



Den menneskelige faktor i driftssikkerheden af industrielle procesanlæg

Rasmussen, Jens

Published in:
Elektroteknikeren

Publication date:
1971

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

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Rasmussen, J. (1971). Den menneskelige faktor i driftssikkerheden af industrielle procesanlæg. *Elektroteknikeren*, 67, 150-154.

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.

Den menneskelige faktor i driftsikkerheden af industrielle procesanlæg*)

Af afdelingsleder, civilingeniør Jens Rasmussen, Risø

UDK 681.3

I statistikker over uheld ved tekniske anlæg spiller det menneskelige element i systemerne ofte en fremtrædende rolle som kilde til fejlene.

Diagnosen er imidlertid ofte uklar. At en person i systemet har fejlet i en konkret situation betyder i og for sig kun, at vedkommende har opført sig anderledes end den person, der har planlagt hans arbejdssituation, har forudset eller ventet. Ofte kan man i høj grad diskutere, om det er den pågældende handling eller den tilsvarende forventning, der er urealistisk eller fejlbehæftet.

Man bør vel strengt taget kun tale om menneskelige fejl, hvis de skyldes udpræget sløseri, træthed, el. lign., medens uhensigtsmæssige handlinger, der er en følge af normale psykologiske egenskaber hos mennesker snarere må tilskrives arbejdssituationen – og herigennem måske en anden menneskelig faktor – den, der skaber arbejdssituationen.

Man må i den forbindelse tage i betragtning, at en af de vægtigste grunde til, at man har et menneskeligt element i systemet, er dets evne til at tilpasse sine beslutninger og handlinger til systemets behov, at lære af sine erfaringer. Dette er forudsætningen for effektivt driftspersonale i den normale arbejdssituation, og netop denne effektive tilpasning til den normale arbejdssituation kan blive anledningen til uhensigtsmæssige handlinger, når arbejdssituationen skifter i forbindelse med unormale arbejdsopgaver eller unormale anlæg.

Når man vil studere de menneskelige fejl, må man derfor beskæftige sig med hele arbejdssituationen og ikke alene se på operatørens handlinger i relation til de foreskrevne procedurer. I den forbindelse er det interessant at se resultaterne af amerikanske undersøgelser, der synes at vise, at man ved personale, der blot er jævnt godt motiveret for opgaven, ikke opnår væsentligt højere pålidelighed ved at træne det i bedre funktion eller foreholde det nødvendigheden af at gøre sig umage, men at radikale forbedringer alene kan opnås ved ændringer i arbejdssituationen.

Operatørens rolle i kontrolsystemet

Det samlede kontrolsystem, indbefattet operatøren, har tre hovedfunktioner: Det *måler* variable i anlægget, som er repræsentative for produktionen og hele driftstilstanden. De målte data er sammen med specifikationerne for driften input til en databehandlingsfunktion, der *beregner* de signaler, der er nødvendige for at *styre* processen under såvel normal drift som ved korrektion af unormale driftsforhold. I moderne anlæg er operatørens hovedopgave at deltage i databehandlingsfunktionen.

*) Efter foredrag holdt i Elektroteknisk Forening, den 9. oktober 1970.

Afgørende for operatørens mulighed for at udføre sin opgave er, at han i enhver situation har adgang til *data*, der hensigtsmæssigt beskriver tilstanden i anlægget, sammen med en angivelse af formålet med operationen, og at han råder over et sæt *databehandlingsprocedurer*, der sætter ham i stand til at danne de hensigtsmæssige styresignaler.

Disse procedurer er baseret på operatørens erfaring med anlæggets opførsel og hans viden om dets funktion. Denne information om anlægget kan kaldes hans „mentale modeller“ af det, fordi de afbilder sammenhængen mellem anlæggets reaktioner og de tilsvarende styresignaler.

Bestemmende for operatørens mulighed for at udføre sin funktion er endvidere, at data præsenteres på en måde, der svarer til hans mentale model, og som er tilpasset hans „indgangskapacitet“, dvs. mængden af data må ikke overskride hans evne til at opfatte dem.

Inden disse forhold diskuteres mere i detaljer, vil det være illustrerende at se lidt på operatørens rolle i en række uheld ved industrielle anlæg, idet såvel hans databehandlingsprocedurer – hans mentale modeller – som hans evne til at bearbejde store datamængder stilles på prøve i kritiske situationer.

