

*Luovutettiin kokouksessa*

# ATS

## Tiedotuslehti n:o 1/1972

---

---

Sisältö:

Ydinvoimalaitosten komponenteissa havaittuja toimintahäiriöitä

Esitelmä ATS:n kokouksessa 72-10-26  
P. Simola

Joitakin huomioita NUCLEX-72 -tilaisuudesta

Esitelmä ATS:n kokouksessa 72-10-26  
H. Raumolin

Arvoisa Suomen Atomiteknillisen Seuran jäsen

Suomen Atomiteknillisen Seuran kokouksissa pidettyihin esitelmiin on yleensä suhtauduttu varsin suurella mielenkiinnolla. Esitelmien antia ei kuitenkaan ole kyetty käyttämään täysin hyödyksi, koska niitä ei ole jaettu kirjallisena. Tämä puute on ollut erityisen merkittävä ydintekniikan piiriin tulevien uusien henkilöiden kanalta.

Seuran johtokunta on harkinnut tarkoituksenmukaiseksi ryhtyä julkaisemaan Seuran omaa tiedotuslehteä. Tiedotuslehti tulee sisältämään pääasiassa Seuran kokouksissa pidettyjä esitelmiä, mutta mahdollisesti myös muuta aineistoa. ATS-Tiedotuslehden jakelu rajoitetaan lähinnä vain jäsenkuntaan. Tämä siksi, että lehti voitaisiin laatia puhtaasti informatiiviseksi ja välttyä näin - Seuran resursseihin nähden - kohtuuttomalta toimitustyöltä.

Ydinvoimalaitoksen komponenteissa havaittuja toimintahäiriöitä

Seuraavassa tarkastelussa rajoitutaan pääasiassa kevytvesireaktori-  
laitoksilla esiintyneiden laitevikojen tarkasteluun.

Ydinvoimalaitoksen komponenttiviati eivät luonnollisestikaan eroa kon-  
ventionaalnin höyryvoimalaitoksen komponenteissa esiintyvistä vioista  
harvoja poikkeuksia lukuunottamatta. Esiintyvät viati ovat komponent-  
tikohtaisesti tyypillisiä, valitettavan yleisiä ja aina kertautuvia,  
kuten virheellisestä materiaalivalinnasta johtuvat materiaaliviati ja  
syöpymisilmiöistä aiheutuvat korroosioviati, suunnitteluvirheistä ai-  
heutuvat konstruktioviati, virheellisestä laitevalinnasta aiheutuvat  
toimintahäiriöt, kavitaatio- ja värähtelyilmiöt.

Ydinvoimalaitoksen komponenteissa esiintyvät viati ovat kuitenkin seu-  
rauksiltaan monasti huomattavasti komplisoidummat kuin saman tyyppiset  
konventionaaleilla laitoksilla esiintyvät viati. Tämä johtuu joko suo-  
rasti tai epäsuorasti kahdesta tekijästä: Ydinvoimalaitokseen sidotus-  
ta suuresta pääomasta ja laitoksen käytön yhteydessä esiintyvistä ra-  
dioaktiivisuudesta.

Tarkasteltaessa komponenttivikojen taloudellista merkitystä voidaan  
todeta, että esimerkiksi 500 MW:n laitoksen käyttökeskeytys toimitta-  
matta jääneen energian johdosta aiheuttaa käyttäjälleen menetyksen  
noin 20 000 mk/h vastaten n. 400- 500 000 mk/vrk. jonka lisäksi on las-  
kettava vielä varavoiman kehityksestä tai hankinnasta aiheutuvat huo-  
mattavat lisäkustannukset.

Tätä taustaa vasten katsottuna yksityisissä komponenteissa esiintyvien  
vikojen aiheuttamat taloudelliset menetykset ovat useasti huomattavan  
suuret verrattuna kyseisen vian aiheuttaneen laitteen tai laiteosan  
hintaan: Mainittakoon esimerkiksi venttiilit, joiden hinnat voivat  
olla 5000-50 000 mk/kpl kalleimpien erikoisventtiilienkin ollessa  
n. 200 000 mk/kpl.

Komponenttivioilla on katsottava ydinvoimalaitoksen tapauksessa olevan suoranainen vaikutus myös laitoksen pääomakustannuksiin senkin lisäksi, mitä jo konventionaalilla laitoksella muodostuu pääomakustannuksia käyttövarmuuden parantamiseksi hankittavista reservilaitteista. Sillä reaktorin hätäjähdytysjärjestelmien, reaktorin suojarakennuksen, erikoisilmastointilaitosten ym. erikoislaitteistojen aiheuttamat kustannukset ovat osittain laskettava esiintyviksi oletettujen komponenttivikojen tilille riippumatta siitä luetaanko esimerkiksi putkirikot tässä yhteydessä tarkoitetuiksi komponenttivioiksi.

Ilman tarkkaa analyysiä näin syntyvien pääomakustannusten suuruutta on vaikea erottaa muista pääomakustannuksista, mutta joka tapauksessa niiden voidaan katsoa olevan miljoonia markkoja, arvostusperusteista riippuen jopa kymmeniä miljoonia markkoja.

Suoraan radioaktiivisuudesta aiheutuvista komponenttivikojen yhteydessä esiintyvistä vaikeuksista voidaan mainita aktiivisten eli saastuneiden laitteiden hankalat huolto- ja korjausmenetelmät. Usein jo pienimpienkin vikojen korjauksista vaikeuttaa luoksepäästävyys normaalikäynnin aikana, jolloin eräissä laitossosissa sallittu työaika saattaa rajoittua jopa muutamaan kymmeneen minuuttiin tai enintään muutamaan tuntiin viikossa miestä kohden.

Vaikeammissa korjauksissa näistä rajoituksista aiheutuukin jo huomattavia taloudellisia seurauksia sillä esimerkiksi käyttökeskeytyksiä edellyttävät korjaustyöt aktiivisten komponenttien kohdalla vaativat huomattavasti pidemmän työajan kuin vastaava korjaus ei-aktiivisen komponentin kohdalla. Kokemusperäisenä arvona mainitaan, että voimakkaammin aktiivisten laitteiden korjaus vaatii n. 10 kertaa pidemmän ajan ei-aktiiviseen verrattuna. Lisäksi tarvitaan laitteiden dekontaminointilaitteet korjattavien komponenttien puhdistamiseksi, ja nämäkin laitteet lisäävät kustannuksia jotka lyhentänevät tarvittavaa korjausaikaa.

Summittaisen kuvan komponenttivikojen jakautumisesta aktiivisten ja ei-aktiivisten piirien osalle antaa oheinen erään vakuutusyhtiön vuonna 1969 tekemä tutkimus, joka hyvin vastanee sitä käsitystä, että ydinvoimalaitoksessa viat jakautuvat lähes tasan akt. ja ei-akt. piirien osalle. (Kuva 1).

Kuvassa 2 on esitetty kyseisen tutkimuksen kohteena olleiden vikojen esiintymisien jakautuminen asennuksen ja koekäytön osalle. Voidaan todeta, että asennuksen aikana esiintyvät viat ovat n. 35 % koko määrästä, mutta aiheuttavat vain 18 %:n osan korjauskustannuksista. Käyttöönottokokeiden ja tehonnoston yhteydessä esiintyy sitä vastoin eniten korjauskustannuksia aiheuttavia vikoja. Etupäässä viat ovat kohdistuneet pumppuihin, moottoreihin ja venttiileihin ja perussyinä ovat usein olleet värähtelyt, vieraat esineet, mitoitusvirheet jne.

Kuten aiemmin mainitsin esiintyvät viat sinänsä ovat sangen tavanomaisia, mutta ydinvoimalaitoksella seuraukset voivat olla erittäin moninaiset. Seuraavassa pyrin tarkastelemaan eräiden tyypillisimpien voimalaitoskomponenttien vikoja ja niiden seurauksia juuri ydinvoimalaitosolosuhteissa..

### Pumput

Tyypillisimpiä ydinvoimalaitoksen komponentteja ovat pumput ja erityisesti primääripiirin kiertovesipumput.

Useilla laitoksilla aktiivisuudesta aiheutuvat probleemat pumpun kohdalla on ratkaistu käyttämällä koteloituja akselitiivisteettömiä pumppuja (Kuva 3).

Laitoskokojen kasvaessa on tämä konstruktio osoittautunut hankalaksi lähinnä moottorin jäähdytysprobleemojen takia ja siitä syystä, että reaktorin jälkijäähdytyksen turvaamiseksi pumppujen pysähtyessä sähkökatkoksen takia pumpulla pitäisi olla mahdollisimman iso huimamomentti turvaamaan hitaan pysähtymisen.

Näistä syistä on jatkuvasti yleistynyt akselitiivisteellä ja erillisellä huimamassalla varustetun pumpun käyttö (Kuva 4). Akselitiiviste on kuitenkin tuonut omat probleemansa mukanaan. Päävaikeutena ovat materiaalikysymykset ja tiivisteveden epäpuhtaudet. Yleisin käytetty periaate on vesifilmien varassa toisiaan vasten pyörivät tiivisterenkaat, jolloin pienetkin tiivistepintojen väliin injektoidun veden epäpuhtaudet aiheuttavat ko. pinnoissa vaurioita. Injektiovesi joudutaan tätä varten puhdistamaan 5  $\mu$ :n filttereillä. Kuitenkin on mahdollista, että tiivisteveden syötön keskeytyessä pumpun pesästä pääsee puhdistamatonta vettä tiivisteisiin.

Toisena paljon huolta antavana vaikeutena mainittakoon primääripumpun yhteydessä esiintyvät värähtelyt jotka voivat olla sekä mekaanisia pumppuyksikön eri osissa esiintyviä että hydraulisia (Kuva 5). Hydraulisten värähtelyiden taajuudet ovat tavallisesti joko pumpun pyörimisnopeuden, tai pyörimisnopeuden ja siipien lukumäärän tulon kerrannaisia kuten kuvan esimerkkitaapauksessa. Itse pumpulle aiheutuvien vaikeuksien lisäksi näillä värähtelyillä on ollut erittäin haitalliset seuraukset värähtelyn vaikutuksen levitessä reaktorin sisäosiin, jossa esim. pienihalkaisijaiset incore-mittausputket ovat vaurioituneet resonanssi-ilmiöiden johdosta. Vahvemille rakenteille ei näin suuritaajuisilla värähtelyillä liene vaikutusta. Mainittakoon, että alle 50 Hz:n värähtelyt lienevät peräisin primääripiirin hydraulisista pyörteistä ja näistä on ollut erittäin vakavia seurauksia reaktorin sisärakenteille, mutta jopa 600 Hz:n värähtelyiden on todettu vaurioittaneen incore-mittauslaitteita.

