



Instrumenteringen på forsøgsreaktoren DR2

Rasmussen, Jens

Published in:
Ingeniøren

Publication date:
1959

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Rasmussen, J. (1959). Instrumenteringen på forsøgsreaktoren DR2. *Ingeniøren*, 68, 277-283.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Instrumenteringen på forsøgsreaktoren DR. 2

Af civilingeniør Jens Rasmussen,

Elektronikafdelingen, Atomenergikommissionens Forsøgsstation, Risø

621.039(489)

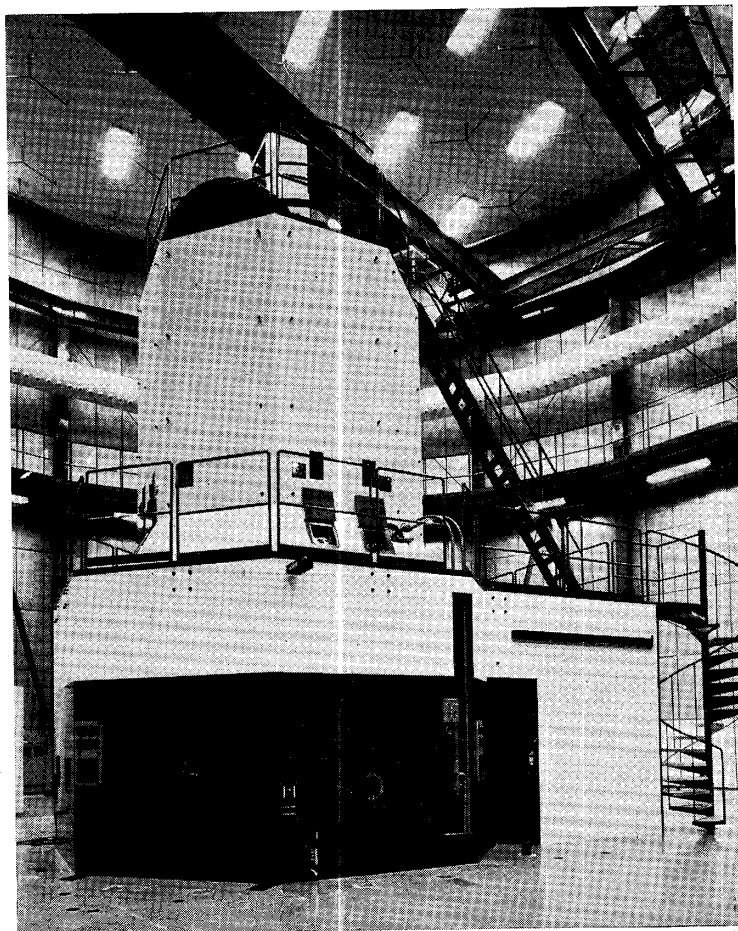


Fig. 1. Reaktoren DR-2.

Med DR-2 har Atomenergikommissionens forsøgsstation på Risø fået sin første store forsøgsreaktor med høj neutronflux. Den 19. december 1958 blev reaktoren sat i drift med en termisk effekt på ca. 10 watt, og hermed indledtes indkøringsperioden, hvorunder effekten langsomt hæves til 5MW, medens der udføres talrige forsøg for at undersøge dens egenskaber. Når denne periode er afsluttet skal reaktoren anvendes til materialprøvning, fysiske forsøg og isotopfremstilling.

Reaktoren er leveret af det amerikanske firma Foster-Wheeler.

Reaktoren er letvandsmodereret og -kølet, og selve reaktorkernen indeholder brændselelementer, der består af højt beriget metallisk uran indkapslet i aluminium. Brændselelementerne er anbragt på en aluminiumplade med styrehuller, således at forskellige kerner kan opbygges. Reaktoren er beregnet til en effekt

på 5MW svarende til en termisk neutronflux på 3×10^{13} neutroner/cm² sek.

Reaktorkernen befinder sig, som det fremgår af figur 2, fornedet i en aluminiumtank med en diameter på knap 2 m. Denne tank er fyldt med vand, således at kernen er ca. 6 m under vandoverfladen. Vandet fungerer som moderator og kølemiddel og som afskærmning for den opadrettede radioaktive stråling. For at få tilstrækkelig afskærmning til siderne er tanken omgivet af en tyk betonskærm. Ind gennem denne skærm og tanken er ført et antal aluminiumrør beregnet til indsætning af forsøgsudstyr, og under selve kernen findes 6 rør, der indeholder instrumenteringens neutrontektorer.

Reaktoren kontrolleres af 6 neutronabsorberende stænger, der er ført lodret ned i kernen fra reaktorens top.

