m uppmättes. Slitaget på axiallager var ca 50 % av det tillåtna. På radiallagren kunde inget slitage uppmätas. Komplet axiallager och ett radiallager utbyttes.

Revision på bottendränagepumpen (Hayward Tyler 12.5 HP DS) gjordes efter en drifttid på 9 år. Revisionen var föranledd av missljud och efter demontering konstaterades att pump-hjulet skadats på grund av kontakt med diffusorn. Pumphjul och samtliga lager byttes.

Vid sammanlagt fyra revisioner av sprayflödespumpar (Hayward Tyler 12.5 HP DS) konstaterades slitna radiallager, spricka i svets på rotorns kopplingsrör och i rotorns gavel, skrapmärken på kapslingsrören, rotoraxeln något krokig samt fukt i stator. År 1972 byttes en pump mot reservpump under normal drift på grund av lågt isolationsmotstånd i statorn.

#### 2.4.3 Tryckhållningspanna och tryckhållningstank

Inspektion av nämnda tryckkärl utfördes under ca en månad sommaren 1970. Samtidigt inmonterades i tryckhållningstanken en skyddsplåt över tankens bottenstuds som ett komplement inför effektuppgången till 80 MW. Genom kärlets läge i primärsystemet med ventillösa förbindelser till reaktortanken blev arbetet inte bara rent tekniskt utan även strålskyddsmässigt krävande. Vid besiktningen undersöktes studsar, svetskorspunkter och vattenlinjer med hjälp av penetrerande vätska. Resultatet av besiktningen får betecknas som mycket gott och inga anmärkningar fanns att notera.

Motsvarande inspektioner gjordes även 1971 utan anmärkningar. Året efter inträffade ett läckage i packningen till manluckan och toroiden på tryckhållningstanken, troligen förorsakat av oavsiktlig utrymmessprinkling. Sprinklerdysorna var så olyckligt placerade att det kalla sprinklervattnet sprutade direkt över manluckan. Toroiden skars upp, packningen byttes ut och toroiden igensvetsades. Samtliga bultar i manluckans förband byttes ut.

#### 2.4.4 Säkerhetsventiler och tryckkärl

I stationen finns 104 säkerhetsventiler varav ca 30 på tungvattensidan. Samtliga har funktionsprovats årligen och fungerat bra. Varje år har endast ett par ventiler fått demonteras och ses över, vilka alltid suttit på lättvattensidan. Noteras kan att vid provning av säkerhetsventiler i huvudvärmekretsarna 1967 uppstod en tungvattenförlust om 1 100kg beroende på arbeten i angränsande system. Vattnet kunde dock tillvaratas för upparbetning.

Övriga tryckkärl som huvudvärmeväxlare, övriga värmeväxlare, tankar och expansionskärl på lättvattensidan har tack vare den goda vattenkemin aldrig gett upphov till anmärkningar vid inre besiktning. Reaktortanken besiktigades 1968 av TRC i den omfattning åtkomligheten tillät. Under huvuddelen av arbetet var hela bränslehärden urladdad men det

tunga vattnet fanns kvar i tanken. I tre av huvudvärmekretsarnas utloppsstudsar detekterades mindre defekter, troligen slagginneslutningar och rotfel från tillverkningen. Dessa defekter kontrollerades senare med bestämda intervall utan att någon förändring kunde iakttas.

#### 2.4.5 Övrigt

Ett T-stycke i återfyllnadssystemet för tungvatten byttes 1966 efter att en spricka uppstått där ledningen ansluter till huvudvärmekretsen. Sannolikt hade sprickan uppstått på grund av vibrationer från återfyllnadspumparna, som är av kolvtyp, samt de temperaturväxlingar som uppstår i T-stycket på grund av det återförda vattnets relativt låga temperatur. Det befintliga T-stycket utbyttes mot ett nytt av högre tryckklass och med en värmesköld för att utjämna temperaturväxlingarna. Uppstagningen av ledningen förbättrades med hjälp av stötdämpare. Reparationen utfördes utan komplikationer. Sex år senare konstaterades ett nytt läckage på samma ledning beroende på en spricka i en svets med felaktigt utformad hålkärl.

Ett brott på ingående axel till kuggväxeln för kyltornsfläkten i återkylarsystemet inträffade 1967. Den brutna axeln och erforderliga lager byttes ut, men efter en drifttid av ca 9 veckor inträffade på nytt brott på samma axel. Den på aggregatet befintliga skakvakten löste inte ut vid något av haverierna. Vid det senare haveriet demonterades växeln i sin helhet och den brutna axeln byttes mot en ny tillverkad i nytt material och modifierat utförande. En undersökning av växelns uppställningsfundament visade, att ingjutningsgodsets fixering var mindre tillfredsställande vilket korrigerades. Axeln mellan motor och växel visade sig vara krökt och byttes ut. Vid provkörning efter reparationen konstaterades vibrationer, som visade sig bero på att vinkelinställningen hos de enskilda fläktbladen varierade mellan 9-14 grader och att ett av bladen dessutom var nedböjt ca 85 mm vid spetsen. Kvarstående vibrationer åtgärdades genom en balanseringsvikt i fläkthjulets nav.

Upprepade haverier har inträffat på tätningsslangar för transportslussens portar. Haverierna har orsakats av att slangarna, som ligger klistrade mot botten i ett spår, släppt från underlaget och vid manövrering av porten kommit i kläm och punkterats. I samband med ett av dessa haverier kom slussen att trycksättas av den kompressor som försörjer slangarna med tryckluft. Trycksättningen fick begränsad omfattning p g a kompressorns ringa kapacitet och tidig upptäckt. För att förhindra en upprepad trycksättning har i slussen monterats en tryckvakt, som vid onormalt tryck ger signal till kontrollrummet.

#### 2.4.6 Sammanfattade erfarenheter

*Sammanfattningsvis kan följande erfarenheter noteras:*

- Antalet fabrikat av pumpar, ventiler och andra komponenter bör minimeras.
- Bästa kvalitet betalar sig alltid i längden.
- Standarddimensioner på rör, packningar m m bör användas i största möjliga utsträckning.
- Obligatoriskt renmontage vid byggandet av kärnkraftverk bör gälla. Kostnaden för renmontage är mycket blygsam jämfört med den för utbyte av dyrbara komponenter och för onödiga stopp som annars kan bli följden.
- Dokumentation på ingående komponenter måste ovillkorligen finnas tillgänglig i stationen.