Muista pääpumpuissa esiintyneistä vioista voidaan mainita muun muassa:

- Connecticut Yankee: suuren huimamassan vaatima käynnistysmomentti ja virrat ovat rasittaneet ja vaurioittaneet moottorin käämejä.
  - Palisade. pumpun johtosiivekkeiden murtuminen joka vaati konstruktiomuutoksen ja vahvemman materiaalin.
  - Robinson: akselin vääntyminen kahdessa pumpussa injektioveden syötön pysähtyttyä, jolloin akselit kuumenivat primääriveden vaikutuksesta. Seurauksena oli akselien vaihto.
  - San Onofre: akselitiivisteiden tiivisterenkaiden kuumeneminen ja vääntyminen injektioveden liian vähäisen jäähdytyskyvyn takia. Tämä probleema aiheutti 6 viikon myöhästymisen koekäytössä.
- Edelleen San Onofren yhden pumpun huimapyörässä todettiin metallin laminoitumista pinnan suuntaisesti ja hitsaussaumoissa halkeamia, joiden johdosta huimapyörä jouduttiin vaihtamaan.
- Shippingportista mainitaan kuumaseisokin jälkeisessä pumppujen käynnistyksessä tapahtuneesta akselin ja juoksupyörän vääntymästä joka oli seurausta kuumaseisokin aikana huonon jäähdytyksen aiheuttamista lämpöjännityksistä.
- Myös muissa ydinvoimalaitoksen pumpuissa esiintyvät vaikeudet liittyvät usein akselitiivisteisiin, mutta edellä mainittujen muiden vaikeuksien lisäksi lienee syytä mainita sellaiset kuin
- prosessimitoituksesta johtuvat kävitaatiovaikeudet

- materiaalivalinnoista johtuvat ja erityisesti boorihappo-pitoisen veden yhteydessä esiintyvät syöpymisilmiöt
- ja esimerkkinä erillistapauksista: Connecticut Yankee-laitoksen primääripiirin 13-asteisten lisävesipumppujen akselit ja juoksupyörän siivet jouduttiin uusimaan akseleissa esiintyneiden murtumien ja siivissä esiintyneiden vaurioiden takia ja vain erittäin tarkalla balanssoinnilla ja tarkoilla sovituksilla korjattukin pumput saatiin toimimaan.

### Venttiilit

Ydinvoimalaitoksen venttiilien probleemat liittyvät myös suurelta osin veden radioaktiivisuuteen. Venttiilien akselitiivisteiden konstruktio vaihtelevat tässä suhteessa valmistajasta ja venttiilityypistä riippuen.

Kuvan 6 venttiilin akselitiiviste muodostuu kahdesta boxi-tiivisteestä, joiden väliin järjestetään tyhjöimu tai kuten kuvan tapauksessa injektiovesi-syöttö puhtaalla vedellä. Booriliuksella säädetyissä painevesireaktoreissa esiintyy lisäksi boorin kiteytymisen johdosta boxitiivisteiden koveneminen, joka aiheuttaa nykyisten kokemusten mukaan tiivisteiden kiristystarpeen puolivuositain ja vaihtotarpeen 2-3 vuoden välein.

Kuvan 7 paljettiivistekonstruktioilla päästään absoluuttiseen tiiveyteen ja eliminoidaan vuotojen keruujärjestelmän tarve. Booripitoisen veden ollessa kyseessä on kuitenkin osoittautunut, että myös tällä ideaalisen tuntuisella konstruktioilla on varjopuolensa. Sillä esim. säätöventtiileissä venttiilin jatkuva liike pumppaa booripitoista vettä palkeen sisälle ja palkeen lämpötilan ollessa alhainen boori kiteytyy palkeeseen estäen lopuksi palkeen normaalin liikkeen ja aiheuttaen murtumia palkeessa.

Kuvan 8 palloventtiileiden konstruktiossa paljettiiviste ei ole helpposti ratkaistavissa, jolloin on pakko turvautua vuotojenkeruukanavilla varustettuihin kaksoistiivisteisiin. Palloventtiilin karan pyörivä liike on kuitenkin erittäin edullinen, koska se ei aiheuta karan pituussuuntaista naarmuuntumista tiivisteissä, vaikka ne boorin kiteytymisen takia voinevatkin jossain määrin kovettua, joskaan ei siinä määrin kuin istukkaventtiilissä jossa akselin liike aiheuttaa booripitoisen veden pumppautumista tiivisteeseen.

Boorihappopitoisen veden käyttöön liittyy myös venttiilien materiaalien syöpymisvaikeudet joista esimerkkinä mainittakoon Connecticut Yankee:n laitokselle primääripiiriin asennetut ruostumatonta terästä olevat 2":n venttiilit, joiden sisäosat kuitenkin jostain syystä olivat hiiliterästä. Monen venttiilin sisäosat olivat jo koekäytön aikana syöpyneet lähes olemattomiin, ja lisäksi korjaustöitä vaikeutti se, että venttiilit olivat hitsatut putkistoon ja eräiden venttiilien vaihto edellytti jopa reaktorisäiliön tyhjentämistä vedestä.

Valitettavan usein on myös konventionaaleissa paineenalennus- ja säätöventtiileissä esiintynyt voimakasta värähtelyä ja erittäin voimakasta melua. Värähtely on eräissä tapauksissa (Connecticut Yankee ja Beznau: turp. säätöventt.) ollut niin voimakasta, että läheiset instrumentti- ja vesitysputket ovat vaurioituneet, sen lisäksi että venttiilin sisäosissa, kuten karassa ja istukassa on todettu vaurioita.

Värähtelyn ja melun eliminoiminen oikealla venttiilin sisäosien konstruktiolla on tunnetusti vaikea ongelma ja esim. erään 15 000 mk:n hintaisen paineenalennusventtiilin hinta nousee 60 000 mk, kun sen konstruktiota muutetaan siten, että melutaso laskee 30 dB.

Edellä mainittujen vaikeuksien lisäksi on (esim. Beznaun laitoksella) ollut vuotoja valettujen venttiiliperien materiaalin huokoisuuden takia, liian suuria vuotoja venttiilin istukan tai läppäventtiileillä tiivistepinnan kautta, murtumia takaiskuventtiileissä, toimilaitteiden alimitoitusta jne. Myös kavitaatioperäisistä venttiilien sisäosien syöpymisistä olisi lueteltavissa useita esimerkkejä.

#### Lämmönvaihtimet:

Ydinvoimalaitoksella lämmönvaihtimet ovat toiminnallisesti ja lukumääräisesti merkittävä osa laitoksen laitteistoa. Tärkeimpiin näistä on luettava PWR:n höyrygeneraattori joka myöskin tässä yhteydessä tulee mainita niissä esiintyneiden lukuisten ja erittäin komplisoitujen vaikeuksien takia. Usein nämä ovat olleet erilaisten korroosioilmiöiden aiheuttamia, joista jännityskorroosio on useimmin mainittu syy, kuten esim. Beznau 1:n höyrygeneraattoreissa, joissa useaan kertaan on jouduttu suorittamaan vuotojen korjausta. Ensimmäisen kerran 1970 vuoden lopussa, toisen kerran 1971 polttoainevaihdon yhteydessä, kolmannen kerran elokuussa 1971 ja n. 5 kuukautta kestänyt korjaus v. 1972 alussa.



Lähemmäs 100 putkea, joita on n. 2500 kpl/höyrygeneraattori, on tästä syystä jouduttu eristämään tulppaamalla.

Robinson 2-laitoksen höyrygeneraattoreissa todettiin esiintyneitä vähäisiä vuotoja tutkittaessa oheisen kuvan 9 mukaisen putkilevyn murtuma päätykammion väliseinän kohdalla, josta oli seurauksena vuotoja kummallakin puolella väliseinää olevissa ensimmäisissä putkiriiveissä, Sama vika todettiin myöhemmin Indian Point 2:n 4:ssä höyrygeneraattorissa, Turkey Pt:n höyrygeneraattoreissa ja Point Beachin yhdessä höyrygeneraattorissa. Korjauksessa irronnut kerros korvattiin hitsatulla pinnoitteella. Korjaustyön vaikeutta kuvaa se, että Robinson:n laitoksella tarvittiin 255 miestä, joitten saama kokonaissäteilyannos oli 346 Rem. Miehistä oli 58 hitsaajaa ja 47 erikoisviilaa- jaa, koko työn kestäessä 67 päivää. Muistettakoon että Beznaussa vastaava työ kesti n. 5 kuukautta, ja tietävästi vaati säteilyn takia erittäin huomattavan määrän henkilöitä työtä suorittamaan.

Muiden laitosten höyrygeneraattorivioista mainittakoon San Onofren ja Shippingport, joissa putkien pinnalla on todettu eri asteisia hius- halkeamia tai vakavampia useita kymmeniä putkia koskevia syöpymien yhteydessä esiintyviä halkeamia. Eräänä oleellisena syynä näiden ja muidenkin lämmönvaihdinputkien vikojen kohdalla mainitaan väärin hoidettu vesikemia, kuten esim. liika emäksisyys Shippingportissa, tai klooripitoisuus, jota on arveltu syyksi Beznaussa.

Muissa lämmönvaihtimissa on ydinvoimalaitoksilla esiintynyt mitä moninaisimpia vuotoihin johtaneita vikoja, mutta esim. turpiinilauhdu- tajissa pääsyyinä on edelleenkin meriveden vaikutuksesta esiintyvä kor- roosio, mutta myös lohjenneet turpiinisiipien kappaleet ovat olleet eräässä tapauksessa syynä putkirikkoihin.

Eräänä hyvinkin yleisenä syynä lämmönvaihtajien putkivikoihin ovat äkilliset lämpötilanmuutokset, joiden suhteen ei putkistoa ole oikein tuettu tai alkuunkaan mitoitettu, jolloin putket vääntyilevät paikall- lisesta ylikuumenemisestä. Myös hydraulisesta värähtelystä peräisin olevat putkistovärähtelyt ovat usein olleet syynä putkirikkoihin.

## Turpiinit

Komponenttivikojen kannalta turpiini lienee erittäin monitahoinen tarkastelun kohde. Tämän esityksen puitteissa oli kuitenkin tarkoitukseni käsitellä pääasiassa prosessiteknillisiä komponentteja ja jättää pääkoneistot mieluummin jonkun asiantuntijan tarkasteltavaksi jonain myöhempänä ajankohtana.

Voinen kuitenkin lyhyesti luetella tyypillisimpiä vikoja

- Resonansseista johtuvat siivistövärähtelyt ja seurauksina olevat murtumat (esim. San Onofre-, Palisade- ja Robinson 2-laitoksilla)
- Turpiiniakselin ja kuoren epätasainen lämpeneminen ja seurauksena siipivauriot ja akselitiivistevauriot mekaanisesta kosketuksesta johtuen.
- Laakerivärähtelyt jotka ovat seurausta epäonnistuneesta tasapainoituksesta
- Höyryvuodot erilaisissa turpiinikuoren tiivisteissä ja akselitiivisteissä, joista voi olla seurauksena nopea eroosio
- Tehon poisputoamisen yhteydessä esiintyvä ryntäysvaara, sen johdosta, että kosteuden erottajiin kertynyt vesi höyrystyy paineen las-kiessa syöttäen turpiiniin höyryä. Tällaisen tapauksen yhteydessä esim. Connecticut Yankee-laitoksen turpiini ryntäsi 132 %:n kierros-luvulle ja seurauksena oli kaikkiaan 8 siiven murtuminen matalapai-neturpiineissa.
- Kosteaa höyryä tunnetusti aiheuttaa myös ydinvoimalaitosten turpiineis-sa erittäin suuria vaikeuksia lähinnä eräiden turpiinien sisäosien eroosion muodossa ja siipien eroosion muodossa. Näitä vaikeuksia on pyritty ratkaisemaan käyttämällä syöpymistä kestäviä materiaaleja, kuten kuvassa 10 BBC:n turpiinin korkeapaineosan suojarahkat jotka ovat ruostumatonta terästä tai matalapainesiipien pinnoitus stelliitillä joka suoritetaan joko hitsaamalla stelliittikerros, tai stelliittilevyt siipien reunoihin (Kuva 11)

Matalapainesiivissä käytetään myös erityistä sähkökarkaisumenetelmää siiven pinnan karkaisemiseksi. Myös siipivyöhykkeiden välistä suoritettu kosteudenpoisto on välttämätön toimenpide kostean höyryn turpiineilla (Kuva 12). Kosteuden poistoa suoritetaan myös käyttämällä onttoja reijitettyjä staattorisiipiä (Kuva 13). Siiven sisällä vallitsevan matalamman paineen avulla voidaan siiven pinnalla virtaava vesikerros imeä pois ennenkuin se irtoaa pisaroiksi ja törmää seuraavaan siipeen.