Vandet i tanken cirkuleres af pumper i et primært kølesystem gennem to varmevekslere i kælderen under reaktoren, hvorfra varmen af et sekundært kølesystem transporteres til et udvendigt køletårn. Det primære kølevand holdes rent ved, at man til stadighed fører en del af det gennem en ionbytter.

Hele reaktorinstallationen med undtagelse af kontrolrummet er omgivet af en lufttæt og trykprøvet stålbygning forsynet med personsluker ved indgangen. Reaktoren betjenes fra kontrolrummet, hvor instrumenteringen er samlet i en konsol.

Reaktor-instrumentering.

Forskellige egenskaber hos reaktorer medfører, at instrumenteringen afviger fra den, der anvendes på mere konventionelle energikilder.

En reaktor indeholder normalt tilstrækkeligt brændsel til lang tids drift og er derfor i besiddelse af en meget stor energireserve, der kan udløses i tilfælde af uheld. Endvidere er de reaktionshastigheder, der kan komme på tale så store, at der ikke altid er tid til manuel indgriben ved driftsforstyrrelser, og instrumenteringen må derfor indeholde et driftsikkert og hurtigt virkende sikkerhedssystem.

Ved en forsøgsreaktor, hvor neutronfluxen er det centrale, er det naturligt, at fluxmålekanalerne udgør en stor del af instrumenteringen, men også ved kraftreaktorer, hvor varmeudviklingen er det primære, udgør fluxmåleudstyret en væsentlig del af instrumenteringen, idet temperaturændringerne i reaktoren er for langsomme til, at man kan basere sikkerhedsudstyret alene på måling af disse.

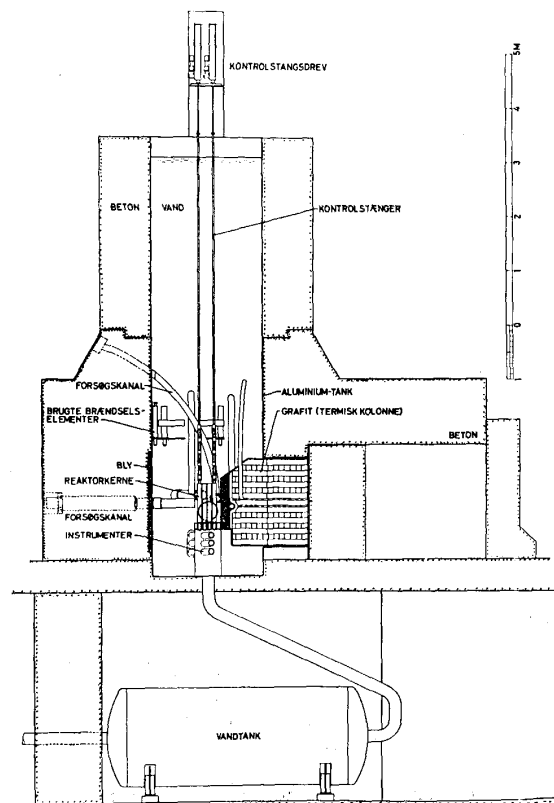


Fig. 2. Snit gennem reaktoren.

En anden egenskab ved reaktoren gør instrumenteringen omfattende. Forholdet mellem den udviklede effekt ved normal drift og i nedlukket tilstand kan ved en reaktor af DR-2's type være af størrelsesordenen 10^{10} — 10^{12} altså 10—12 dekaeder. På grund af muligheden for meget hurtige effektændringer må man ved start af reaktoren følge effektens opvæksten helt fra laveste niveau for at undgå, at effekten kommer op i kanalernes måleområde med for stor hastighed. Dette medfører, at instrumenterne skal dække et måleområde på 10—12 dekaeder.

Har reaktoren i længere tid været i drift ved høj effekt, har den et stort indhold af fissionsprodukter, hvis γ -stråling vanskeliggør målingen af neutronfluxen ved lave effektniveauer.

Udstyret til måling af neutronfluxen har altså to opgaver. Dels skal det overvåge fluxens opvækst over et meget stort område ved reaktorens start, dels skal det nøjagtigt kunne måle neutronfluxen, når den er konstant ved det ønskede arbejdsniveau.

Konstant neutronflux opretholdes, når det antal neutroner, der dannes ved kerneprocesser, fission, i brændselselementerne netop holder ligevægt med de neutroner, der forbruges til kerneprocesserne og de som tabes ved absorption i kontrolstænger, afskærmning o. s. v. En reaktor i denne tilstand siges at være kritisk. Mindskes neutronabsorptionen f. eks. ved, at kontrolstængerne trækkes længere ud af kernen, vil hver neutrongeneration være større end den foregående, reaktoren er overkritisk, og dens neutronflux og den dermed proportionale termiske effekt vil stige eksponentielt. Modsat vil neutronfluxen falde, når absorptionen i kontrolstængerne forøges, ved at de flyttes længere ind i kernen. Forholdet mellem antallet i to på hinanden følgende neutrongenerationer kaldes multiplikationsfaktoren, k , og er for en reaktor i ligevægt 1. Er k forskellig fra 1, angives afvigelsen herfra i % af k og kaldes reaktiviteten.