Operatørens rolle i rapporterede uheld

Som eksempel er her taget ca. 30 uheld med større konsekvenser for anlæg eller personel, som er omtalt i det amerikanske tidsskrift „Nuclear Safety“ som „Current Events“ fra perioden 1962–65.

Disse er valgt hovedsagelig, fordi der indenfor det nukleare område sker en omhyggelig og detaljeret analyse af alle uheld. De omfatter 15 uheld ved reaktoranlæg, 9 ved kemiske anlæg for bearbejdning af radioaktive eller fissionable materialer og 5 større tilfælde af uheld ved bearbejdning eller håndtering af radioaktivt materiale i hot-cell anlæg.

På grund af det lille antal tilfælde og deres komplicerede natur kan der kun uddrages ret generelle træk, men de er dog ret illustrerende:

Langt de fleste uheld er initieret i perioder med ikke-rutineprægede operationer såsom initial-perioder, vedligeholdelse, kalibreringseksperimenter. Kun få – omkring 5 – er indtrådt under normale driftforhold, og de skyldes alle tekniske fejl.

Uheld er initieret af menneskelige fejloperationer i ca. $\frac{3}{4}$ af tilfældene, men kun i ganske få – 3 – tilfælde, skyldes dette simple fejltagelser eller fejlmanipulationer.

Kun i et par tilfælde er operatøren afskåret fra at gribe ind på grund af hurtige reaktioner i systemet – eksplosioner o. lign., og det ser i næsten alle tilfælde ud til, at han ville have været i stand til at træffe den korrekte beslutning og gennemføre en hensigtsmæssig handling, såfremt systemets tilstand havde været kendt for ham. Den væsentligste konklusion er således, at en afgørende faktor har været driftspersonalets vanskelighed ved at identificere arbejdssituationen i tilfælde af unormale operationer eller unormale driftstilstande.

Det lave antal tilfælde til trods er det rimeligt at trække endnu nogle karakteristiske træk frem.

I omkring en trediedel af tilfældene er det karakteristisk for uheldets udvikling, at en foreskrevet procedure ikke er fulgt. Det har på forhånd været kendt, at lidet hyppige

afvigelser fra normal arbejdsituation kan indtræde. Afvigelser, som dels er risikable, dels ikke umiddelbart opfattes af driftspersonalet.

Der er derfor foreskrevet procedurer, der tager disse i betragtning, men da disse procedurer ikke er optimale i den daglige situation, er de udsat for at blive forbedrede af driftspersonalet. Som tidligere nævnt er netop driftspersonalets evne til at lære af sine erfaringer een af årsagerne til deres tilstedeværelse, og det forekommer derfor mere frugtbart at give driftspersonalet den nødvendige information om tilstanden i anlægget end tage tilflugt til fastere administrativ kontrol med procedurene. Denne situation har været karakteristisk for de fra hot-cell anlæg rapporterede tilfælde af uheld ved håndtering af radioaktivt materiale.

For de kemiske anlægs vedkommende springer det i øjnene, at et typisk træk er, at det har været vanskeligt for den pågældende at identificere arbejdsituationen ved ikke-routine operationer i et kompliceret system af ventiler, rørledninger og beholdere. Han handler derfor forkert med uheld til følge, uheld, som han ikke har mulighed for senere i tide at korrigere, fordi han mangler nødvendig information.

For reaktortilfældene er et gennemgående træk, at anlæggene er bragt i unormal eller usikker tilstand under perioder med specielle operationer, såsom vedligeholdelse, modifikationer eller eksperimenter.

Uheldene får lov at udvikle sig, fordi kontrolrumsoperatøren ikke i den efterfølgende driftperiode identificerer anlæggets tilstand, fordi han har utilstrækkelig information, eller fordi han vurderer den fejlagtigt. Karakteristisk er, at han ikke stoler på data; der indikerer usandsynlig, men risikabel tilstand i anlægget.

Konklusionen på denne gennemgang er, at den mest kritiske funktion for en operatør er at identificere sin arbejdsopgave i tilfælde, hvor han skal udføre en ikke-routine-mæssig opgave ved et anlæg i en unormal situation, enten i forbindelse med fejl i anlægget eller i forbindelse med indkøring af nyt eller repareret anlæg. I denne situation, hvor han er under psykisk pres, skal han behandle store datamængder hurtigt og effektivt, og netop i disse situa-

tioner er den rette sammenhæng mellem datamængden og hans inputkapacitet og mellem præsentationsmåden og hans mentale model afgørende.