## **2.5 Underhållserfarenheter, el- och kontrollutrustning**

### 2.5.1 Motorer och omformare

Olika elmotorer i anläggningen har krävt underhållsinsatser för att åtgärda upptäckta fel och brister. Sålunda har elmotorerna för huvudcirkulationspumparna omlindats med kopparlindning och elgenomföringarna har försetts med tätningar av ny konstruktion. Lagren på stillastående motorer har skadats på grund av vibrationer i turbinhuset varför axeltappslagren utbytts mot sk förspända kullager. Mindre god isolation på en sprayflödespump konstaterades bero på bristande täthet hos porslinsgenomföringar, vilka utbyttes mot teflon. Även fläktmotorer har varit utsatta för fuktskador på grund av vattenläckage, vilket åtgärdats genom omlindning och förbättring av genomföringar.

Släpningar och kommutatorer på omformaraggregat har svarvats samt försetts med borsthållare av ny typ och mjukare elborstar, vilket förbättrat driftsäkerheten.

Vid igångkörning av omformaraggregatet för elektroniksystemet efter ovannämnda arbeten inträffade ett haveri, varvid en av rotorpolerna lossnade beroende på att magnetiseringen av elektronikomformaren var polvänd i förhållande till synkronmaskinen. Vid efterföljande reparation och balansering måste även lagret närmast synkronmaskinen bytas.

Synkronmaskinen för en av huvudcirkulationspumparnas omformaraggregat havererade då en lödning på rotern lossnade och tråden rev sönder statorlindningen. Vid provinkoppling av det skadade omformaraggregatet erhöles störningar på flera system, bl a överbelastades ett 40-tal indikeringslampor. Vidare förhindrades automatisk manöver vid stopp av omformaraggregatet p g a avbrott i en frånslagsmagnet.

### 2.5.2 Motormanövrerade ventiler

Motormanövrerade ventiler har utgjort ett stort problem. Efter längre stillestånd är ventilerna svåra att manövrera och att motionera ventilerna är inte möjligt. Försök med ändring av momenten har hjälpt i några få fall. I automatikutrustningen på samtliga ventiler har selenlikriktarna utbytts mot dioder då de visat benägenhet att snabbt åldras.

### 2.5.3 Batterier

I batterierna för huvudcirkulationspumparnas omformaraggregat har vid flera tillfällen enstaka element uppvisat låg syravikt samt utfällningar från polbultarna i form av flagor, vilka i vissa fall hade samlats nere på plattorna och kortslutit dessa. Samtliga element har öppnats och rengjorts, polbultarna försetts med krympslang och på plattornas översida en perforerad skiva av isolerade material placerats. Batterierna för huvudcirkulationspumparnas omformaraggregat och för reservkraft byttes 1967, då kapacitetsprov visat för låga värden.

För att erhålla en bättre reglering av laddningsspänning har extra celler insatts för både reservkraftbatteriet och övriga. Regleringen av laddningsspänningen för batterierna till huvudcirkulationspumpens omformaraggregat har förbättrats genom ett reglermotstånd med större antal steg i serie med befintlig fältreostat.

Vid explosionen i reservkraftbatteriet 1973 förstördes 40 av sammanlagt 208 celler. De ersattes först provisoriskt men efter leverantörens utdömande ersattes hela batteriet. Vid de kapacitetsprov som regelbundet utförts har dåliga celler utbytts, vilket medfört att manöver- och signalbatterier helt eller till större delen utbytts. Startbatterierna till dieselgeneratorerna har utbytts på låg kapacitet med ca 2 års intervaller.

#### 2.5.4 Dieselgeneratorer

Dieselgeneratorerna för reservkraft har vid flera tillfällen ställt till problem genom att bara tre av fyra fasar. Olika inställning av reglerutrustningen har prövats men inte helt eliminerat problemet. Ombyggnad av ett dieselrum har gjorts för att skilja dieselaggregaten från varandra och från övrig utrustning.

#### 2.5.5 Övrig elutrustning

På transformatorer har läckande olja ur kabelboxar förekommit, dock utan att större problem uppstått. Ett avbrott i indikeringen för gasvakt orsakades av att vatten trängt in i kopplingslådan och ett brustet lager för en indikeringsarm i motordonet till en lindningsomkopplare medförde utebliven signal vid manöver.

Ventilationsutrustningen har uppvisat stora brister ifråga om effektivitet. I relä-, omformar- och dieselrum har det inte gått att sänka till lämplig temperaturnivå och den höga omgivningstemperaturen kan vara orsaken till haveriet på en av huvudcirkulationspumparnas omformaraggregat. Hög temperatur och dålig utsugning i batterirum har inverkat på batterierna. Signalerna till kontrollrummet för termisk utlösning av ventilationens fläktar, som nästan alltid indikerade felaktigt, har nykonstruerats i fråga om kontaktgivning.

Vid en besiktning av elångpannan i tryckhållningssystemet konstaterades ett flertal elpatroner vara korrosionsangripna, troligen förorsakat av att luften haft tillträde genom ett borrhål. Elpatronerna putsades, dimensioner och deformation uppmättes och några utbyttes. Sammanfattningsvis kan konstateras att felanmälningarna för elutrustning dominerats av elmanövrerade ventiler med 40% medan lokalkraft, belysning, hissar, slussar och traverser svarat för 25% och övriga kategorier vardera mindre än 10%.

#### 2.5.6 Mät- och kontrollutrustning

Vid tiden för upphandling av utrustning till Ågesta var inte transistortekniken tillräckligt utvecklad och prövad varför utrustningen till övervägande del är rörbestyckad med inblandning av några transistoriserade reglerenheter. Vid senare ombyggnader har viss transistorbestyckad utrustning installerats, vilket bl a medfört minskat underhållsbehov.

Ombyggnad har gjorts av effektfelsförstärkare för neutronmätkanaler, temperaturtransmittorer, bränsletemperaturmätutrustning med kvicksilversnurror som ersatts med en datalogger samt signalblinkutrustning med frekvent fastbränning av kontakter som ersatts med transistorer. Sprickdetekteringssystemet har kompletterats med helt ny totalövervakningsutrustning samt temperaturmätningar i meteorologimasten, kabelstråk m m förnyats.