Da neutronfluxen i en over- eller underkritisk reaktor efter indsvingningernes ophør ændrer sig eksponentielt, er det naturligt at måle fluxens ændringshastighed som den tid, det tager den at ændre sig en faktor $e = 2,7$. Dette tidsrum benævnes reaktorens periode, og målingen heraf er afgørende ved reaktorens start, idet man på grundlag af denne måling kontrollerer den hastighed, effektstigningen har.

Der er stor forskel på udformningen og omfanget af instrumenteringen på forsøgsreaktorer, men de til grund liggende principper er fælles, og instrumenteringen på DR-2 er et udmærket eksempel på disse.

DR-2's instrumentering.

En oversigt over denne er givet på blokdiagrammet side 281. Den kan groft deles i følgende: *Kontrolstangssystemet*, de egentlige målekanaler til måling af neutronflux, radioaktiv stråling, temperaturer o. s. v., *interlock-systemet* der forhindrer fejlbetjening og *sikkerhedsudstyret*, der i tilfælde af driftsuheld sænker reaktorens effekt eller lukker den ned, alt efter uheldets art. Endelig er reaktorhallens ventilationsanlæg forsynet med et »building seal«-system, der automatisk lukker hallen lufttæt i tilfælde af utiladelig høj radioaktivstråling et sted i installationen.

Inden den detaljerede gennemgang af systemet skal hovedtrækkene nævnes i forbindelse med blokdiagrammet.

Hovedtrækkene i instrumenteringen.

Reaktorens flux reguleres med 6 kontrolstænger, hvoraf de 5 — shimstængerne — benyttes til grovere kontrol, medens den nøjagtige regulering sker med reguleringsstangen, der kan tilsluttes et automatisk reguleringsystem.

Shimstængerne indgår i sikkerhedssystemet, idet de er ophængt i elektromagneter, der ved driftsuheld lader dem falde ned i kernen, hvorved reaktoren hurtigt lukkes ned.

Ved start af reaktoren følges neutronfluxens opvækst gennem 10 dekader af de 4 målekanaler. De første 4—5 dekader registreres af to fissionskammerkanaler, der samtidig måler reaktorens periode. Ved en effekt på ca. 10 watt sætter den logaritmiske og den lineære målekanal ind. Den logaritmiske — log N-kanalen — registrerer reaktorens effekt og periode i området 10 watt til 10 MW i eet måleområde og benyttes især til overvågning af effektændringer, medens den lineære kanal, der dækker samme effektområde i spring med 25 måleområder, benyttes til nøjagtig måling af effekten, når denne er stabil. Måleresultaterne fra alle fire kanaler nedskrives af registrerende instrumenter. Til den lineære kanal er koblet systemet til automatisk regulering af effekten.

Temperaturen på 5 forskellige steder i reaktorens primære og sekundære kølesystem registreres af en recorder, ligesom den radioaktive stråling måles 10 steder i bygningen og registreres. Ud over dette måles kølevandets ledningsevne, strømningshastighed samt vandstanden i systemets forskellige beholdere.

Indtræder unormale forhold i form af urigtig betjening eller teknisk fejl, registreres disse på en lys-tavle, samtidig med at sikkerhedsudstyret griber ind. Ved ufarlige fejl gives en alarm, således at operatøren kan gribe ind. Er fejlen af mere alvorlig karakter, fås automatisk »run down«; d. v. s. at shimstængerne automatisk køres ind, således at effekten sænkes. Ved alvorlige driftsuheld afbrydes strømmen til de elektromagneter, der holder shimstængerne, således at disse falder ned i kernen og hurtigt lukker reaktoren ned. Denne forholdsregel kaldes scram.

Det centrale i scram-systemet er 5 dc-forstærkere, der forsyner magneterne med den nødvendige strøm. Disse forstærkere er sammenkoblet, og modtager en af dem et fejlsignal, udløses alle stængerne med meget lille forsinkelse.

Forstærkerne er koblet til 3 neutron-detektorer, der måler reaktorens effekt, og indikerer blot een af disse, at effekten overstiger 7,5 MW, udløses stængerne. Endvidere er een af forstærkerne koblet til periodesignalet fra log N-kanalen, således at stængerne udløses, når reaktorens periode bliver mindre end 1 sek. I de her nævnte tilfælde kræves hurtigst mulig virkning af systemet, og magnetstrømmen afbrydes derfor ad elektronisk vej med forstærkerne. I mindre kritiske tilfælde, periode kortere end 5 sek, effekten højere end 5,5 MW, for høj temperatur o. s. v., afbrydes magnetstrømmen af et relæsystem.