Den menneskelige datakapacitet

I betragtning af, at det er muligt at køre bil i København i myldretiden og at genkende et menneske mellem tusinder af andre, skulle man vente, at den menneskelige data-input kapacitet var meget høj.

Søger man at måle den menneskelige evne til at indsamle data ved at kvantisere sine sanseindtryk ved en direkte, absolut bedømmelse, finder man imidlertid en meget lav datakapacitet.

Tager man som eksempel evnen til at bedømme en visers placering på en linie, kommer man til det resultat, at det kan gøres med en nøjagtighed af ca. $1/8$ af linien. Tilsvarende forsøg med absolut bedømmelse af tonehøjde, lydstyrke, smagsindtryk viser, at man kun kan bedømme sine sanseindtryk absolut svarende til en opdeling på omkring 7 niveauer – informationsmæssigt svarende til en inputkapacitet på mellem 2 og 3 bit – en begrænsning, der synes at være indbygget i nervesystemet.

Lykkeligvis har vi en række muligheder for at omgå denne begrænsning. De væsentligste er følgende:

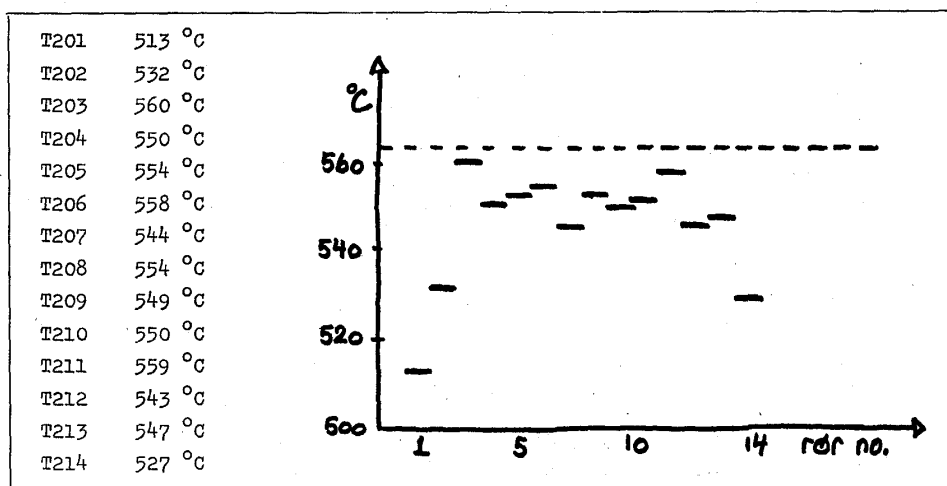
Man kan udnytte relativ bedømmelse ved at benytte referencer i sanseindtrykket – velkendt fra benyttelsen af skala på instrumenter.

En anden udvej er at udnytte flere dimensioner i sanseindtrykket samtidigt – denne mulighed sammen med den relative bedømmelse giver en del af forklaringen på, at man kan genkende ansigter og køre bil. Eksemplerne giver en indikation af de muligheder, der ligger i at gengive store informationsmængder i form af billeder eller grafiske figurer.

Endelig kan man naturligvis øge informationsmængden ved at indsamle data sekventielt, som en række observationer. Her løber man imidlertid hurtigt ind i en anden medfødt begrænsning, nemlig kapaciteten af den menneskelige korttidshukommelse – den, man møder, når det er svært at huske et telefonnummer, fra man har læst i telefonbogen, til man har drejet det på telefonen.

Beder man en person nævne hvilke ting, der ligger på

Fig. 1. Temperaturprofil vist på cifrer og analogform.



et bord, han får lov at se kortvarigt, eller gentage en række af tal, er antallet man kan huske igen omkring 7 – et tal, der ser ud til at være magisk i denne sammenhæng.

Dette medfører en naturlig tendens til, at man aflaster sin korttidshukommelse ved at behandle sine sanseindtryk enkeltvis, efterhånden som de indløber, en tendens der kan være fatal for en operatør i en kritisk situation, hvor afvigelser fra normal instrumentvisning taget enkeltvis kan svare til tidligere erfaring om dårlig kalibrering eller instrumentfejl, men hvor de i sammenhæng kan angive en risikabel drifttilstand.