Genom en bättre koordinering av konstruktionsarbetet under projekteringen skulle troligen ett flertal brister och därav följande ombyggnader ha kunnat undvikas. Detta



gäller också felplacerade mätgivare, otillräckligt dimensionerade rör till tryck- och differenstrycksmätare, dåliga avgasningsmöjligheter, sammanbindning av mät- och manöverparter i samma kabel liksom fukt och vatteninträngning i vissa kritiska delar av utrustningen. Det senare har orsakat icke normala arbeten såsom dränering av precipitatorer, torkning av styrvägsindikeringar samt sökning av jordfel, avledningar och mätfel. Mätkablar till Farstacentralen har orsakat många felvisningar och kablarna från silhuset (masten) har på grund av åska och oväder skadats ett antal gånger, då de varit för oskyddade. Av de system som orsakat flest fel kan nämnas signalsystem, sprickdetekteringen, fjärrvärmenätet samt styrvägsmanövrering och -indikering. För alla system har gällt att skrivare med tillhörande utrustning stått för flest fel.

Neutronmätutrustningen har trots sina över 900 elektronrör fungerat bra bortsett från kortvariga störningar från andra system som slagit in på gränsvärdesdon och stoppat reaktorn.

Aktivitetsövervakningen i reaktorhallen har kompletterats med ljusfyror då det gamla systemet gav dålig varningseffekt. Även på laddmaskinen har ljusfyror inmonterats på den del som befinner sig i laddrännan för att användas vid de temporära strålrisker, som kan uppstå i samband med bränsle- och styrkonsolhantering.

*Sammanfattningsvis kan följande erfarenheter och slutsatser noteras:*

- Arbetet med mät- och kontrollutrustningen under en normal sommaravställning omfattade ca 300 dv. Under det sista året ökade det avhjälpande underhållsarbetet i omfattning, troligen på grund av minskat förebyggande underhåll.
- Blandning av olika mätutrustningar för samma ändamål bör undvikas om de inte har samma linjaritet över hela området.
- Kablar till givare och apparater bör anslutas underifrån för att undvika att vatten rinner ned efter kablar och in genom otäta genomföringar.
- Mätpunkter bör ha ett bättre positionslokaliseringssystem. Komponenter och apparater i skåp har partbeteckningar för alla koordinater medan mätpunkter endast har rumsnummer. Svårtillgängliga och avlägsna rum bör förses med tillräckligt antal reservparter för tillkommande ändamål.
- Kylning och ventilation av mätutrustning har på många ställen varit otillfredsställande. Att i efterhand rätta till detta är besvärligt, kostsamt och troligen sämre säkerhetsmässigt.
- Sprickdetekteringssystemet är det kanske mest komplicerade systemet i stationen. Vid lokalisering av skadade bränslepatroner har det fungerat fullt tillfredsställande, men det kräver stor arbetsinsats för att hållas i funktion och kan därför inte rekommenderas.

### **3. HÄRDFYSIK OCH BRÄNSLE**

I egenskap av första kärnkraftverk i Sverige har Ågestareaktorn haft stor betydelse för utvecklingen av härdfysik och bränsleteknik. För projekteringsberäkningar fick man tidigare lita till stödet av experiment i små försöksupställningar. Extrapolationen till en

kraftreaktor med dess större härddimensioner, högre effekttätheter och utbränningsberoende förändringar var stor. Ågesta har i dessa avseenden bidragit till väsentligt utökad kunskap, och spelat en oundgänglig roll i den svenska kärnkraftutbyggnaden.

### 3.1 Härdfysik

#### 3.1.1 Initialhärd med 19-stavspatroner

Vid projekteringen av var erfarenheten liten av den typ av bränsle som kunde användas i ett kärnkraftverk av tungvattentyp. Bestämningen av konstruktionsparametrarna baserades därför till stor del på beräkningar, delvis understödda med resultat från de amerikanska och kanadensiska reaktorprogrammen samt från förberedelserna för den norska Halden-reaktorn.

*När bränslekonstruktion och härdgitter var fastlagda tillverkades provpatroner för nolleffekt-mätningar i Studsvik (R 0) vid låg temperatur och i Savannah River vid hög temperatur. Vid dessa mätningar bekräftades i stort sett tidigare konstruktionsunderlag.*

Teoretiska beräkningsmetoder utvecklades i takt med att nya experimentella underlag kom fram. Initialt användes fyrfaktorformelberäkningar med makroberäkningar på den lilla MATIMA (2 dim. diffusions-programmet HASSIT). Cellberäkningsprogrammen BURNUP och senare REBUS utvecklades och med dessa bestämdes reaktor fysikaliska parametrar som överskottsreaktivitet, reaktivitetskoefficienter och effektfördelning. Ett viktigt steg blev utvecklingen av den heterogena metoden för makroskopiska beräkningar som med programmet HETERO gav möjlighet till noggranna styrvstavberäkningar.

En serie av reaktor fysikaliska tester genomfördes vid reaktorns laddning och start med bl a mätning av kritisk moderatornivå med och utan styrvstavar, reaktivitetskoefficienter, styrvstavs värden, spektrum och fördelning av neutronflöde samt resonanspassagefaktor. En serie mätningar gjordes redan vid delstora härdar: vid 21 (minsta kritiska antal), 32, 68 och 140 patroner. Temperatureffekten bestämdes enbart vid fulladdad härd och för 20-220 C. Överskottsreaktiviteten vid kall och varm (oförgiftad) härd bestämdes till 9.0 respektive 5.0%, vilket var ca 1% över beräknat och möjliggjorde medelutbränningar på över 5 000 MWd/tU.

Trots att reaktorn var mera reaktiv än kalkylerat behövde inte styrvstavssystemet ändras. Tvärtom uppmättes 10 - 20% större reaktivitetsverkan än beräknat så antalet styrvstavar kunde minskas från 27 till 18. Dimensioneringen hade varit så konservativ att man kunde slopa vissa perifera stavar. Antalet ökades dock senare när anrikade testpatroner introducerades i härdan.

Mätning av axiell och radiell effektfördelning i reaktorn genomfördes under startperioden genom aktivering av koppartrådar och gamma-avsökning av bränslepatroner. Vid drift användes BTM-utrustningen för att bestämma temperaturhöjningen på kylvattnet i varje patron. Parallellt utvecklades metoder för att beräkna och följa upp effektfördelningen vid omflyttningar samt styrvstavverkan. Separata studier av intern effektfördelning i knippet företogs och genom sammanställning av de olika mätresultaten fick man fram maximal stavbelastning och kunde bestämma marginalen mot burn-out. Genom Ågesta-reaktors

konservativa utformning blev maximalbelastningen inte något driftproblem, utan man kunde tillåta sig relativt grova uppskattningar av styrstavssekvenser.