Scram skulle normalt indtræde sjældent, idet fejlen, inden den bliver så grov, har givet automatisk run-down.

For at begrænse det antal tilfælde hvor sikkerhedsudstyret skal gribe ind, er reaktoren forsynet med et interlocksystem. Dette er et relæsystem, der sikrer,

at betjeningen af kontrolorganerne sker i den rigtige rækkefølge.

I det følgende er instrumenteringens forskellige dele gennemgået detaljeret.

Kontrolstangssystemet.

Reaktoreffekten kontrolleres med de 5 shimstænger og 1 reguleringsstang. Denne er udført af rustfrit stål, medens shimstængernes absorberende materiale er borcarbid, der er indkapslet i aluminium. Hver shimstang kan ændre reaktiviteten 3 %, reguleringsstangen ca. 1 %. Stængerne er ført ned i specielle brændselselementer, som er forsynet med rør, der styrer stængernes bevægelse. Stængernes drivmekanisme er anbragt i styrehuller på en plade over reaktortanken, således at de bekvemt kan flyttes, når brændselselementerne skal arrangeres om til ny kernekonfiguration. Stængerne bevæges med konstant hastighed. Denne er for shimstængerne 7,6 cm/min, for reguleringsstangen 30 cm/min, og alle stængerne bevæges over 67 cm.

De bevæges af to-fasemotorer, der er tilsluttet en scott-T koblet transformator. Shimstængernes motorer betjenes manuelt fra kontrolbordet, og de kan betjenes enkeltvis eller samlet, medens reguleringsstangen kan betjenes manuelt eller tilsluttes det automatiske kontrolsystem. Kontrolstængernes position vises på kontrolbordet på nogle instrumenter, der er tilsluttet potentiometre, som er mekanisk koblet til drivmekanismen. Disse er ligeledes forsynet med et antal kontakter, således at stængernes stilling i forhold til græn-

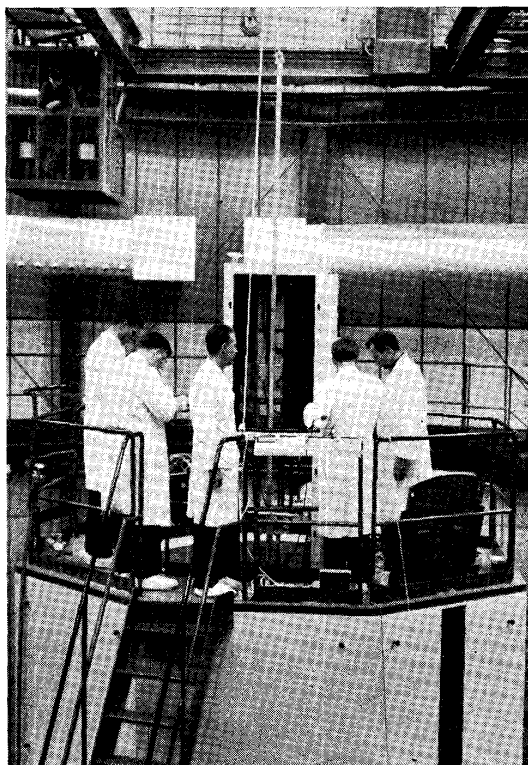


Fig. 3. Toppen af reaktoren med kontrolstængernes drivmekanismer.

serne for deres bevægelse og for deres normale kontrolområde kan aflæses på lamper på kontrolbordet.

Ved start af reaktoren kan shimstængerne først trækkes ud, når interlock-systemet er tilfredsstillet, d. v. s. når alle døre til reaktorhallen, bortset fra dørene i personslusen, er lukkede, og når den følsomste målekanal er indenfor sit måleområde.

Stængerne bevæger sig kun ud, så længe betjeningshåndtaget aktiveres af operatøren, og kun så længe sikkerhedsudstyret ikke griber ind.

Fluxmålekanalerne.

Reaktorens neutronflux måles af fire instrumentkanaler, der fordeler sig over reaktorens effektområde som vist på fig. 4.

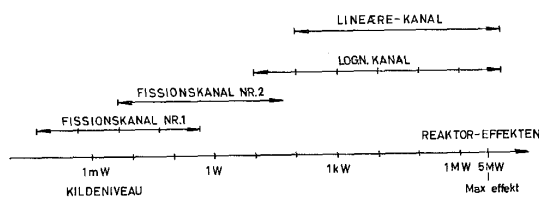


Fig. 4. Skematisk fremstilling af flux-kanalernes måleområde.

Reaktorens effekt i nedlukket tilstand er meget lav, men for at indskrænke det nødvendige måleområde til ca. 10 dekaner er denne effekt hævet til ca. 0,5 mWatt med en neutronkilde. De anvendte neutron-detektorer er for de følsomste kanaler fissionskamre, medens der i den lineære og den logaritmiske kanal anvendes kompenserede ioniseringskamre.