Kuten alussa totesin jo vähäpätöisen tuntuksillakin komponenttivioilla saattaa olla hyvinkin vakava vaikutus laitoksen käytettävyyteen, jolloin laitoksen käyttäjälle aiheutuu huomattavia taloudellisia menetyksiä. Lähdettäessä analysoimaan käytettävissä olevia keinoja komponenttivilkkojen eliminoimiseksi on ilmeistä, että komponenttien valmistusta kontrolloiva laadunvalvonta eli "quality control" ja laitossuunnittelun yhteydessä käytettävä laadunvarmistus eli "quality assurance" ovat tehokkaimmat joskin sovellutusvaiheessaan kalliilta tuntuvat menetelmät. Kuitenkin esim. erittäin pitkällekin viety laadunvalvonta on osoittautunut välttämättömäksi ja taloudellisestikin kannattavaksi erityisesti ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kannalta kriittisten komponenttien kohdalla.

Ja viime aikoina on alettu ymmärtää myös toimittajien taholta, ettei laadunvalvonta ole pelkästään hankalan tilaajan keksimä ylimääräinen riesa, vaan eräät toimittajat käyttävät sitä jopa myyntivalttina esitellen ostajalle ensin miten hyvin tuotteen laadunvalvonta on hoidettu ja sitten vasta mitä itse tuote pitää sisällään.

Laadunvalvonta erään kuluneehkon määritelmän mukaan on laadun rakentamista tuotteeseen sen eri valmistusvaiheissa jotta ei tarvitse tuotteen valmistuttua ihmetellä miksi siitä tuli susi.

Tafel 1  
Verteilung von Schäden bei Kernkraftwerken.

Kernkraftwerke Typ	Stückzahl	Betriebs- jahre	bekannte Sach- schäden	Druckbc- hälter, Ein- bauten	Reaktor kühl- kreis- läufe	konventionellen Bereich	
						Turbine	Sonstiges
BWR	8	25	35	10	12	8	5
PWR	9	33	41	9	22	6	4
GCR	13	67	69	25	22	18	4
Summe	30	125	145	44	56	45	
%			100	30,4	38,6	31,0	

KUVA 1

J. Feldmann, Mechanische Schäden von Kernkraftwerken

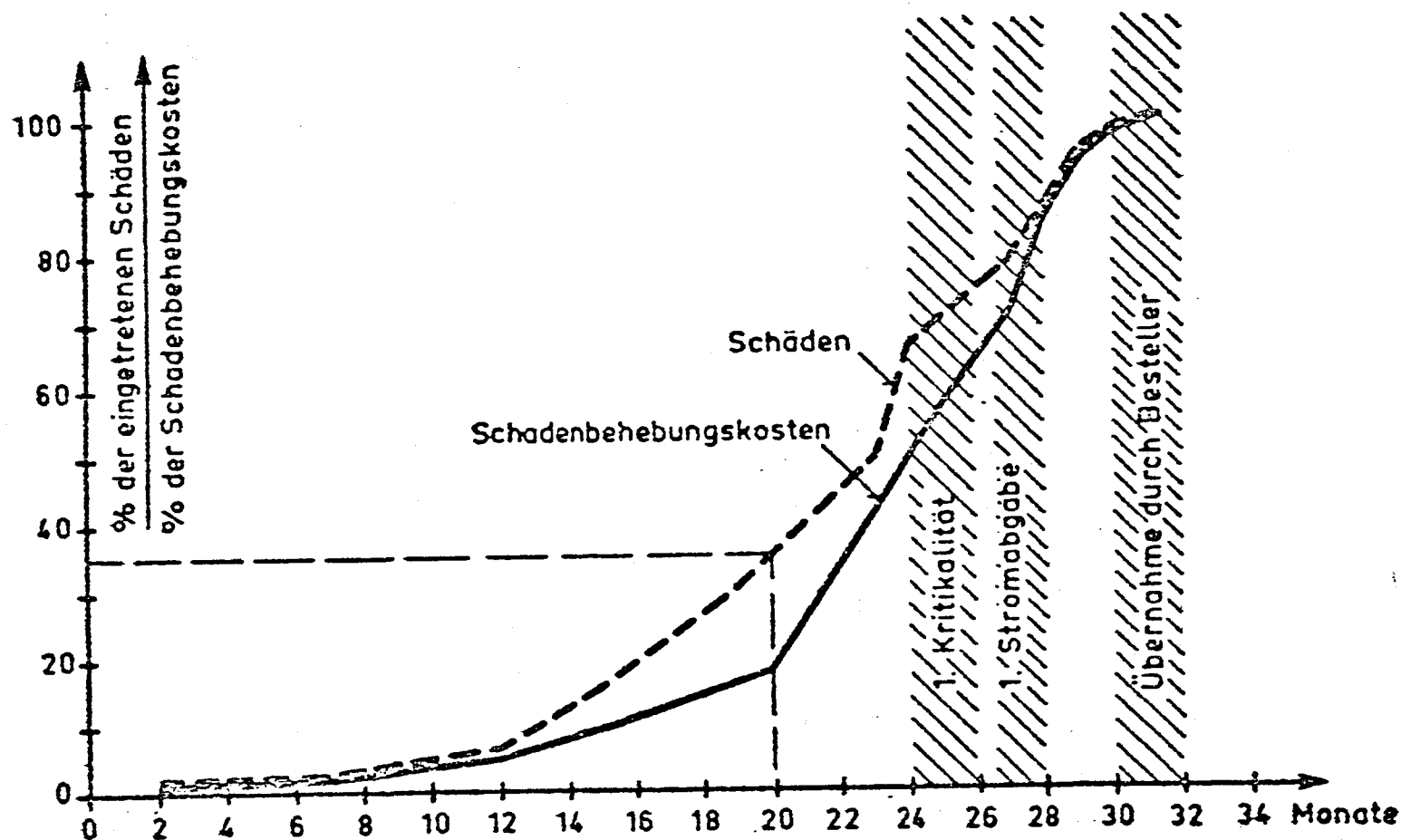
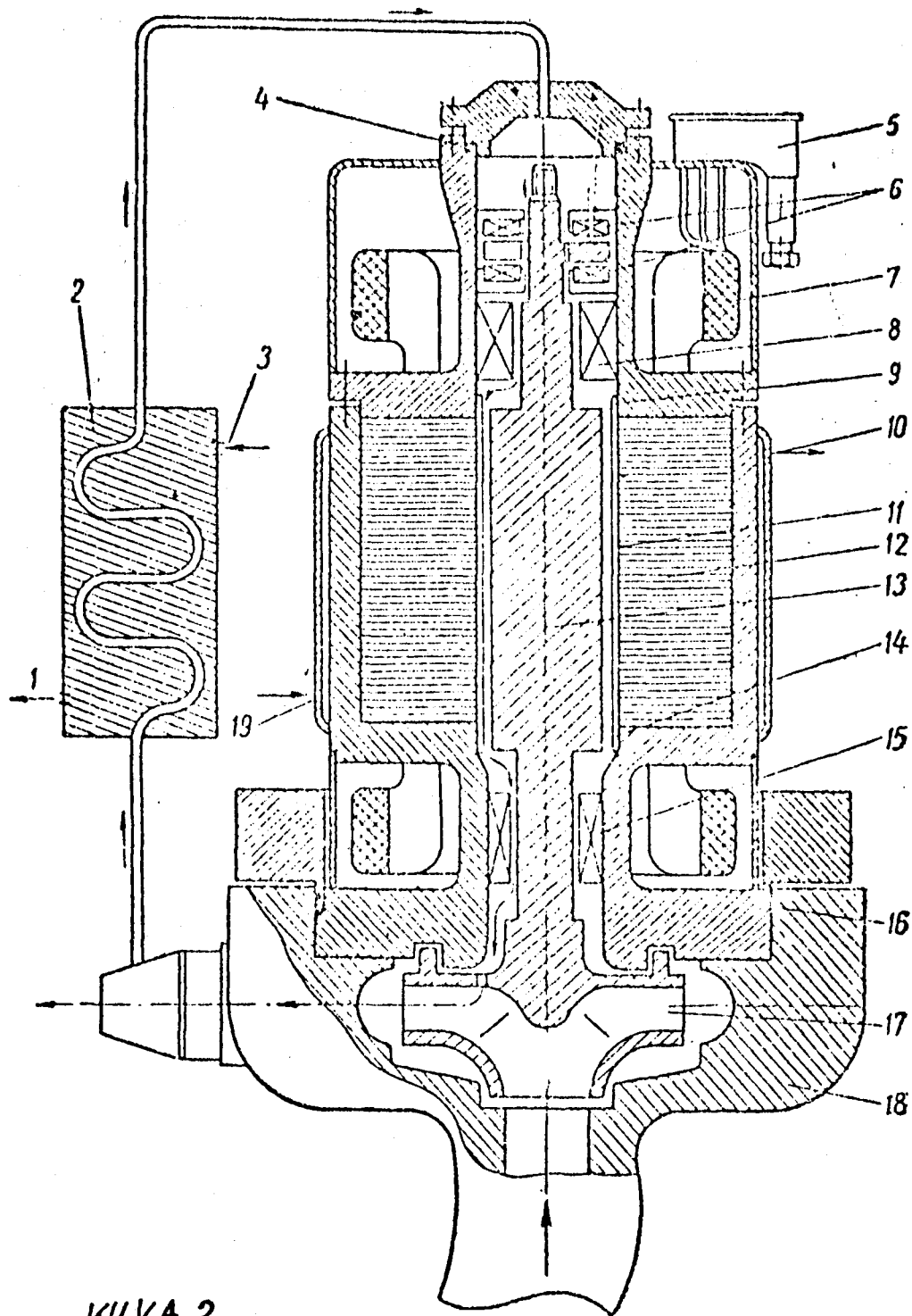


Bild 2. Montageschäden über DM 5000,-.