Ur driftsynpunkt var undersökningen av reaktorns dynamiska egenskaper av mindre betydelse p g a dess goda självstabiliserande egenskaper. Omfattande studier gjordes dock för att få erfarenhet från detta område. Teknik för noggranna reaktivitetsstudier utvecklades och vid brusmätningarna uppmättes kraftiga resonanser vid 3.8 och 13 Hz. Dessa frekvenser visade sig senare ha samband med egenfrekvensen hos patronerna. De kraftiga vibrationerna i dessa kan förklara de skador som resulterade i bränslehaveriet 1968.

### 3.1.2 Driftmätningar och beräkningar

Driften av reaktor med den första härden övervakades via mätningar av kanaleffekterna och genom beräknade styrstavsmönster. Beräkningar och bestämning av omladdningsprocedurer gjordes med hårdprogrammet HETERO. Reaktor började också ganska snart att användas för prov av anrikade bränslepatroner till reaktorerna i Marviken och Oskarshamn, vilket ökade kraven på noggranna förutsägelser om effektfördelningen. År 1968 blev förbättrade hårdprogram tillgängliga för användning på de alltmer komplicerade härdarna.

Beräkningarna gav relativt bra överensstämmelse med uppmätta effektfördelningar och även vid komplicerade testpatroner och till nära hälften inskjutna styrstavar var avvikelserna aldrig större än 15%. Mätningen av kanaleffekterna var dock osäker p g a den dåliga definitionen av det avsugna vattenflödet. I regel överskattades de höganrikade testpatronernas effekt.

Utbränningsuppföljningen av härd I och II gjordes via effektfördelningar beräknade med HETERO. Vid upparbetningen togs isotopprover för kontroll av beräknade utbränningar och Pu-halt. Dessa visade 1.5 % lägre Pu-innehåll än beräknat, vilket bedömdes som utmärkt.

På grund av de omfattande skadorna på ett flertal patroner 1968 måste en ny färsk härd tas i anspråk. På grund härav gav härd I endast 2 800 MWd/tU mot planerat 4 500 MWd/tU. Härd II kom att bestå av patroner av i stort sett samma konstruktion som de tidigare havererade. Till härd II fanns endast 84 färska patroner tillgängliga, varför reaktor under en månad drevs med kraftigt reducerad härd. Därefter kompletterades härden med svagt utbrända patroner från härd I men det blev aldrig fler än 112 patroner.

Driften med reducerat antal patroner orsakade problem gällande signalnivån till de yttre neutrondetektorerna, vilken sjönk med en faktor tre, och ökad osäkerhet i bestämningen av kylvattenflödets storlek. Kravet på god effektbestämning ökade också genom att belastningen per patron blev högre. Genom höjning av maximalt tillåten stavbelastning från 350 till 450 W/cm möjliggjordes drift vid 65 MW reaktoreffekt. Härd II bestrålades under 1968-1971 och nådde 3 270 MWd/tU i utbränning. Detta bränsle var inte fullt utbränt när man bedömde det som säkerhetsmässigt motiverat att övergå till annan typ av bränsle.

När en ny härd måste tas fram efter bränslehaveriet 1968 gjordes ansträngningar att hitta en ny bränslekonstruktion. Efter olika försök valdes en patron baserad på ASEA-ATOMS lättvattenpatroner, vilket medförde att de nya patronerna med 5x5 stavar blev helt olika de



tidigare kompakta 19-stavsknippena. De nya klenare stavarna reducerade, trots ökningen av antalet, uranvikten till ungefär hälften mot tidigare. Fler spridare och nytt material ökade reaktivitetsbelastningen med ca 0.5 reaktivitetsprocent. Sammantaget nödvändiggjorde detta införande av svagt anrikat bränsle.

I och med införandet av anrikat bränsle måste ny koncession sökas. Detta innebar en omfattande granskning av den nya härdens egenskaper, eftersom säkerhetsbestämmelserna hade skärpts på en rad punkter. Framförallt krävdes analys av kylmedelsbortfall vid rörbrott. Vid beräkningarna på den nya patronen framkom att man med ökad utbränning kunde få en svagt positiv voidkoefficient. Detta påverkar analysen av avstängningsförloppet vid rörbrott, varför man av myndigheten ålades att genom regelbunden mätning av void-koefficienten verifiera antagandena i analysen. Mätningarna gjordes vid 60-80% av full effekt genom att minska reaktortrycket tills nettokokning inträffade i de mest belastade patronerna. Koefficienten befanns vara svagt negativ och inom de felgränser som gällde för analysen.

Den nya patronen fungerade mycket bra och genom ökningen av antalet stavar samt zonvis laddning av härd kunde stavbelastningen minskas till under 300 W/cm trots att reaktoreffekten höjts från 65 till 80 MW.

Vid Ågestas nedläggning i juni 1974 var härd III praktiskt taget helt utbränd. Den nådde de förhållandevis höga värdena 8 100 MWd/tU i medelutbränning för de anrikade patronerna och 5 300 MWd/tU för natururanpatronerna. Med tanke på den reducerade härdstorleken och att patronerna ej var neutronekonomiskt optimerade för tungvatten får detta anses som bra.

## **3.2 Bränsleteknik**

### 3.2.1 Härd I och II

Bränslepatronerna i de två första härdarna utgjordes av 19-stavs-knippen inspända i ett höljerör av zirkonium, där varje stav bestod av 4 delstavar som skruvats ihop till över tre meters längd. Bränslet utgjordes av sintrade urandioxidkutsar (17 mm diameter) med natururan. Kapslingsröret innehöll initialt heliumgas och var dimensionerat för reaktortrycket 34 bar. Stavarna hängde i en topplatta och expanderade genom spridare nedåt.

Maximalt tillåten patroneffekt var 1 200 kW för härd I och 1 500 kW för de något modifierade patronerna i härd II, vilket motsvarar en maximal längdvarmebelastning av 350 respektive 450 W/cm. Effektövervakningen skedde med den sk BTM-utrustningen, som registrerade temperaturökningen på kylvattnet för varje enskild patron. Med kännedom om kylmedelsflödet kunde patroneffekten då lätt bestämmas. I reaktorsystemet ingick också en kontinuerlig övervakning av fissionsgasinnehållet i kylvattnet från varje patron, vilken kom till stor användning vid testpatronbestrålningarna och vid läckor på ordinarie patroner.