Fissionskammerkanalerne.

Disse to målekanaler er identiske, men deres følsomhed er ved placeringen af detektorerne indstillet, så der er et forhold mellem deres måleområder på ca. 2 dekaner.

Neutroner er uladete partikler og giver derfor ikke ionisation i et almindeligt ioniseringskammer. Fis-

sionskamrene er ioniseringskamre, der indvendigt er beklædt med uran 235. Kamrene detekterer de ladede fissionsprodukter, der opstår, når neutronerne spalter dette uran.

Fissionskanalerne benyttes kun ved den første del af reaktorens start, og for at sinke nedbrydningen af deres uranindhold trækkes de efter brug ud af reaktoren med drivmekanismen, der betjenes fra kontrolbordet. Interlock-systemet forhindrer, at man bevæger den detektor, der er i brug.

Da fissionsdetektorerne anvendes i det område, hvor fluxen er lav, benyttes de som impulstællere, hvorved kanalen får en følsomhed på 0,7 impulser/neutroner/cm². Detektorsignalet forstærkes i forforstærkere anbragt i umiddelbar nærhed i reaktorens skærm og føres derefter til hoved-forstærkere i kontrolbordet. I disse forstærkere differentieres signalet for at undgå overstyring ved stor impulshyppighed. Fissionskamrene detekterer både neutron- og γ -flux. Impulserne, der stammer fra γ -fluxen, har imidlertid mindre amplitude end de, der skyldes neutronerne og kan derfor i hovedforstærkeren fjernes med en diskriminator (amplitudefilter).

Fra forstærkerne føres impulserne til logaritmiske count-rate metre, der direkte viser impulshyppigheden i impulser pr. sekund i et område på 4 dekaner fra 1 til 10⁴ imp/sek. I dette instrument standardiseres impulserne, således at deres energiindhold er ens. De standardiserede impulser oplader en kondensator, der aflades gennem en diode. I det område, hvor der er logaritmisk sammenhæng mellem diodens strøm og spænding, vil spændingen over kondensatoren være et logaritmisk mål for impulshyppigheden (log count rate). Denne spænding måles af et rørvoltmeter og kan aflæses på et viserinstrument og registreres af en recorder (potentiometerskriver).

Foruden neutronfluxen er det væsentligt at måle fluxens ændringshastighed. Dette gøres ved at differentiere spændingen fra log count-rate kanalen. Herved fås en spænding, der er proportional med det reciproke af reaktorens periode. Denne spænding vises på et instrument direkte graderet i sekunder, ligesom den registreres på en recorder. Log count rate og periode recorderne er fælles for de to fissionskanaler, og periode-recorderen benyttes endvidere i den logaritmiske kanal. Omskiftninger mellem de forskellige kanaler sker med en omskifter, der indgår i interlock-systemet.

Kontakter på perioderecorderens aksel indgår i sikkerhedssystemet: Når perioden bliver kortere end 30 sekunder forhindres, at reguleringsstangen køres længere ud. Bliver den kortere end 10 sekunder, fås automatisk run-down og ved 5 sekunder fås scram. Perioderecorderen er således en væsentlig del af sikkerhedssystemet, og det er nødvendigt, at den målekanal, den er tilsluttet, er i brug. Recorderomskifteren er derfor

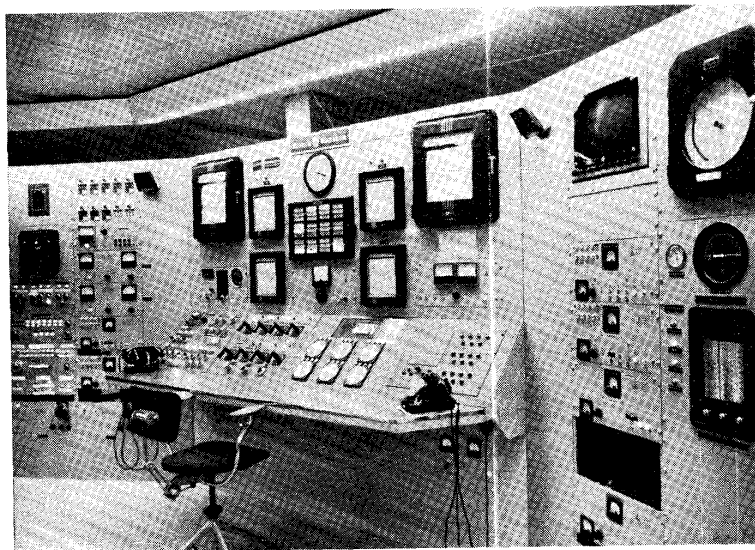


Fig. 5. Reaktorens kontrolbord.

forbundet med kontakter i log count rate og log N recorderne således, at der fås automatisk run down, hvis den kanal periodereorderen er tilsluttet kommer uden for sit måleområde.