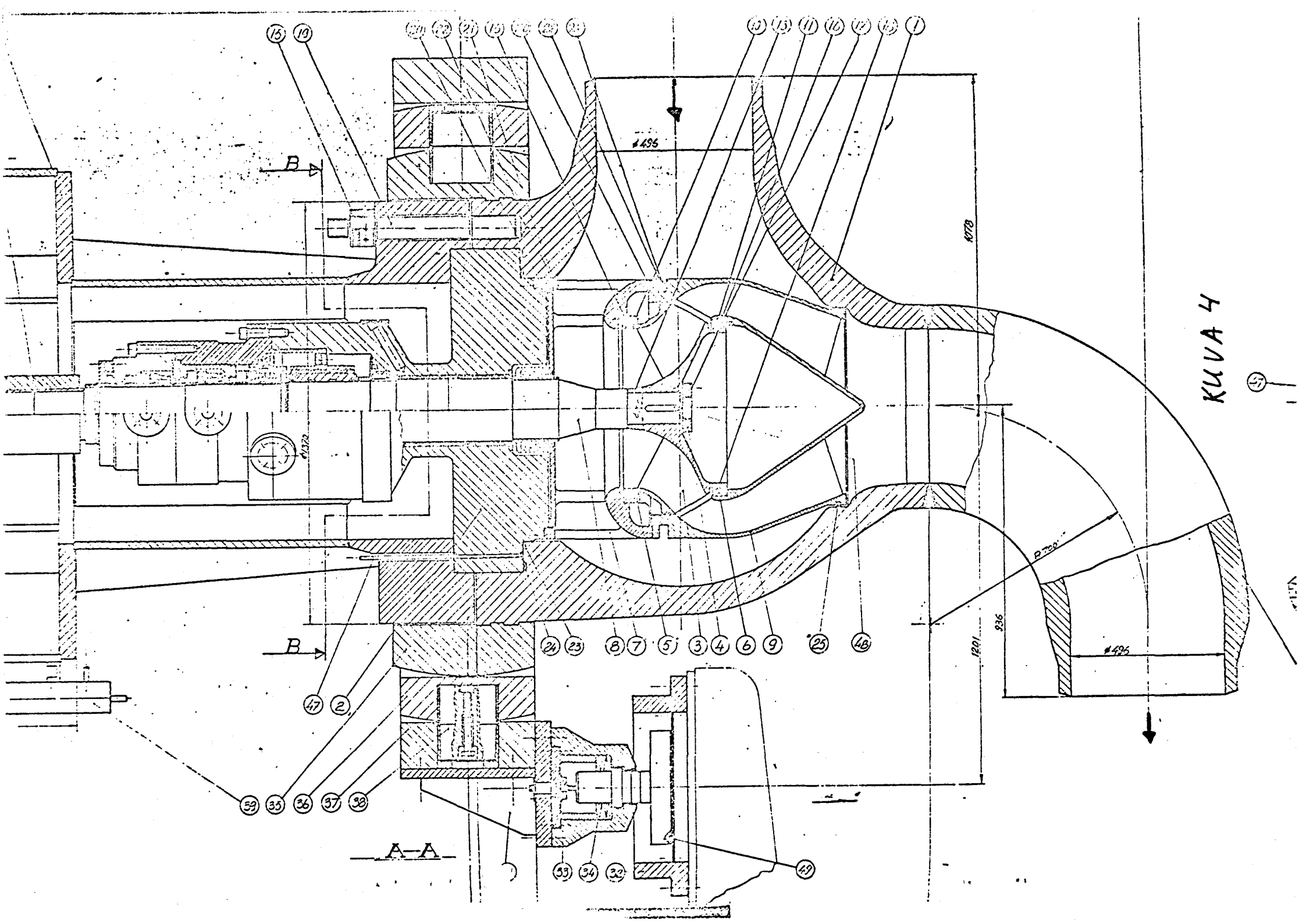
KUVA 2



**КИУА 3**

Рис. 4.16. Беспротечечный насос высокого давления:

1, 10 — штуцер отвода охлаждающей воды; 2 — холодильник; 3, 19 — штуцер подвода охлаждающей воды; 4 — разъем; 5 — клеммная коробка; 6 — упорный подшипник; 7 — обмотка статора; 8, 15 — радиальные подшипники; 9, 14 — приварка перегородки; 11 — тонкостенная перегородка («рубашка»); 12 — статор; 13 — вал-ротор; 16 — уплотнение; 17 — рабочее колесо; 18 — корпус.



KUVA 4

B

B

A-A

$\varnothing 495$

$R278$

$R201$

$R336$

$\varnothing 495$

$\varnothing 700$

15 19

31 32 21 19 25 22 23

17 13 11 10 12 14 1

24 23 8 7 5 3 4 6 9 25 48

39 35 36 37 38

33 34 32 49

57

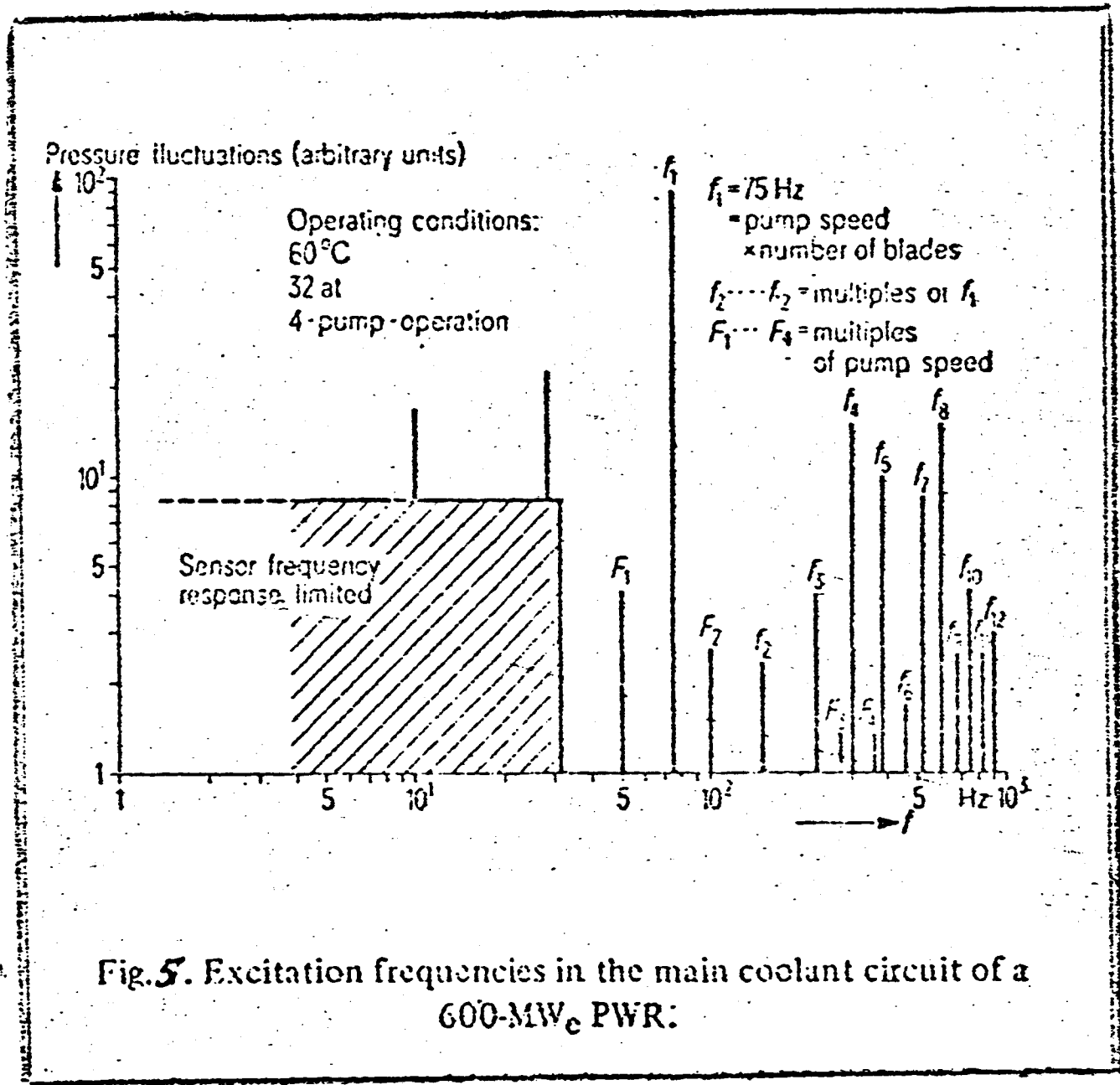
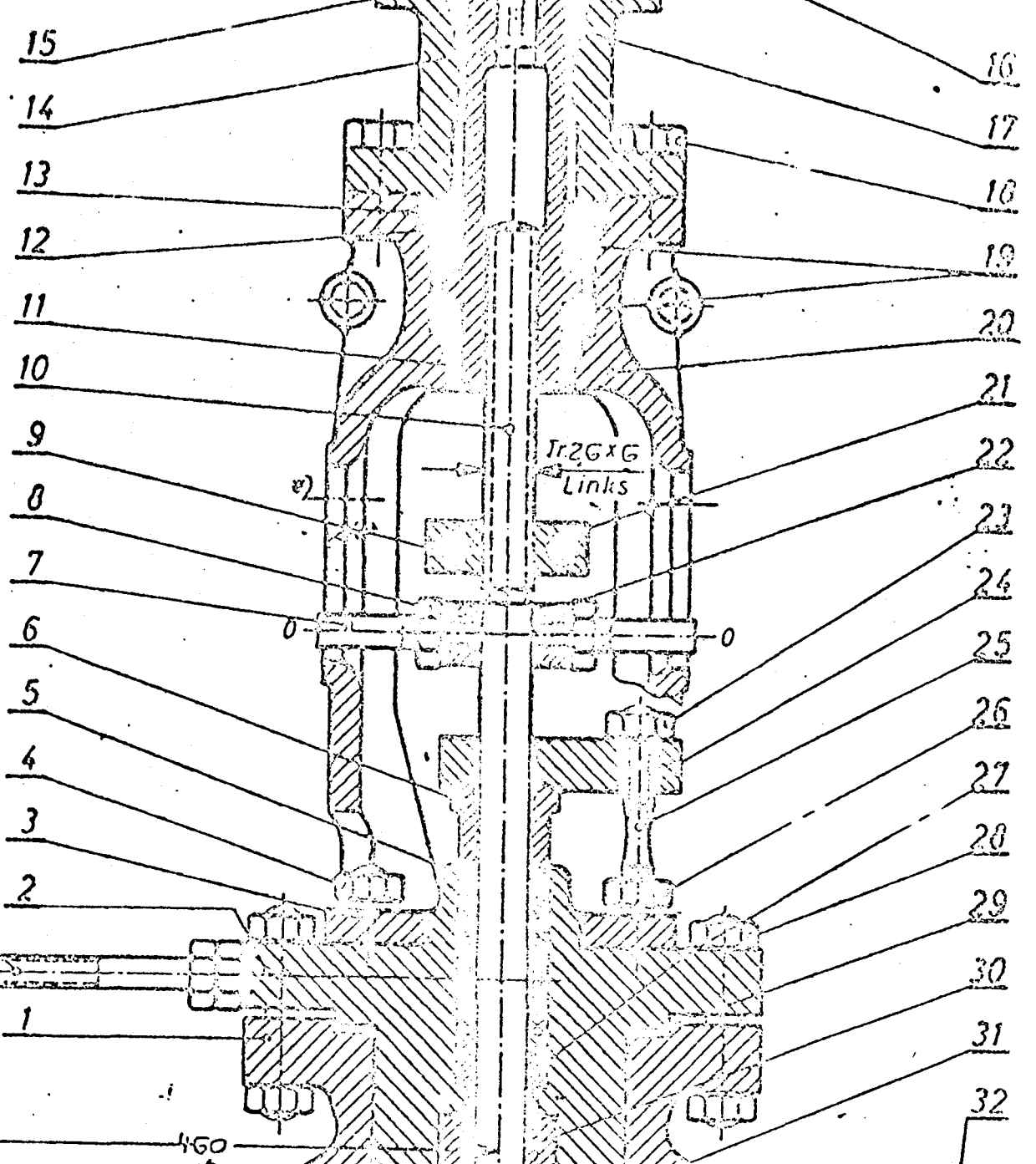
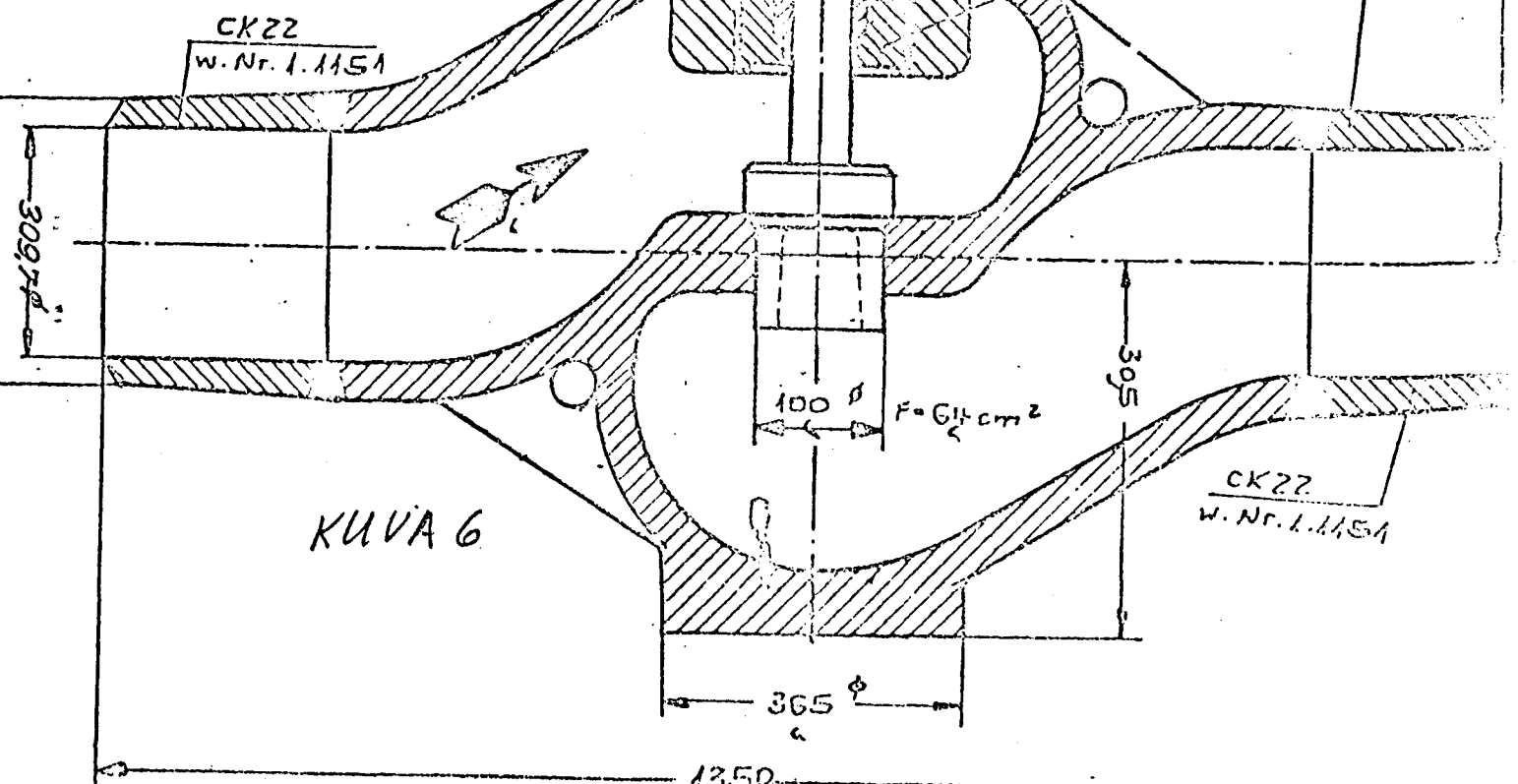