Ingen av de ordinarie patronerna i härd I och II gav fissionsgasläckage eller övereffekt eller svetsfel. Däremot uppkom som nämnts i avsnitt 2.3 stora bränsleskador i härd I under 1968. Ett 10-tal patroner var så skadade att fissionsprodukter och bränslematerial kom ut i kylvattnet, men ansatser till omfattande skador fanns på ytterligare ett 20-tal

patroner. Orsaken till skadorna torde ha varit de stora nötningspåfrestningarna vid knippets stödklackar mot ledröret på grund av vibrationer och temperaturcykling. Detta medförde genomnötning av ledröret och onormal ökning av knippets svängningsamplitud så att kapslingsrören skadades. Skadorna var korrelerade till hög effekt, högt vattenflöde och lång bestrålningstid. Innehållet av fissionsprodukter i primärsystemet blev genom de många skadorna så högt att det med registreringsanordningarna var svårt att upptäcka ytterligare kapslingsskador.

### 3.2.2 Härd III

Som bas för den tredje härden valdes som nämnts ASEA-ATOMS lättvattenkonstruktion. Dess kvadratiska 8 x 8 patron var för stor för Ågestas laddhål, men detta klarades genom bantning till 5 x 5 stavar och reduktion av längden. Fördelen med konstruktionen var att stavarna var fast förankrade i botten och att den termiska expansionen skedde fritt genom åtta spridare av inconel. Spridarna kunde på så sätt inte nöta på ledröret.

Stavarnas diameter var densamma som i lättvattenkokarna d v s 12.25 mm med en kutsdiameter 10.5 mm. Dessa klenare stavar medförde att de nya patronerna endast innehöll hälften så mycket uran som tidigare, varför 56 av de 96 nya patronerna som nämnts anrikades. Driften av härd III förlöpte under tiden 1971 - 1974 utan bränsleskador. Eventuell nötning på kapslingen har ej studerats, eftersom ingen patron genomgätt efterbestrålningundersökning.

## **4. KEMI**

Vattnet i primärsystemet har alkaliserats till pH 9-10 genom dosering av deuterium och kväve varvid ammoniak bildats genom radiosyntes. Halterna av löst syre och klorider har legat under mätgränsen och någon allmänkorrosion har ej kunnat påvisas. Verkningsgraden hos blandbäddjonbytarna i parallellreningsystemet har med få undantag legat på 90 - 99%.

Analys- och provtagningssystemet har visat vissa brister avseende möjlighet till representativa prover och analysvärden främst beroende på långa och klena provtagningsledning. Halten av tungvatten i primärsystemet var vid driftstarten 99,8 % och vid nedläggningen 99,75 %. Halten av tritium i tungvattnet var vid starten under 1 mikroCi/ml och uppgick vid drifttidens slut till ca 2 100 mikroCi/ml. Rekombinering av deuterium i täckgasen har skett utan problem.

Vattenkemin i sekundärsystemet har varit tillfredställande och stabil. Kemisk restavgasning och alkalisering har skett genom hydrazindosering varvid ett pH-värde på 8,0 - 9,5 har upprätthållits. Salthalter och övriga föroreningar har kunnat hållas nere med hjälp av huvudvärmeväxlarnas bottenavdrag. Ett jämnt och fint magnetitskikt har kunnat bibehållas och samtliga i systemen ingående komponenter och rörledningar har vid återkommande inspektioner befunnits vara i utmärkt skick.

Kylsystemen omfattar i stort två öppna kylsystem med kyltorn, ett slutet kylsystem samt nödkylsystemet. I de öppna kylsystemen har kloridhalten reglerats med hjälp av bot-

tenavdrag. I återkylsystemet för fjärrvärmenätet har ingen dosering av kemikalier skett förutom under sommarhalvåret, då vissa problem med algväxtlighet i kyltornet avhjälpes med chockdosering av natriumhypoklorit. I det andra öppna kylsystemet doserades natriumnitrit och natriumbensoat, men detta ersattes av ekonomiska skäl av polyfosfat, vilket även visat bättre resultat. Även här har tidvis under sommarhalvåret stora problem med algväxtlighet uppstått. Försök har gjorts med klorid- och biociddosering, dock utan helt övertygande resultat.

Det slutna kylsystemet har doserats med hydrazin, vilket visat sig vara tillfredställande både för vattenkemin och ur korrosionsskyddssynpunkt.

Nödkylsystemet doserades med ett natriumsilikatbaserat medel, vilket visade sig otillräckligt som korrosionsinhibitor. Efter prov med en filmbildande amin, som var mindre bra, doserades polyfosfat med bra och en zinkbaserad korrosionsinhibitor med ännu bättre resultat..

Reaktorlockets tempereringssystem har doserats med hydrazin, till ett pH av 9-10.

Bränslebassängernas vatten har sedan bränslehaveriet 1968 hållit en total alfa- och betaaktivitet på  $2.5 \cdot 10^{-5}$  respektive  $1.5 \cdot 10^{-2}$  mikroCi/ml. Dränageledningen från läckindikeringsystemet till dränagetanken byttes 1972 efter korrosionsangrepp i form av gropfrätning initierad av kloridjoner från tätningar i ventilboxar och flänspackningar.

På ett flertal ställen på reaktorinneslutningens trycktäta skal har korrosionsskador upptäckts. Den allvarligaste skadan orsakades av gropfrätning beroende på vattenlinjekorrosion, s k luftningselement till följd av effektiv syretillförsel.

## **5. RADIOLOGISK SÄKERHET OCH HAVERIBEREDSKAP**

### **5.1 Strålskydd**

Strålskyddsarbetet vid Ågesta kraftvärmeverk har i stort sett fungerat väl, vilket framgår av tabell 3 över externa och interna stråldoser. De interna stråldoserna härrör uteslutande från tritiumexponering. Helkroppsmätning har utförts efter varje sommaruppehåll på ett fåtal representativa deltagare i revisionsarbeten där intern exponering varit möjlig. Av tabellen framgår att personalens integrerade årsdos i allmänhet legat under högsta tillåtliga dos för en person, d v s under 5 rem per år. Anmärkningsvärt är att stråldoserna såväl individuellt som kollektivt kunde hållas så låga vid uppröjningen efter bränslehaveriet 1968, då vid flera tillfällen aktiva detaljer måste hanteras utan strålskärmar. Hanteringen utfördes huvudsakligen med travers och ca 2 m långa verktyg. Övriga arbeten som givit stråldoser av betydelse har varit underhållsarbeten och inspektioner.

Tritiumexponeringen har varit måttlig utom 1972 då en person fick en dosintekning (dose commitment) av över 1 rem. Denne var strålskyddare vid pumparbeten i tungvattensystem samt omhändertog tungt vatten vid spill och läckage. Den låga

tritiumexponeringen kan delvis hänföras till det arbete som lagts ned på att spåra även små läckage av tungvatten.