Operatøren ved en kontrolpult får sin information om det system, han skal kontrollere, ikke ved direkte sanseindtryk fra systemet, men fra instrumentvisninger, og hans sanseindtryk er derfor symboler eller koder for den fysiske tilstand.

For at udnytte hans datakapacitet effektivt er det derfor væsentligt, at man udnytter den frihed, man har til at vælge kodningen, dels så han ikke præsenteres for information, der er overflødig i den pågældende situation, dels så kodningen er hensigtsmæssigt tilpasset den mentale model, han udnytter til afkodning af instrumentvisningerne.

Vi vender senere tilbage til denne tilpasning, men for at illustrere, hvad der i denne forbindelse menes med kodning, er på figur 1 vist en temperaturprofil. I cifferform indeholder den megen information, der vel i og for sig kun er nødvendig, hvis man skal sammenholde tilstanden med konstruktionsspecifikationer. Til hurtigt overblik over, om tilstanden er normal, er den uhensigtsmæssig – den simple analoge indikation giver tilstrækkelig og bekvem information til dette brug. Her er både udnyttet muligheden for relativ bedømmelse og for opfattelse af flere visninger som et mønster, og afkodningen, der ikke kræver bevidst analyse, er simpel. Ingen af delene er tilfældet med cifervisningen.

En datapræsentation, der kombinerer fordelene ved disse to former for kodning, kendes iøvrigt fra mange kontrolpulte, hvor flere profilinstrumenter anbringes, så visningerne kan ses som et mønster.

Operatørens mentale modeller

For at tilrettelægge en effektiv kodning af de præsenterede data må man kende noget til de mentale modeller af systemet, som operatøren benytter sig af i de forskellige arbejdsituationer.

Det skal her forsøges at give en illustration af, hvordan hans mentale model kan skifte karakter i forskellige arbejdsituationer. Som eksempel betragter vi en almindelig kendt situation, hvor det tekniske anlæg er en dagligdags bil og operatøren bilens fører. (Fig. 2).

I den almindelige rutinemæssige situation er førerens funktion en ubevidst kobling af det datamønster, han sanser som lydbilleder, kontakten med sædet og den synlige situation med et automatisk, trænet handlingsmønster.

Den mentale model – der næppe kan kaldes mental, da den er ubevidst – består her af information om systemets opførsel opsamlet i den daglige omgang med det – set udefra, uden nogen forbindelse med dets indre fysiske opbygning eller funktion.

Ændres datamønsteret i uvant retning, f. eks. ved kraftig støj fra maskineriet, eller ved at olievarselslampe tænder, vil han detektere dette bevidst og forsøge at identificere situationen.

Han har måske tidligere oplevet noget tilsvarende og opdaget, at indikationen forsvinder, hvis han kører mere behersket, sparker til gearstangen el. lign., og hans mentale model er her også baseret på systemets opførsel, uden at nogen viden om dets fysiske funktion og opbygning er indblandet.

Er situationen ny, kan han stadig klare sig uden viden om systemets fysiske funktion, såfremt tilfældet er forudset af bilmkonstruktøren, og denne har angivet passende forholdsregler i instruktionsbogen, f. eks. stop – og lad bilen slæbe på værksted – svarende til nødstop i industrianlæg.

Foreligger der ikke en instruks, må føreren selv vurdere situationen og danne en nødplan. Skal dette ikke gøres i blinde, må han kunne identificere den fysiske tilstand i maskineriet og forudsige konsekvensen af forskellige udveje. Han må begynde at spekulere i tandhjul og ventiler,