En kontakt i log count rate-recorderen forhindrer udtrækning af shimstængerne, når kanalen registrerer et count-rate mindre end 20 imp/sek.

Til den følsomste fissionsdetektorkanal er yderligere koblet elektronisk impulstæller, der kan benyttes til kontrol af kanalen og til særlige forsøg. For at man i reaktorhallen kan følge startens indledende fase, er en højttaler i hallen tilsluttet denne tæller, således at man kan høre ændringen i tællehastigheden.

Den logaritmiske fluxkanal.

Denne kanal, log N-kanalen, måler fluxen i området fra 10W til 10MW. I dette område er fluxen så høj, at man benytter jævnstrømmen gennem ioniseringskammeret som mål for fluxen. I log N-kanalen og i den lineære kanal benyttes som detektorer ioniseringskammer, hvor ioniseringen skyldes α -partikler dannet ved reaktion mellem neutronerne og en belægning i kammeret bestående af borisotopen B^{10} . For at få tilstrækkeligt stort måleområde må der i disse kanaler kompenseres for γ -fluxens indvirkning på detektoren. Dette er gjort ved at udforme detektoren som to koncentriske kamre, hvoraf kun det ene er belagt med bor. De er opbygget således, at de ved rigtigt valgte driftsspændinger får samme følsomhed for γ -fluxen, og da kun det ene kammer er neutronfølsomt, kan man i brokobling udkompensere den del af strømmen, der skyldes γ -fluxen. Herved kan det brugbare måleområde udvides med en faktor omkring 30. Kammerets følsomhed er for den anvendte type 4×10^{-14} A/neutron/cm² sek., medens den ukompenserede γ -følsomhed er 4×10^{-12} A/R/time.

I den logaritmiske kanal er detektoren tilsluttet log

N-metret, der består af en dc-forstærker, som måler ion-kammerstrømmens spændingsfald over en diode. Denne spænding er proportional med logaritmen til kammer-strømmen, og dc-forstærkerens udgangsspænding er et logaritmisk mål for neutronfluxen over 6 dekader. Forstærkerens udgangsspænding differentieres, og man får derved en spænding, der viser reaktorens periode direkte i sekunder. Log N-metret er tilsluttet en recorder, log N-recorderen og kan med en omskifter tilsluttes den tidligere nævnte periodereorder. Log N-recorderen indeholder kontakter, der indgår i det omtalte interlocksystem og i reaktorens sikkerhedssystem. Ved et udslag på recorderen svarende til 5,5 MW fås automatisk run down og ved 7,5 MW fås scram.

Lineære kanal.

Denne kanal er den egentlige drifts- og målekanal til nøjagtig måling af reaktorens flux. Den viser fluxen på en lineær skala, der med 25 måleområder dækker et område på ca. 6 dekader. Detektoren er i denne kanal tilsluttet et μ A-meter, hvis største følsomhed er 10^{-9} A. I dette måler en forstærker ionkammerets strøm som spændingsfaldet over en modstand. Forstærkeren er for at undgå drift udformet som en modkoblet 50 Hz-forstærker forsynet med mekaniske modulatorer (choppers).

Til μ A-metret er koblet en recorder, der også indgår i det automatiske kontrolsystem. Recorderen er endvidere forsynet med kontakter, der ved 66 % af fuldt udslag på recorderen giver run-down og ved fuldt udslag scram. En anden kontakt udkobler det automatiske reguleringssystem, såfremt udslaget på recorderen falder under 50 %, således at den automatiske regulering kun kan anvendes i et snævert interval i kanalens forskellige måleområder, hvilket med-