Ingen avfallshantering har förekommit och de små mängder av låg- och medelaktivt avfall som uppkommit har transporterats till Studsvik för hantering. Indunstaranläggningen i reningsstationen har i intet fall behövts användas och är vid nedläggningen av stationen helt fri från kontamination. De obetydliga avfallsmängderna är en följd av att ingen hantering av jonbytmassor förekommit vid stationen utan har gjorts i Studsvik samt att ingen aktiv verkstad i egentlig mening funnits och inga större reparationsarbeten förekommit. Systemens höga täthet och den relativt låga effekten kan också ha bidragit till den låga avfallsmängden.

## 5.2 Utsläpp och omgivningskontroll

De gränsvärden för årliga utsläpp till sjön Magelungen, som fastställts i vattendomen för Ågesta är: Alfastrålande ämnen 0.1 Ci, kalium och strontium 0.03 Ci och övriga betastrålare 2 Ci. Tritium inräknas i övriga betastrålare efter division av aktivitetsvärdet med 500. Vattendomen föreskriver vidare utarbetande av ett kontrollprogram som årligen revideras av Naturvårdsverket och Strålskyddsinstitutet tillsammans.

Provtagningar enligt programmet har genomförts av AB Atomenergi i Studsvik. Resultaten visar att utsläppen till Magelungen som regel legat under 5% av gränsvärdena. Vad gäller gasformigt utsläpp har endast tritium kunnat påvisas. Även här har utsläppen legat under 5% av högsta tillåtliga årsutsläpp, vilket är 2000Ci.

År	Externt manrem	Maxdos rem	Internt manrem	Maxdos rem	Totalt manrem	Maxdos rem
1964	2.04	0.375	0.08	0.037	2.12	0.375
1965	1.77	0.330	0.09	0.032	1.86	0.330
1966	0.55	0.180	1.26	0.168	1.81	0.268
1967	5.24	0.885	2.82	0.210	8.06	1.095
1968	8.80	0.845	2.35	0.184	11.2	1.010
1969	1.23	0.490	0.73	0.125	1.96	0.507
1970	2.50	0.310	2.77	0.655	5.28	0.655
1971	1.93	0.270	1.87	0.149	3.80	0.345
1972	4.63	0.560	7.06	1.137	11.7	1.617
1973	0.90	0.300	1.50	0.299	2.40	0.399
1974	1.35	0.230	0.90	0.264	2.25	0.304
1975-77	2.80	0.550	-	-	2.80	0.550

Tabell 3. Stråldoser vid Ågestaverket 1964-1975.

## 5.3 Haveriberedskap

### 5.3.1 Allmänt

Vid AB Atomenergi fanns en beredskapsstyrka för extraordinära situationer vid anläggningarna i Stockholm inklusive Ågesta. När Vattenfall övertog ansvaret för Ågesta byggdes haveriberedskapsorganisationen till stor del på denna beredskapsstyrka och bestod på stationen av områdesledare (OL), anläggningsledare (AL) och strålskyddsledare (SL). Ett antal personer var instruerade att vid strållarm bemanna masthuset och regelbundet läsa av meteorologiinstrumenten. Övrig personal skulle uttas och instrueras vid behov. Detaljinstruktioner och "lathundar" fanns ej.

Den första övningen, som hölls 1969 och var utformad som en stabsövning med spelad kontakt med utomstående myndigheter, ledde till omfattande detaljförändringar av haveriberedskapsorganisationen. Då drogs slutsatsen att ett antal personer i driftorganisationen måste förberedas och utbildas för olika uppgifter i organisationen för haveriberedskap. Organisationen utökades också genom en sambandsledare (SBL), som förutom sambandsuppgifter hade att assistera OL. Detaljinstruktioner och lathundar utarbetades och sammanställdes i en speciell pärm ("den röda pärmen"). Resultatet av denna omorganisation samt inställelsetider m m studerades vid en övning 1971, vilken föregåtts av en intensiv utbildning av all personal, samt en året därpå utan föregående speciell utbildning. Den senare övningen visade på behovet av regelbunden utbildning och samträning varför ett antal mindre stabsövningar följde.

### 5.3.2 Erfarenheter och slutsatser

Erfarenheterna av haveriberedskapsövningarna i Ågesta kan sammanfattas i bl a följande:

- Alla vid stationen bör ha en allmän utbildning i reaktorsäkerhet, strålskydd och haveriberedskap. De som har bestämda uppgifter i haveriberedskapsorganisationen måste få specialutbildning och årlig övning.
- De lokala spelen under ledning av en handledare och med ett fåtal funktionärer, som agerat såväl egen personal som myndigheter och utomstående, har varit värdefulla.
- Rutinerna i kommandocentralen (KC) bör utformas så att de agerande inte dränkes i en flod av information till KC. En sambandsledare (SBL), som sammanställer informationen och även svarar för information av bl. a. stationens personal, har visat sig nödvändig. Dessutom behövs minneslistor, tabeller och diagram för personalen i KC. För rapportering till myndigheter måste finnas dispositioner över vad rapporten skall innehålla och för information till pressen färdiga pressunderlag.
- KC bör vara permanent inrättat, förslagsvis i stationens skyddsrum, och försett med sådan ventilation att skyddsmask aldrig behöver bäras. Arbetsbordet i KC bör vara väl tilltaget med en ordentlig arbetsplats för varje befattningshavare plus en eller två reservplatser. Fack för olika typer av blanketter samt förvaringsplats för minneslistor, diagram och handböcker bör även finnas vid samtliga arbetsplatser.
- Varje befattningshavare bör ha tillgång till en telefonpanel med flera såväl lokala linjer som rikslinjer samt anropsmöjlighet via högtalarsystemet. I KC bör finnas meteorologiinstrument och ett urval av stationens strålningsmätare.
- Erfarenheten av haveriberedskapen i Ågesta har överförts till Ringhalsverket och vidareutvecklats för Forsmarksverket. För att upprätthålla en god haveriberedskap krävs att personalen regelbundet intresseras och övas. Detta kan ske medelst

mindre gruppövningar minst en gång per år samt medelst samövningar med längre mellanrum. Vid större övningar är det lämpligt att övningen kan följas av flera genom intern-TV. Dock bör undvikas att övningarna inriktas mot PR-skådespel. Istället bör åskådarna indelas i grupper och tilldelas speciella uppgifter, som redovisas för övningsledningen.