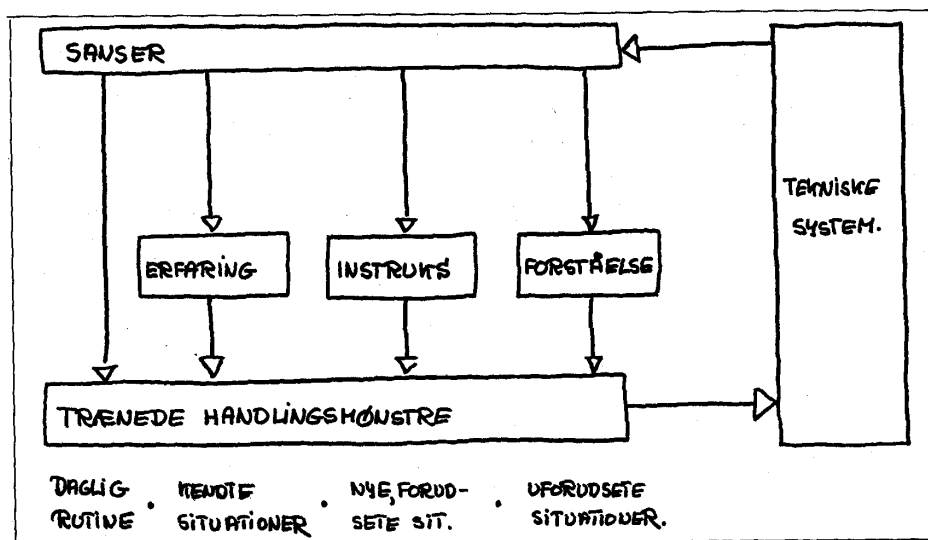


Fig. 2. Skematisk illustration af sammenhængen mellem arbejdsituation og den systemviden - »mentale model« - operatøren har til rådighed.

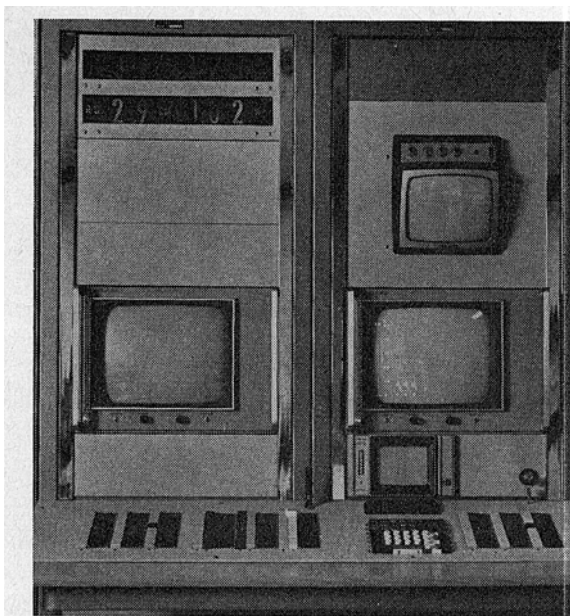


Fig. 3. Eksperimentelt, datamaskinstyret kontrolbord.

og vurdere risikoen for større skader sammenlignet med vigtigheden af det ærinde, han er ude i.

Det karakteristiske for denne sekvens er skiftet fra mentale modeller af mere abstrakt natur i form af træning og erfaring, der alene vedrører systemets opførsel set ude fra, og som er effektive i den daglige rutine; over den instruerede model, som konstruktører har tilrettelagt ud fra systemets indre, fysiske funktion, og frem til en model, som operatøren selv baserer på forståelse af den fysiske funktion.

Et andet skift er karakteristisk og afgørende for hans reaktioner. I den daglige rutine er han i en reversibel situation, hvor han kan eksperimentere og alene basere sine handlinger på sandsynligheden for heldigt udfald. Han kan eksperimentelt optimere det gennemsnitlige udbytte (økonomi, tid, fornøjelse).

I den unormale situation kan han være i en irreversibel situation, hvor det er afgørende, at han i sin hypotese om årsagen til unormaliteten tager hensyn til fejlårsager, der umiddelbart forekommer usandsynlige, men som indebærer øjeblikkelig risiko for omfattende konsekvenser.

Dette skift til brug af en mental model, der er bundet til den fysiske funktion og til en effektiv risikovurdering, ser ud til at volde vanskeligheder for operatører i unormale driftssituationer. Der kan fremdrages eksempler fra de nævnte rapporter, men mit yndlingseksempel stammer fra en helt anden kant og viser, hvor almindeligt forholdet i virkeligheden er.

Historien handler om den kendte franske astronom Lalande og indtrådte i 1795, 9 år efter opdagelsen af planeten Uranus.

Lalande var inde i en arbejdsrutine, hvor han hver aften opmålte stjernernes placering på et lille område af himlen, og samtidigt kontrollerede opmålingerne fra den foregående aften. Herved fandt han en aften en afvigelse, idet een af de målte stjerner havde skiftet position på kortet.

Da stjerner jo ikke kan flytte sig, var det kun rimeligt, at han slettede den første observation, satte spørgsmålstegn ved den nye – og lod sagen være. Havde han undersøgt sagen, ville han have fundet planeten Neptun 50 år, før det endeligt skete.