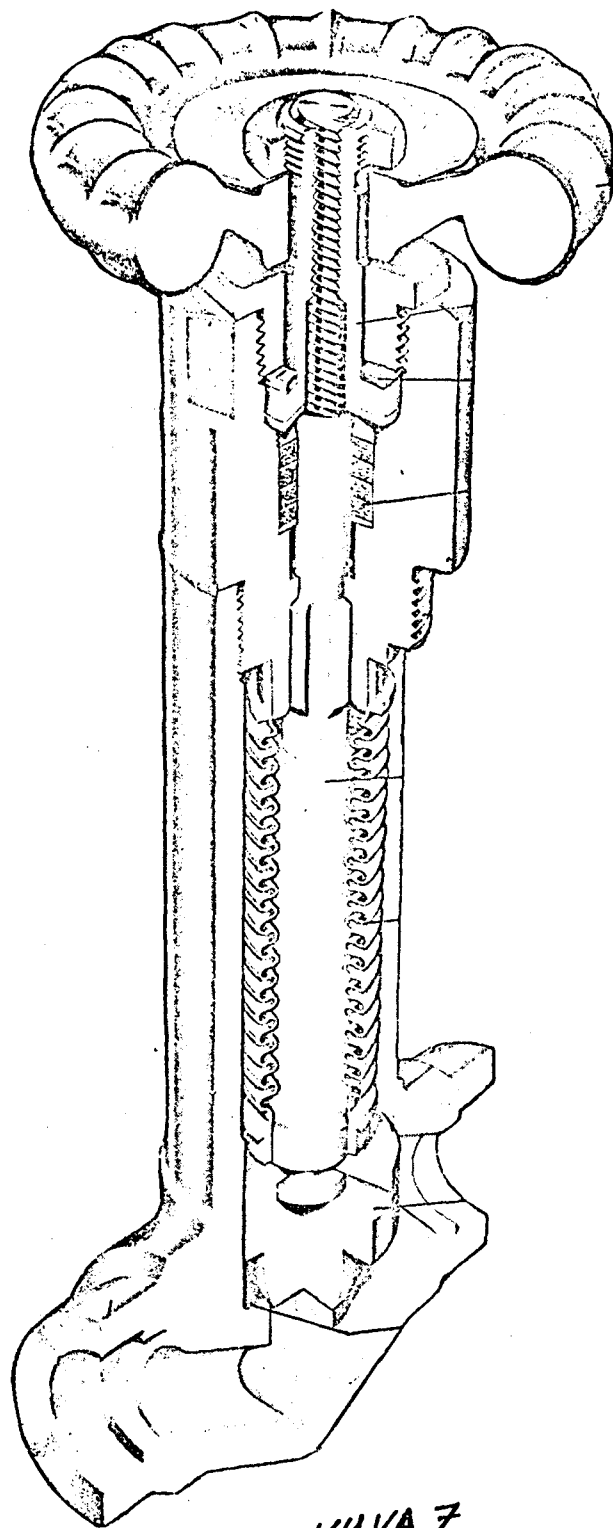
Fig. 5. Excitation frequencies in the main coolant circuit of a 600-MW<sub>e</sub> PWR:



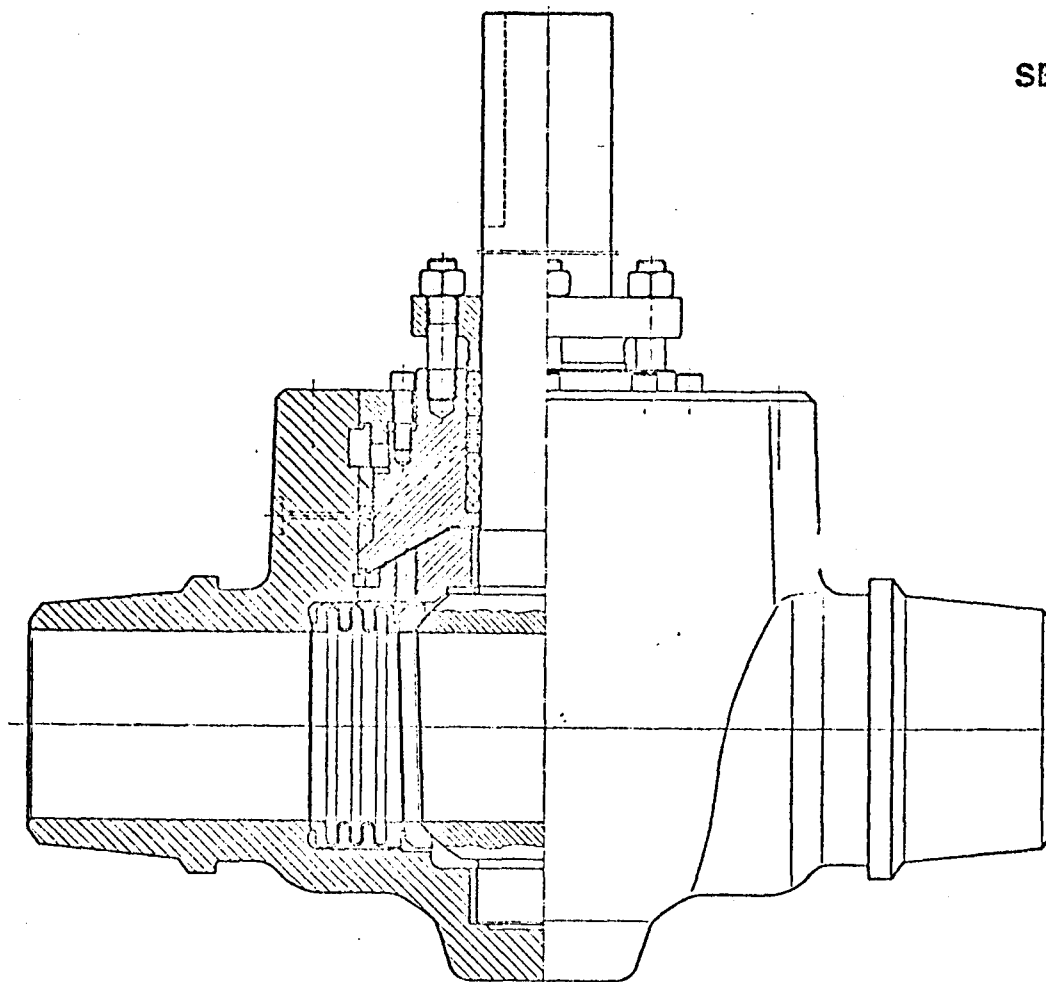
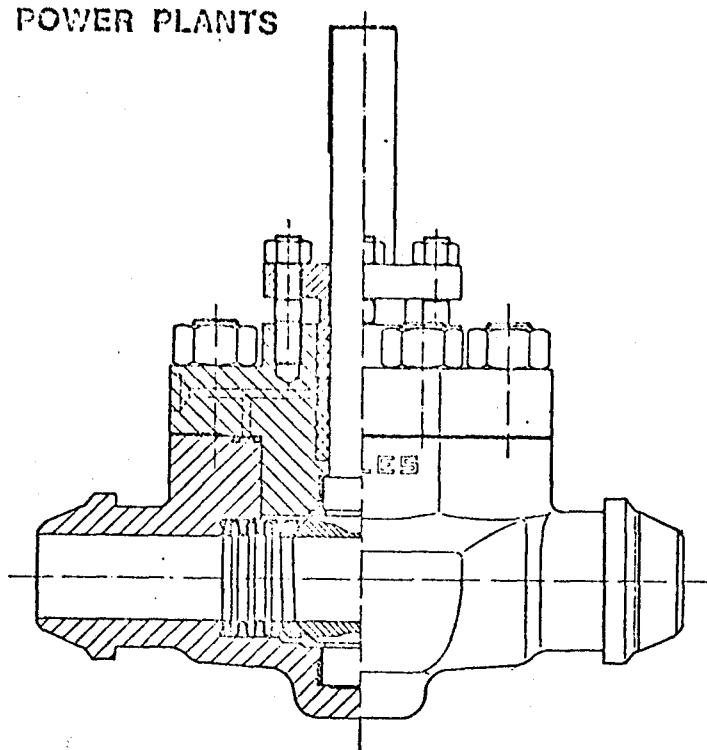


Sperrwasserkammer  
 1 ERMETO - Rohrverschraubung  
 1 Dichtringring  
 1 Ring für Sperrwasserkammer.