#### 5.4 Safeguard

Ordet "Safeguard" användes i betydelsen av kontroll för att förhindra spridning av material och utrustning, som kan användas inom krigsindustrin till framställning av kärnvapen. Safeguard har vid Ågesta omfattat tungt vatten och nukleärt material. Rapportering har skett till delegationen för atomenergifrågor (DFA) och senare statens kärnkraftinspektion (SKI). Inspektörer från det internationella atomenergiorganet (IAEA) har besökt stationen kvartals eller halvårsvis. Efter en trevande start beroende på att rutiner saknades hos såväl *myndigheter* som vid stationen har arbetet under senare tid fungerat utmärkt.

Redovisningen av nukleärt material har skett varje månad (från 72-04-01) men utbränning och plutoniumproduktion har redovisats först när respektive patron transporterats från stationen. Då bränslet ännu icke upparbetats finns ingen erfarenhet över hur väl safeguardredovisningen överensstämmer med verklig mängd nukleärt material.

Innehavet av tungt vatten har redovisats varje kvartal. Förluster via ventilationssystemet har bestämts genom gelprov. Det systematiska felet i dessa bestämningar har aldrig undersökts. Den avtappade mängden tungt vatten uppgick till 74 035,5 kg. Vid samma tidpunkt innehöll primärsystemen enligt bokföringen 74 674,9 kg. I differensen 641,4 kg ingår förutom ackumulerande systematiska felmätningar även kvarvarande tungt vatten i jonbytare (bokfört till 276 kg) och rester av tungvattenånga i systemet. Slutlig balansräkning är ej utförd.



## 6. UTBILDNING

Driftorganisationen började bemannas 1961 och utökades successivt till ca 65 personer hösten 1962. Utbildningen skedde huvudsakligen i Sverige med undantag för driftchefen, som i Shippingport i USA grundfäste sin egen kärnkraftutbildning och förste driftingenjören som erhöll utbildning vid Haldenreaktorn i Norge. För övriga innefattade den första utbildningen deltagande i montagearbetet i Ågesta, en 14 dagars kurs i ”Kärnkraftteknik med speciell inriktning på driftfrågor” hos huvudleverantörer ASEA, samt för skift- och underhållsingenjörerna praktik vid R2 reaktorn i Studsvik. Förutom skifttjänstgöring fick de där följa och delta i programmet för R2 reaktorns idrifttagning. Utbildningen var varvad med praktiskt arbete t ex som kontrollant för beställarens räkning. Teoretisk utbildning gavs i systemkännedom, kärnkraftteknik, reaktor- och strålningsfysik.

I februari 1963 började skiftgången för driftpersonalen. Kontrollrumsarbetet innebar för skiftpersonalen en bra tillämpning och kompletterande utbildning, när nu stationen kommit in i ett dynamiskt skede, med både montage och idrifttagning samtidigt. Kunskaperna hos underhållspersonal och driftledning utvecklades också genom intimt samarbete med leverantörer och idrifttagningsgrupp för att lösa de problem som uppstod i startfasen.

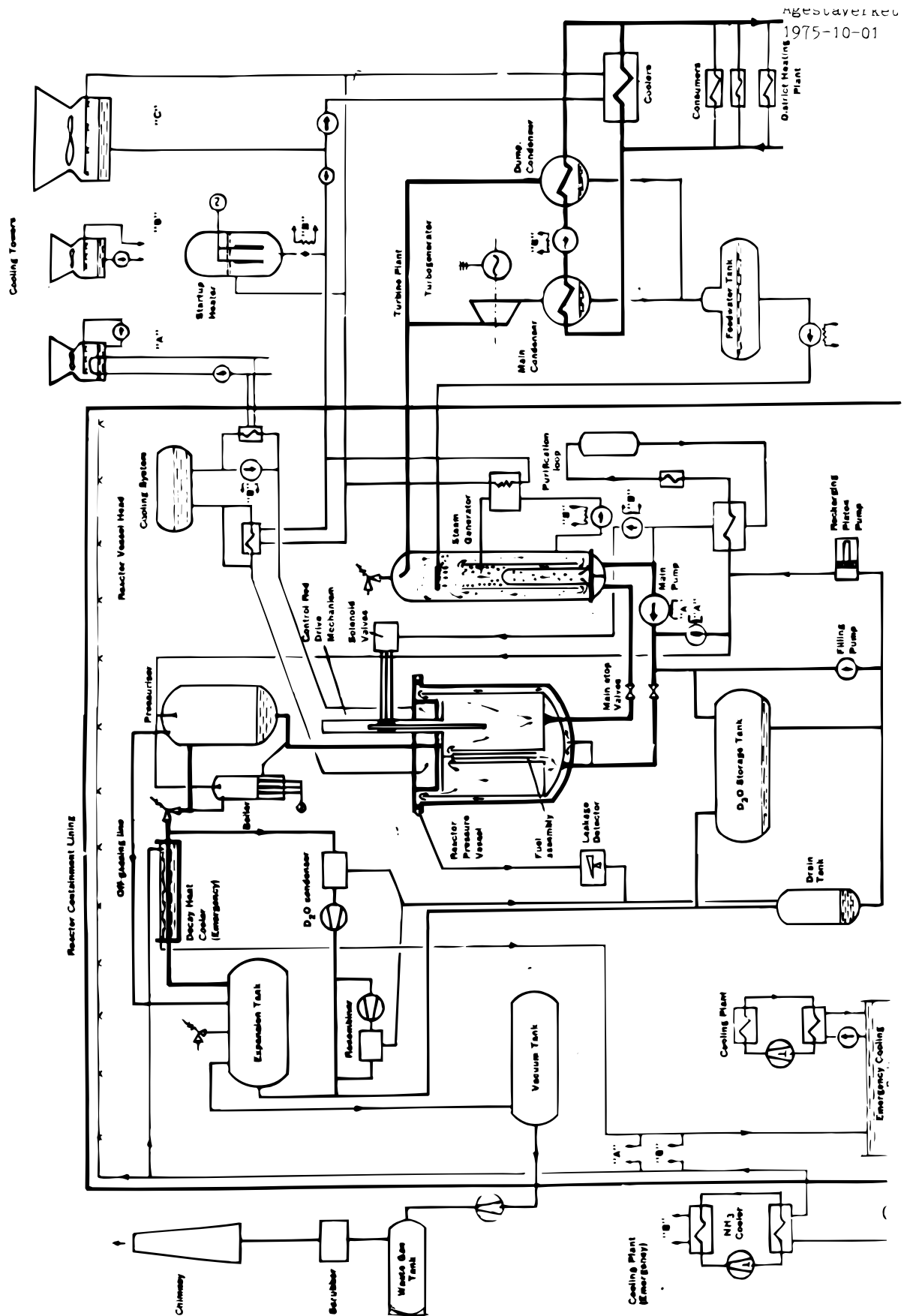
Sammantaget gav konstruktion, uppbyggnad och idrifttagning av Ågestareaktorn svensk kärnkraftindustri grundläggande erfarenhet för kommande uppgifter och innebar värdefull utbildning och erfarenhet för konstruktörs-, montage-, underhålls-, drifts- och driftledningspersonal. Under den följande 10-åriga driftperioden fick kärnkrafttekniker, reaktorfysiker och strålskyddspersonal en ovärderlig utbildning och Ågesta blev en utbildningsplattform för kärnkraftpersonal till kraftverken i Oskarshamn och Ringhals. Inom Ågestas driftorganisation som bestod av ca 70 man, var under årens lopp 170 personer anställda, många av dem för utbildning och träning inför verksamhet i de nya kärnkraftverken.