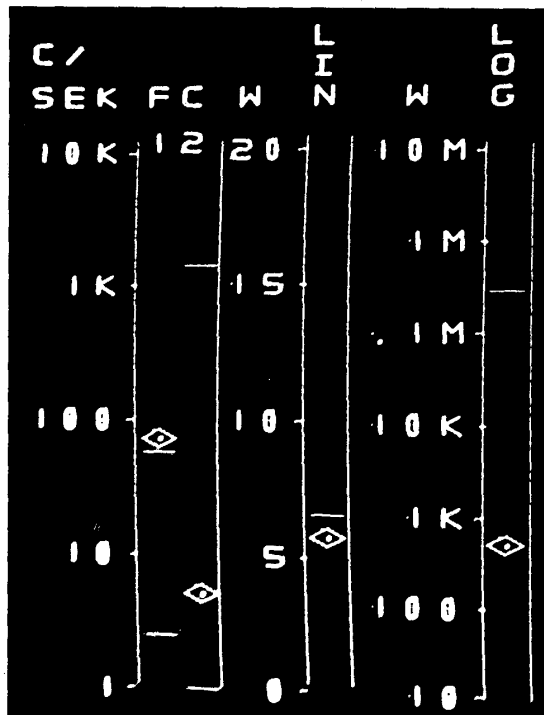
Tilfældet ligner mange operatørfejl. Lalande var inde i en rutine, hvor han ikke studerede et fysisk system, han indsamlede og afmærkede tal. Da han fandt en unormal situation, falder den fysiske forklaring ham ikke ind – og han vurderer ikke den øjeblikkelige konsekvens – usandsynlig, men stor – der ville være følgen, såfremt hans observerede data var rigtige.

Den væsentligste konklusion på denne diskussion er, at operatøren må have adgang til sæt af data, der er tilrettelagt med henblik på såvel den aktuelle arbejdsituation som det system eller delsystem, han skal betjene. Ved tilrettelægningen er væsentlige faktorer, at datamængden reduceres, så han ikke præsenteres for unødigt information, og at præsentationen hjælper ham til at finde den „mentale model“ frem, som han i den pågældende situation må have til rådighed.

Praktisk eksempel: datamaskin-styret kontrolbord

For at undersøge i praksis, hvorledes forskellige former for datapræsentation influerer på driftspersonalets effektivitet i forskellige arbejdsituationer, har vi i forbindelse med et eksperimentelt instrumenteringssystem ved Risø reaktor DR 2 opbygget et datamaskinstyret kontrolbord, hvor der er mulighed for at ændre præsentationen.

Fig. 4. Eksempel på datapræsentation. – Oversigt over visningen fra fire effektmålekanaler. – Nøjagtig visning af måledata på cifferform kan fremkaldes på billedet med lyspen.



Det er ved det eksperimentelle kontrolbord (fig. 3) forudsat, at operatøren ved et anlæg, hvor den normale drift er automatisk, ikke har brug for megen information præsenteret løbende.

Fast vises derfor kun primære driftspecifikationer, dvs. effekt og stangposition, disse vises til gengæld i cifferform, fordi de skal aflæses nøjagtigt og sammenholdes med en absolut værdi, der er meddelt vagtholdet.

Konsollen indeholder desuden to billedrør, på hvilke operatøren kan fremkalde datasæt i en form, der er vist på fig. 4, 5 og 6. Disse datasæt er tilrettelagt, så de svarer til forskellige dele af reaktorsystemet og forskellige driftsituationer. De fremkaldes ved betjening af trykknaptatur, med knap markeret i klar tekst for hvert billede, der er til rådighed.

I alarmsituationer kommer på den ene skærm automatisk et billede, der dækker det system, alarmen gælder, på den anden kommer alarmlister i sorteret form. Når alarmen er kvitteret, kan operatøren søge frit igen, men for at huske ham på stående alarmer, vil der over den ene billedskærm blive installeret lystableau, der fast viser hvilke delsystemer, der har alarmtilstand.

Den lille TV-skærm øverst på konsollen er tilsluttet et internt TV-kredsløb, så operatøren visuelt kan inspicere reaktorkernen og arbejdet i reaktorhallen. En lille datasærm nederst bruges til tilbagemelding om, hvorvidt kritiske betjeningsordrer fra operatøren til systemet er accepteret korrekt af datamaskinen.