KUVA 7



KUVA 8

Please ask for further details.

In your inquiry, the following information should be given:

- flowing media
- max. and min. flow in control operation
- differential pressure in control operation
- max. shut-off pressure
- nominal pressure
- working temperatures
- weld joint dimensions

Copyright © Nuclear Power Corporation

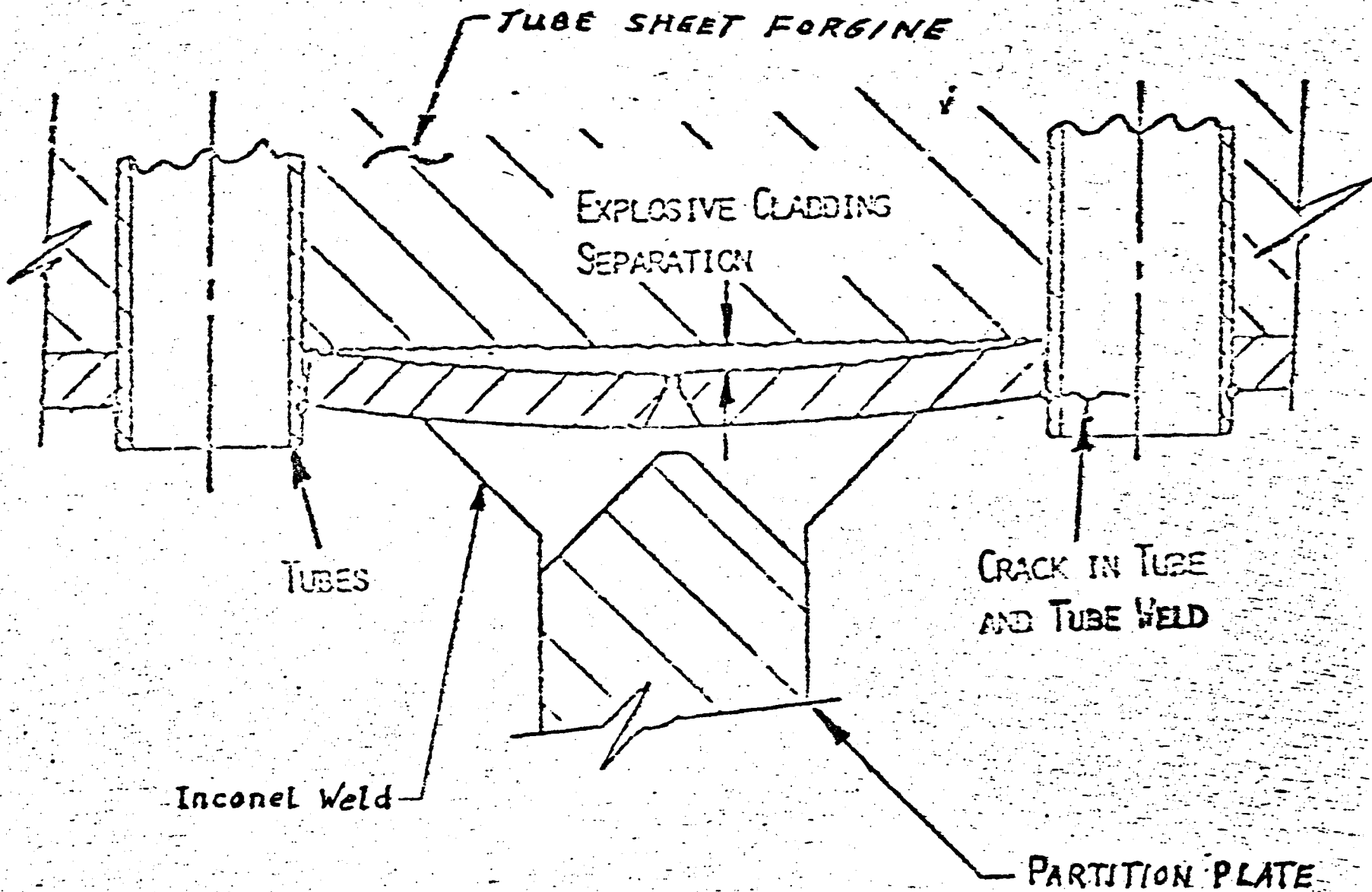
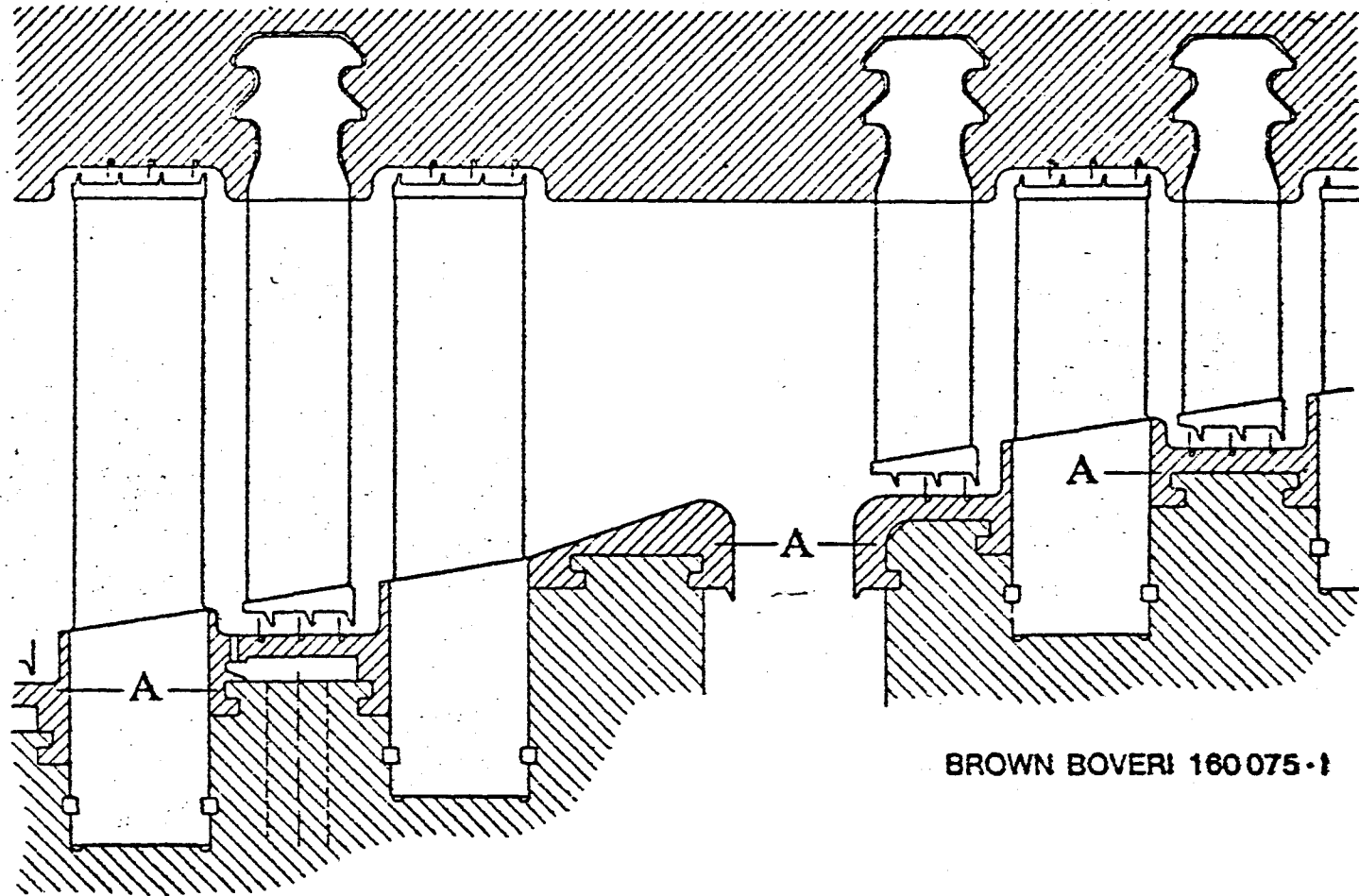


Bild 25 – Schutz der Hochdruck-Gehäusewand mit Ringen aus rostfreiem Stahl (A)