Majoriteten av de tekniker som fått sin första kärnkraftutbildning i Ågesta har fortsatt sin yrkeskarriär vid våra större kärnkraftverk i Sverige och några i Finland.

Avslutningsvis kan sägas att erfarenheten från Ågesta och byggandet av de nya stora kärnkraftverken gett underlag för stora satsningar på utbildning. Grundstommen från Ågesta avseende utbildning återfinns idag i de självinstruerande utbildningsprogram för blivande kärnkrafttekniker, som utarbetats av en särskild arbetsgrupp inom Vattenfall, OKG och Sydkraft. Totalt omfattar kurspaketet ca 110 lektioner. Denna studieform lämpar sig särskilt vid framtida nyanställningar, då samma intensiva utbildningsverksamhet inte kan bedrivas som under inledningsskedet.

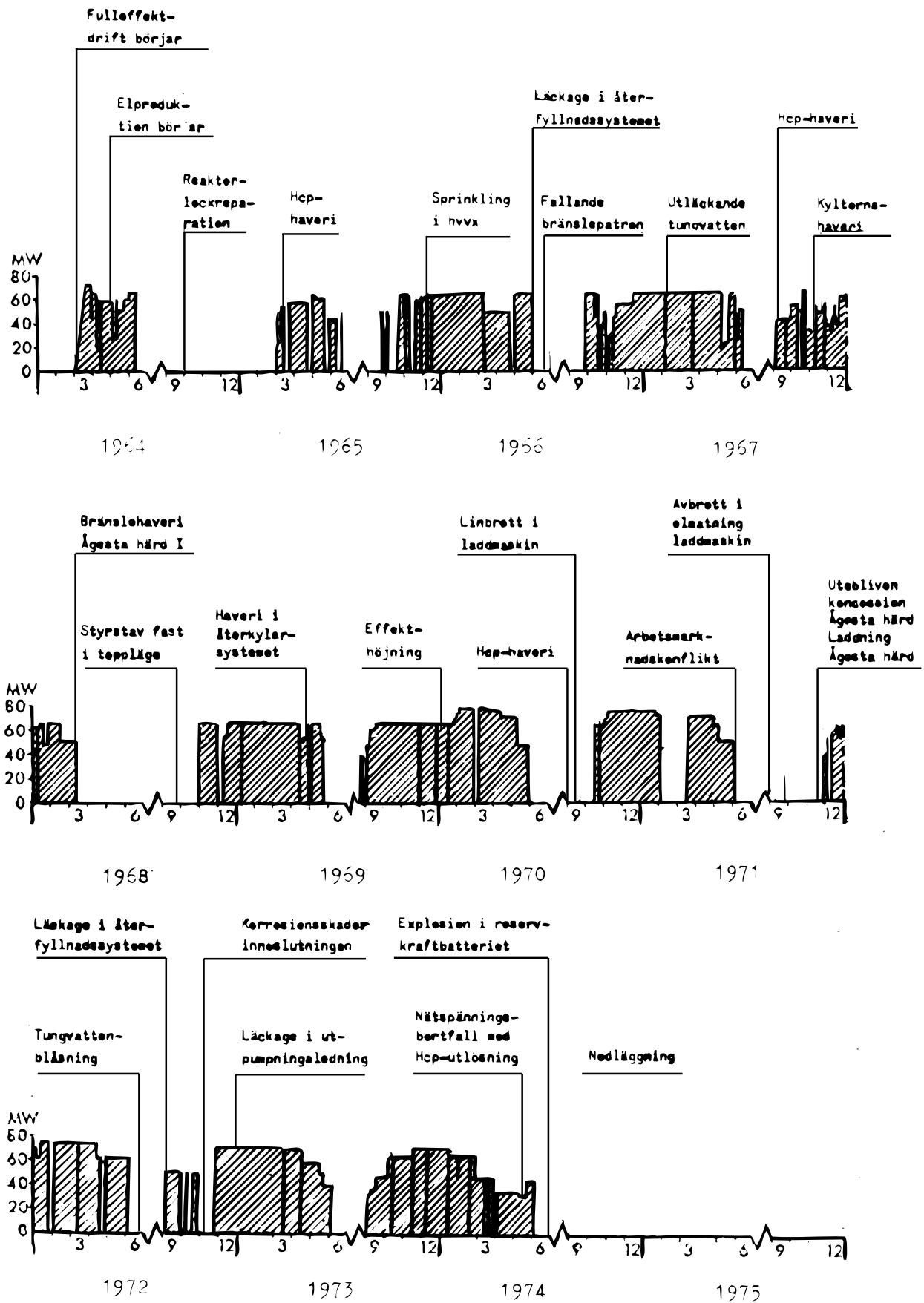
Förutom detta självinstruerande kursprogram kommer morgondagens driftpersonal att genomgå en ca 6 veckor lång simulatorkurs vid kärnkraftskolan i Studsvik. Simulatorn är uppbyggd till en exakt kopia av Barsebäck I:s kontrollrum och där kan personalen trimmas i 100 olika felsituationer, som är inprogrammerade på en dator. Under en sådan simulatorkurs inträffar fler onormala händelser i simulatorn än under 100 års drift av ett kärnkraftverk.

Figur 1. Flödesschema över anläggningen





Figur 2. Drifhistogram för Ågestaverket 1964-1975







[www.ski.se](http://www.ski.se)

**STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION**  
Swedish Nuclear Power Inspectorate

**POSTADRESS** 106 58 Stockholm  
**BESÖK** Klarabergsviadukten 90  
**TELEFON** 08-698 84 00  
**TELEFAX** 08-661 90 86  
**E-POST** [ski@ski.se](mailto:ski@ski.se)  
**WEBBPLATS** [www.ski.se](http://www.ski.se)