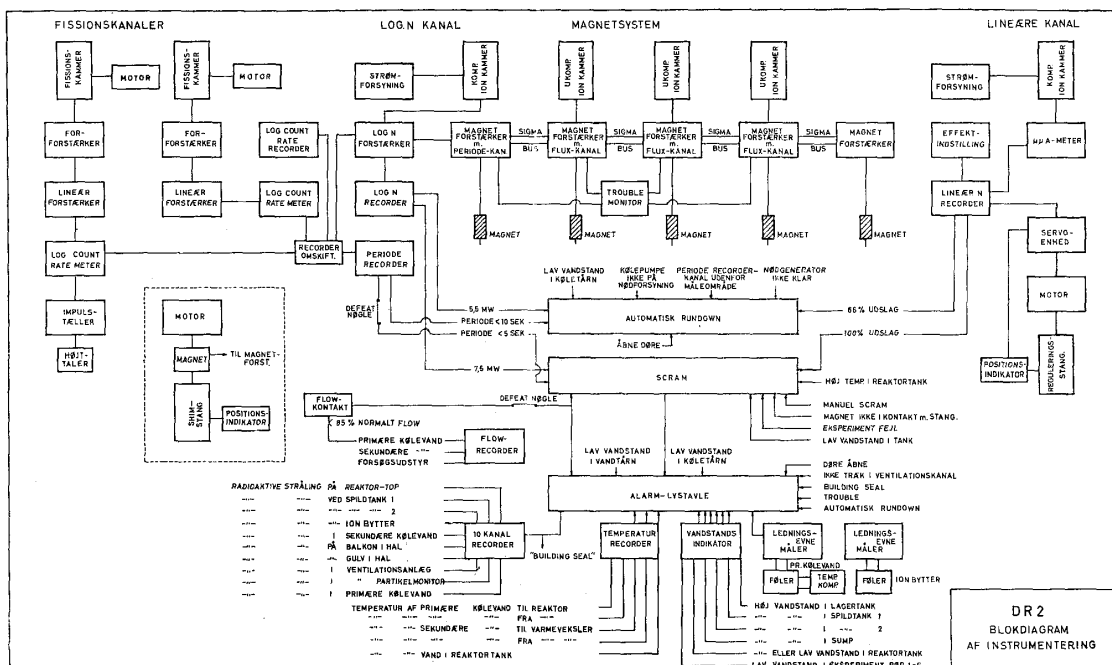


Fig. 6.

fører, at systemet kobles ud, når effekten afviger væsentligt fra den ønskede.

Automatiske reguleringssystem.

Til automatisk at holde neutronfluxen konstant på den ønskede værdi, er reaktoren forsynet med et servo-system af en type, der er almindeligt anvendt til proceskontrol i industrien.

Interlock-systemet medfører, at den automatiske kontrol kun kan anvendes, når alle kontrolstænger er indenfor deres normale reguleringsområde, når den lineære kanal viser mellem 50 % og 66 % af fuldt udslag, og når strømforsyningen til fejlspændingsbroen er tilsluttet, ligesom det udkobles, når sikkerhedssystemet griber ind.

Servosystemet er et on-off system, hvor reguleringsstangens motor styres af relæer i servoforstærkerens udgang. Et potentiometer koblet til den lineære flux-recorders aksel indgår sammen med et potentiometer til indstilling af den ønskede flux i en fejlspændingsbro. I denne bro indkobles endvidere et signal, der er afhængig af reguleringsstangens position, således at middelhastigheden af stangen kan gøres afhængig af fejls størrelse.

Systemets egenskaber, forstærkning, proportionalbånd og kombination af proportional- og integralkontrol, kan indstilles til bedste regulering ved de forskellige kerner, der anvendes i reaktoren.

Servosystemet kan holde effekten konstant indenfor $\pm 1\%$.

Magnetsystemet.

Sikkerhedssystemets væsentligste del er elektromagneterne, der bærer shimstængerne i forbindelse med de forstærkere, der leverer magnetstrømmen.

De 5 magnetforstærkere har alle indgangen forbundet til en fælles ledning — sigmabus — og er indrettet således, at de ved en ændring af denne lednings potential afbryder strømmen til magneterne. Denne afbrydelse sker med forsvindende forsinkelse, og fra strømmen afbrydes til stængerne begynder deres fald, er forsinkelsen kun ca. 20 mS.

Sigma-bus spændingen bestemmes af tre forstærkere, der er tilkoblet hver sin neutrontektor og en forstærker, der er koblet til periodesignalet fra log N-kanalen.

Når een eller flere af disse neutrontektorer måler en effekt, der overstiger 7,5 MW, eller når periodesignalet indikerer en periode kortere end 1 sek, hæves sigma-bus spændingen, og alle stængerne udløses. De tre neutrontektorer har kun til opgave at måle effekten omkring 5 MW og er derfor ikke γ -kompenserede.

På grund af forstærkernes store betydning for reaktorens sikkerhed er de forsynede med en »trouble-monitor«, et kredsløb der kontrollerer de vigtigste strømme og spændingen i forstærkerne, og som giver alarm, inden unormale forhold i forstærkerne giver anledning til driftsforstyrrelser. Monitoren kontrollerer også, at sikkerhedssystemets kabler er intakte, og at spændingsforsyningerne til flux-målekanalernes detektorer er tilsluttet.

Ved driftsforstyrrelser, hvor en noget større tidsforsinkelse ikke er betydende, afbrydes magnetstrømmen ikke elektronisk, men et relæsystem afbryder magnetforstærkerens strømforsyning. Det drejer sig her om følgende driftsforstyrrelser:

Lav vandstand i reaktortank,
for lille flow i primære kølesystem,
høj temperatur i primære kølevand,
lineære målekanals recorder giver fuldt udslag,
logaritmiske målekanals recorder viser en effekt på 7,5 MW,
periode recorderen viser periode kortere end 5 sek.