BROWN BOVERI 160075-1

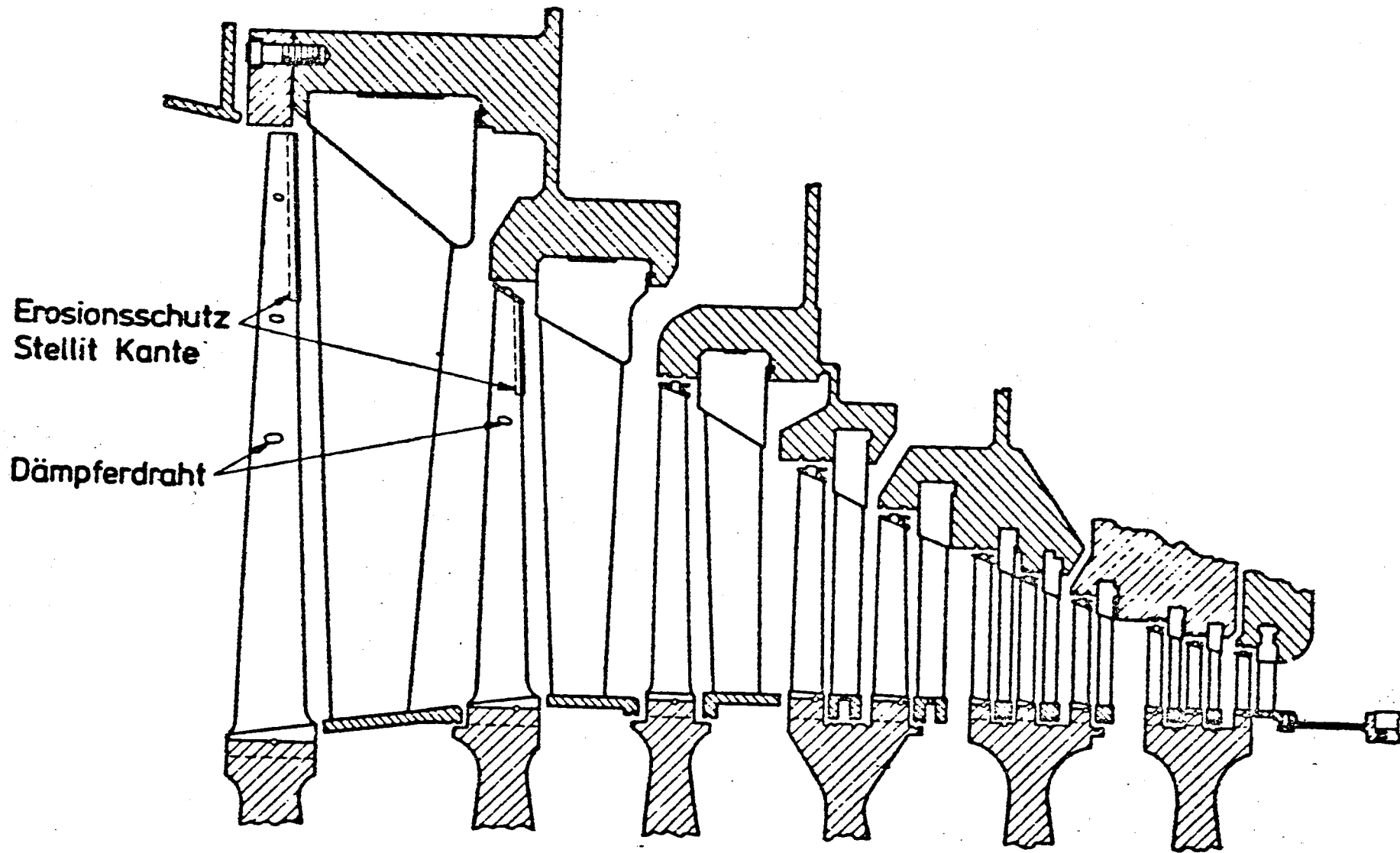
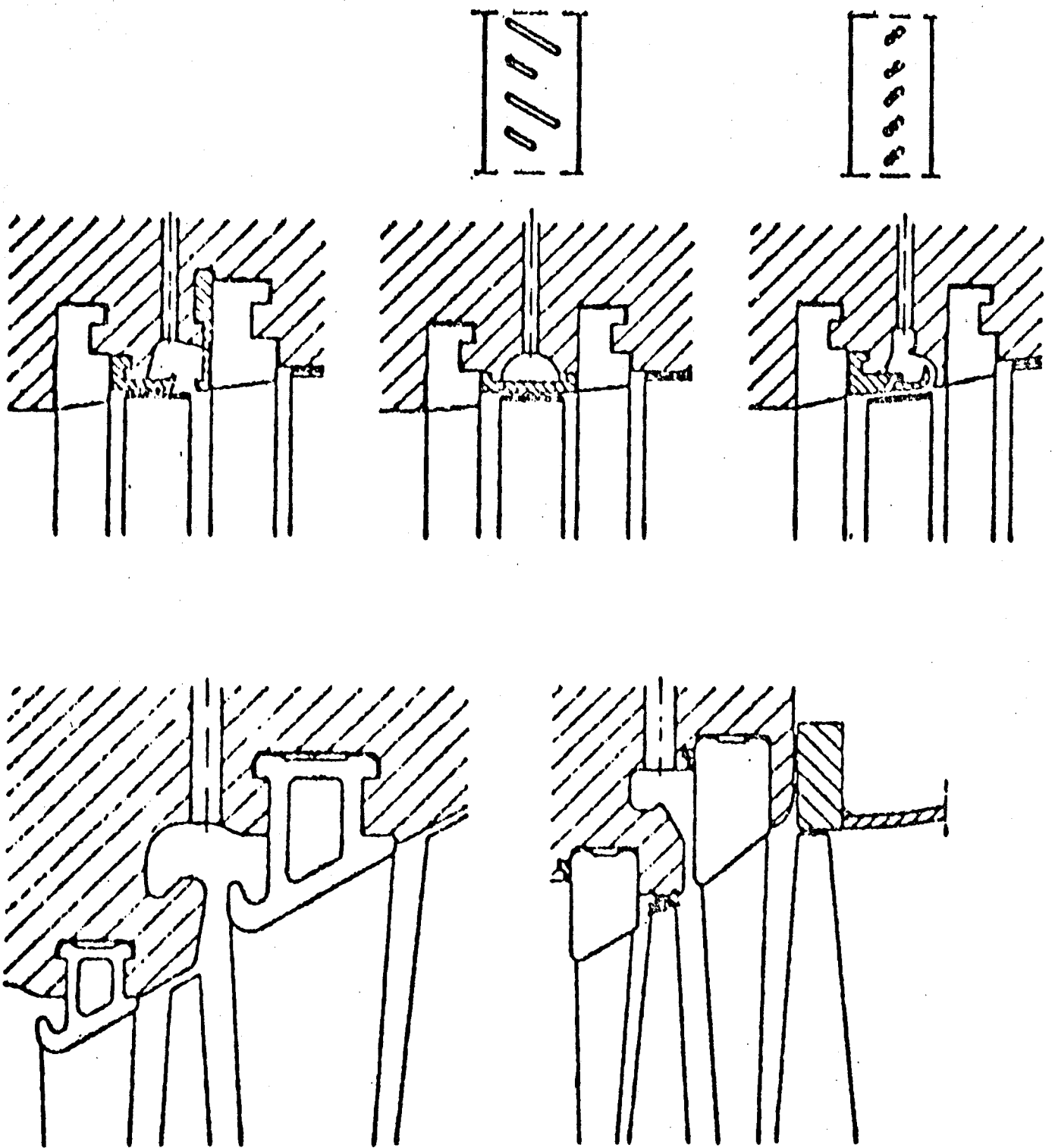


Bild 9. 450 MW-Dampfturbosatz des San Onofre-Kernkraftwerkes.

Bild 15: Ausführung von Stufenentwässerungen



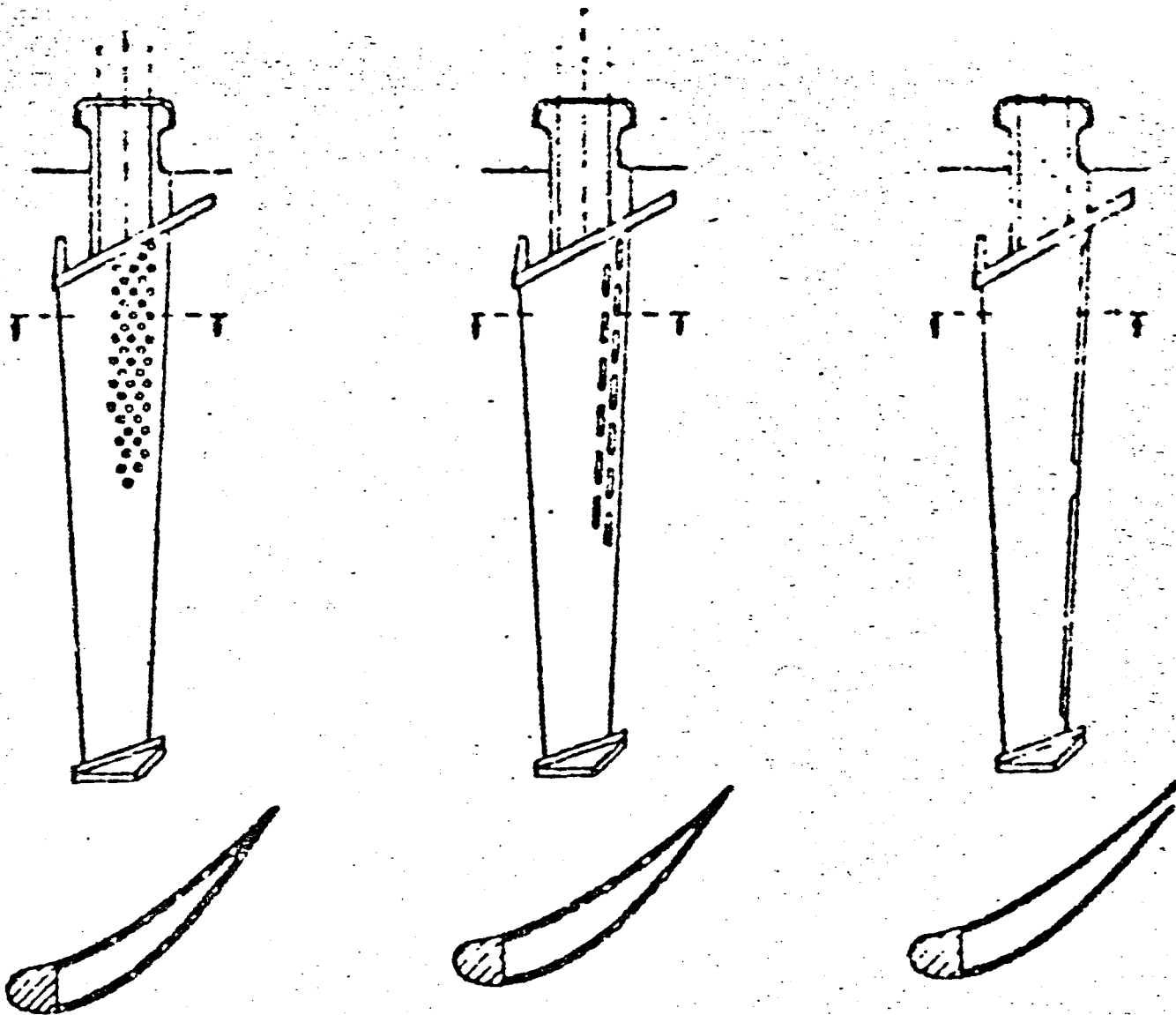


Bild 18: Ausführung von hohlen Leitschaufeln zur Schlierenabsaugung



## JOITAKIN HUOMIOITA NUCLEX-72-TILAISUUDESTA

### 1. Taustaa

Ydinenergia-alan teollisuuden kansainväliset messut ovat saaneet nimen Nuclex ja ne järjestetään joka kolmas vuosi. Baselissa lokakuun 16.-21.10.1972 pidetyt Nuclex-72 messut olivat kolmannet järjestykseltään.

Nuclex-72:een kuului avajaiset, varsinainen näyttely ja viitenä päivänä pidetyt istunnot, joissa esitettiin joukko teknisiä esitelmiä ja tiedonantoja. Istuntoja oli aina kaksi rinnakkain, siis yhteensä kymmenen. Lisäksi ohjelmaan kuului filmsesityksiä ja lukuisia näyttellepanijoiden tilaisuuksia.

Näyttelyn nettopinta-ala oli yhteensä 11 278 m<sup>2</sup>, kun se v. 1969 oli ollut 10 570 m<sup>2</sup>. Tällä kertaa näyttellepanijoita oli 22 maasta yhteensä 332 (vuonna 1969 316). Lukumääräisesti eniten näyttellepanijoita oli Länsi-Saksasta 75, Ranskasta 57, USA:sta 49 ja Sveitsistä 45. Huomattavimmat poisjääneet olivat Japani ja Neuvostoliitto.