Som yderligere sikkerhed indgår også magnetforstærkerne i dette kredsløb, således at en ordre om elektronisk afbrydelse af magnetstrømmen også følges af en afbrydelse af strømforsyningen til forstærkerne, hvilket giver en beskyttelse mod, at fejl i forstærkerne hindrer dem i at bryde strømmen.

Kontrol af radioaktive strålningsniveau.

For at sikre sig mod at fejl i reaktorinstallationen eller de ved reaktoren opstillede forsøg giver utilladeligt højt strålningsniveau, kontrolleres dette ti forskellige steder i reaktorinstallationen. Hertil er benyttet 8 ioniseringskamre, der er fordelt med 3 i reaktorhallen omkring selve reaktoren, 3 i kølesystemerne og 2 i spildtanke. Disse kamre er forsynede med et indbygget elektrometerrør, hvis gitterledning udgør kammerets katode. Herved er opnået logaritmisk visning over 3 dekader, der for de forskellige detektorer ligger i området 0,1—100 eller 1—1000 mr/t.

Hvor ventilationsanlægget munder ud i fri luft er anbragt to følsomme detektorer, en geiger- og en scintillationsdetektor, der begge er forbundet til logaritmiske count-rate metre, og måleområderne er her 0,001—1 mr/t. Scintillationsdetektoren er anbragt direkte i ventilationskanalen, medens geigerdetektoren måler aktiviteten af de partikler, der afsættes i et filter.

Måleresultaterne fra de ti kanaler kan ses på viserinstrumenter på konsollen. Disse instrumenter er forsynet med alarmkredsløb, således at operatøren kan gribe ind, såfremt strålningsniveauet bliver for højt.

Niveauerne registreres yderligere på en 10-kanal recorder, som er forsynet med kontakter, der ved højt strålningsniveau giver »building seal«. Dette består i, at alle ventilationskanaler, der har forbindelse til det frie, afspærres lufttæt med vandlås. De holdes normalt åbne med elektromagneter, men ved et »building seal« bliver disse strømløse, og låsene tipper rundt.

»Building seal« sker i to tempi. Ved en vis strålngsgrænse udløses et tidsrelæ og en alarm, og først efter 1 minuts forsinkelse sker building-seal. Herved får operatøren mulighed for at gribe ind. Stiger strålingen imidlertid yderligere, så en højere grænse overskrides, sker building seal uden forsinkelse.

Målinger på kølesystem.

Temperaturen på 5 steder i reaktortanken og i de to kølesystemer registreres af en 5-kanal recorder, og for høj temperatur giver anledning til alarm. Kun temperaturen i det primære kølevands afgang fra reaktortanken indgår i scramsystemet.

Strømningshastigheden i de to kølesystemer måles. Falder den primære under 85 % fås scram.

Vandstanden i anlæggets forskellige tanke kontrolleres af vandstandsmålere, og forkert vandstand giver alarm. Ledningsevnen i det primære kølevand og ved udgangen af ionbytteren måles, og høj ledningsevne i kølevandet giver alarm.

Nødstrømsforsyning.

I tilfælde af svigtende strømforsyning lukkes reaktoren ned, idet shimstængernes magneter bliver strømløse. Varmeudviklingen i reaktoren fortsætter imidlertid endnu et stykke tid, og det er derfor væsentligt, at en af kølevandspumperne fortsætter driften. Dette er opnået ved, at en del af strømforsyningen bl. a. til en kølepumpe og til kontrolbordet overtages af en dieseldrevet generator, der automatisk går i gang indenfor 2 sekunder ved svigtende normalforsyning. Dieselaggregatet startes ved, at dets svinghjul, der normalt holdes roterende af en elektromotor, automatisk kobles ind.

Nødgeneratoren er indkoblet i sikkerhedssystemet, således at man får automatisk run-down, såfremt dets

svinghjul ikke roterer, eller såfremt ikke mindst een af de i drift værende kølevandspumper er tilsluttet det net, der overtages af generatoren ved svigtende normalforsyning.

Fjernsynsanlæg.

For at lette samarbejdet mellem reaktorhal og kontrolrum findes foruden samtaleanlæg et fjernsynssystem, der tillader operatøren at følge arbejdet i hallen på en fjernsynsskærm, som kan tilsluttes tre fjernbetjente kameraer, der er anbragt, så hele hallen kan overskues fra kontrolbordet.

Foruden den her omtalte instrumentering findes på kontrolbordet betjeningsorganer til ventilationsanlæg, rørpostanlæg, sprinkleranlæg o. s. v., men disse indgår ikke i den egentlige reaktorinstrumentering.