Teknillisiin istuntoihin oli ilmoittautunut etukäteen n. 1300 osanottajaa. Lopullista lukumäärää ja osanottajaluetteloa eivät järjestäjät antaneet näyttelyn aikana.

### 2. Avajaiset

Messut avasi ja vieraat toivotti tervetulleiksi Sveitsin valtion puolesta Dr H.P. Tschudi. Avajaispuheissa käsiteltiin yleistä energiatarvetta ja sen kehittymistä sekä ydinenergian roolia, ydinvoimalaitoksia tai niiden osia rakentavan teollisuuden kehitysnäkymiä, ydinenergian hyväksikäytön taloudellisia kysymyksiä sekä ympäristönsuojelua. Kuten arvata saattaa, todet-

tiin yleisesti, että ydinenergia on tulevaisuuden energiamuoto, joka nyt on osoittanut käyttökelpoisuutensa. Eteenpäinmenon varmistamiseksi on kuitenkin täytettävä tiettyjä edellytyksiä, joista lähemmin seuraavassa.

Dr Tschudi totesi Sveitsissä otetun käyttöön tiukan linjan vesien käytössä ja suojelussa. Myöhemmät tapahtumat muissa maissa ovat hänen mielestään osoittaneet tiukan linjan oikeutuksen.

Sir John Hill kuvaillessaan englantilaisen teollisuuden kehitystä painotti yritysten yhteistyön tärkeyttä. Hänen näkemyksensä mukaan ydintekniikka on niin vaativa ala, että ilman voimakasta yhteistyötä yritykset eivät pysty kehittymään tarvittavasti.

Dr James H. Wright, Westinghouse'n ympäristöosaston johtaja, totesi, että ympäristökysymykset ovat ensi sijassa sosiaalisia eivätkä teknisiä. Sosiaalisten arvojen yhä voimakkaamman huomioonoton hän näki välttämättömänä ydinvoimalaitosten ympäristökysymysten käsittelyssä.

### 3. Teknilliset istunnot

Teknilliset istunnot käsittelivät

- painevesireaktoreita (1.)
- kiehutusvesireaktoreita (2.)
- kaasujähdytteisiä reaktoreita (3.)
- raskasvesireaktoreita (4.)
- ydinolttoaineita (5.)
- höyry- ja kaasuturpiineita (6.)
- nopeita hyötöreaktoreita (7.)
- aktiivisten isotooppien ja hiukkaskiihdyttimien käyttöä prosessien säädössä (8.)
- ympäristönsuojelun huomioonottamista ydinvoimalaitosten suunnittelussa ja rakentamisessa (9.)
- ydinvoimalaitosten instrumentointia ja säätöä (10.)

### 3.1. Painevesireaktorit

Esitykset olivat suhteellisen hajanaisia. Seuraavassa joitakin havaintoja:

- Westinghouse esitteli referenssilaitoksen yleissuunnitelman. Se oli laadittu yhden ja kahden reaktorin laitoksia varten siten, että kahden reaktorin laitos saadaan kahdesta yhden reaktorin laitoksesta tietyllä symmetriakierrolla. Tämä johtaa siihen, että turpiinihallit joutuvat kauas toisistaan, laitoksen äärimmäisiin kulmiin. Referenssilaitoksen suojarakennusratkaisu oli tyypiltään esijännitetty betoni/liner-konstruktio.
- Saksalaisille laitoksille tyypillisiä piirteitä olivat pallosuojakuori ja 2 4:stä periaatteella toimivat hätäjähdytysjärjestelmät.
- Suomalaisia kiinnostavia aiheita olivat Chicago Bridge and Iron Companyn esitys multibarrier-containmentista ja Sulzer-KSB:n esitys primääripumppujen rakentamisesta ja kokeilupiiristä. Kokeilupiiri on vasta rakenteilla.

### 3.2. Kaasujähdytteiset reaktorit

Esitykset olivat lähinnä käynnissä tai suunnitteilla olevien projektien kuvaamista. Istunnossa vallitsi optimistinen käsitys kaasujähdytteisten reaktoreiden tulevaisuuteen. Tämä käsitys tiivistyikin istunnon yhteenvedossa, jossa puheenjohtaja totesi, että käyty keskustelu oli ensimmäinen, jossa kaasujähdytteisten reaktoreiden valmistajat eivät suostuneet julkisesti ilmoittamaan tarkkoja arvoja laitosten ja polttoaineiden kustannuksista, vaan lupasivat informoida halukkaita asiakkaita tarvittaessa erikseen. Tätä on pidettävä selvänä merkinä kaupallisuuden saavuttamisesta.

### 3.3. Nopeat hyötöreaktorit

Hyötöreaktori-istunnon esitelmille näytti olevan leimaa-antavana käynnissä olevien projektien teknillinen kuvaaminen. Esitelmöitsijät kertoivat kyllä kansallisista suunnitelmista, mutta ennusteet breederien taloudellisesta käyttöönottoajankohdasta jne. jäivät aika vähiin. Saattaa olla niin, että nyt ollaan joka puolella satojen megawattien kokoluokan hyötöreaktorien kehittämässä vaiheessa, jossa selvät päätökset ja ohjelmat on tehty joiksikin vuosiksi eteenpäin ja näiden toteuttamisessa on käytännön työtä yllin kyllin.

### 3.4. Ympäristökysymykset

Kyseessä oli messujen laajin istunto, jossa käsiteltiin hyvin erilaisia aiheita.

Lentokoneiden aiheuttamasta riskistä Sveitsissä tekemäänsä selvitystä raportoi Motor-Columbus Ingenieurunternehmung Ag. Siinä todettiin, että todennäköisyys lentokoneen putoamisen aiheuttaman radioaktiivisuuden leviämislle ympäristöön on useita kertalukua DBA:n esiintymistä pienempi. Suurimmat vauriot aiheutuvat koneiden raskaista osista, ei niinkään rungosta. Tärkeimpien osien suojaaminen ja redundanssi sijoituksen suhteen ovat tärkeimmät suojauskeinot.

Ydinvoimalaitoksien maanalaista sijoitusta käsittelevää tutkimustaan esitteli Elektro-Watt Ingenieurunternehmung Ag. Sen mukaan kalliosijoitus ei yleensä ole perusteltua. Tietyt sotilaalliset ja lähisijoitukseen liittyvät maisemalliset sekä missiili- ja sabotaasisuojakysymykset saattavat tehdä poikkeuksen.

Yleisesti istunnossa kiinnitettiin huomiota siihen, että aktiivisissa tiloissa on yksinkertaistenkin operaatioiden suorittaminen vaivalloista ja kallista ja tämä olisi jo suunnitelussa otettava huomioon.

### 3.5. Instrumentointi ja säätö

Istunnon keskeisiä aiheita oli tietokoneen käyttöön ottaminen toisaalta ydinvoimalaitoksien suoraan säätöön ja toisaalta turvajärjestelmiin. Erityisesti ensinmainitusta herättivät Pickeringin-laitokselta saadut kokemukset runsasta mielenkiintoa. Istunnossa vallitsi käsitys, että tietokoneet tulevat ydinvoimalaitoksissakin saamaan tietojen keruun ja ohjauksen lisäksi suoria tehtäviä yhä enemmän. Tehtävät oli kuitenkin jaettu erikseen turvallisuustoimintoihin ja toisaalta suoraan säätöön. Alan kehitykselle ovat tunnusmerkillisiä piirteitä suuri redundanssin tarve ja toisaalta sekä softwarin että hardwaren kehittäminen sopiviksi ja joustaviksi moduleiksi.

### 4. Näyttely

Näyttelyn pääpaino oli ydinvoimalaitoksiin liittyvässä tekniikassa. Muu ydintekniikka, radionuklidit ja mittausinstrumentit, olivat jääneet taka-alalle. Ehkä instrumenttien valmistajat tähtäävät enemmän ensi vuonna AICHEMAnäyttelyyn.

Näyttelyn luonteesta ja näytteillepanijoista johtuen konepaja- ja valmistustekniikka oli voimakkaasti esillä. Erilaisia valukappaleita, pumpun- ja venttiilipesiä ja hitsausmenetelmiä ja -liitoksia esitettiin lukuisasti.

Varsinaisista reaktorinvalmistajista suurimmat, Westinghouse ja General Electric, eivät olleet kovin voimakkaasti esillä. Ne tyytyivät esittelemään eräitä osatoimintojaan; Westinghousella oli jopa namu- ja limssa-automaatti. Sen sijaan eurooppalaiset ja erityisesti saksalaiset reaktorinvalmistajat olivat voimakkaasti esillä.

Pohjoismaisilla yrityksillä oli yhteinen näyttelyosasto, Nuclear Scandinavia. Vaikkakin tällaisesta yhteisesiintymisestä on lisätyötä ja vaivaa, näytti kokonaisvaikutus positiiviselta. Erikseen esiinnyttäessä Suomi olisi todennäköisesti joutunut

nykyistä paljon vaatimattomammalle paikalle jonnekin salin reunoista ja toisaalta erillisen pienen näyttelyosaston pystyttäminen ei ole helppoa.

Erityistä huomiota näyttely-yleisön, kadunmiesten ja jopa lehdistönkin keskuudessa herätti Finnatom/Wärtsilän henkilösulku, joka oli sijoitettu ulos näyttelyyn pääsisääkäynnin viereen. Sululla annettiin demonstraatiota määrättyihin aikoihin.

Verrattaessa Nuclex-72-näyttelyä yleisnäkymältään periaatteeltaan toisenlaiseen YK IV Geneven konferenssin näyttelyyn 1971 voi todeta, että Baselissa näyttelyarkkitehtuuri oli paljon tavanomaisempaa ja toisaalta kohteet helpommin lähestyttäviä. Suomen osasto onnistui joko runsaan oman miehityksen tai pienten tilojen vuoksi näyttämään lähes aina täydeltä.

#### 5. Joitakin yleisnäkyviä

Kaupallisten organisaatioiden ulkopuolella olevan tarkkailijan tutustessa kaupalliseen näyttelyyn ja raportoidessa tästä, tuntui välillä siltä, että kaikki, mitä näkee ja kokee, on sitä ulkokultausta, jolla ei ole suurempaa merkitystä. Messujen todellinen merkitys on siinä, mistä kukaan ei kirjoita yleistä matkaraporttia, liikesuhteissa ja henkilökontakteissa. Todellinen merkitys voidaan todeta vasta paljon myöhemmin.

Jos jotain yhteenvetoa tästä epäoleellisesta puolesta voisi tehdä, voi siihen lukea seuraavat toteamukset

- vaikkakaan mitään hyötyä osallistumisesta ei voida näyttää, kenellekään ei ole varaa olla poissa.
- eräänä piirteenä oli EEC-maiden ja erityisesti länsisaksalaisten voimakas panos; KWV-painevesireaktorilaitos oli eräänkin esitelmän mukaan ehdoton optimiratkaisu, paremmaksi ei laitos enää voi tulla. Toisaalta suuret amerikkalaiset Westinghouse ja GE olivat paljon pidättyvämpiä
- seuraavaan Nuclexiin olisi yritettävä saada jo suomalaisia teknillisiä esitelmiä, mikäli messut ovat nykyisen kaltaisia. Esitelmät ovat halpaa ja laajalle leviävää mainosta.