Fig. 5. Symbolsk visning af drifttilstand i reaktorens primære kølesystem. Foruden analogvisning af temperaturen og flow er indikeret ventilers og pumpe drifttilstand.

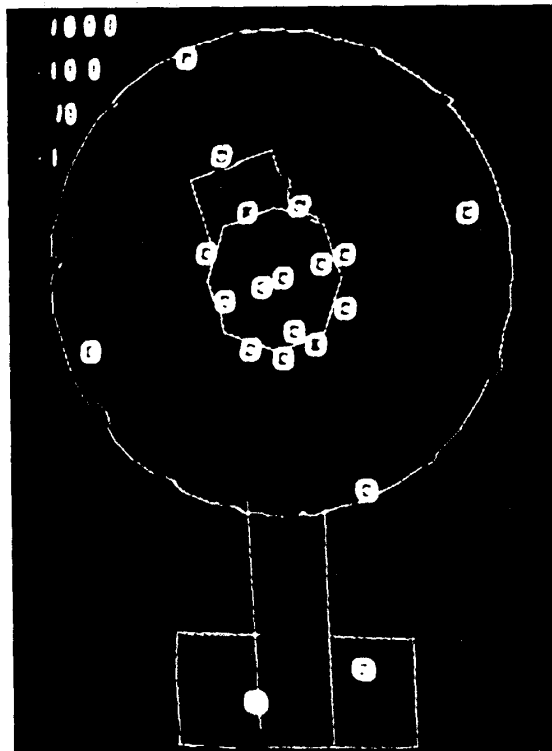
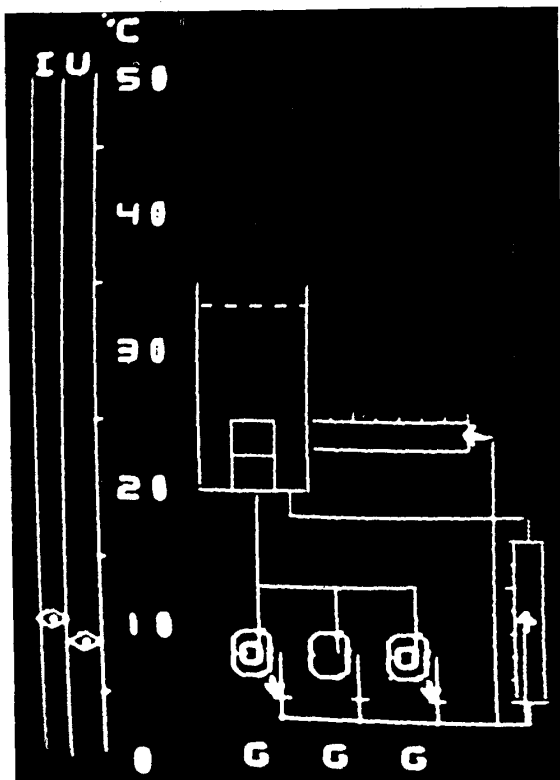


Fig. 6. Oversigt over strålingsmonitører i reaktorhal. Strålingen angives med pil ud fra monitor og kan sammenlignes med den viste skala. Strålingsalarm med cirkel om pågældende monitor.

Til de normale arbejdssituationer findes datasæt kodet som mønstre, hvor de forskellige måleværdier kan opfattes under eet.

Til brug i situationer, hvor operatøren har behov for at sætte måleværdierne i relation til den fysiske funktion i anlægget, f. eks. under unormale situationer og ved sjældent forekommende operationer, findes datasæt, hvor skematiske diagrammer af systemet er vist med angivelse af tilstand og måleværdier.

Disse billeder er specielt egnet til at give operatøren overblik, tvinge ham til at se sammenhængen mellem data. Har han brug for supplerende information, kan han kalde den frem på billedskærmene i form af nøjagtige angivelser på cifferform eller i form af kurver, der viser måleværdierne som funktion af tiden i de umiddelbart forløbne perioder (4 eller 16 minutter, 1 eller 8 timer). Disse kaldes frem ved brug af lyspen på oversigtsbilledet; derved opnås, at nøjagtige aflæsninger først kan ske, når den pågældende måleværdi er set i sin sammenhæng.

Det vil næppe være muligt at indsamle tilstrækkeligt materiale fra driften af denne eksperimentelle konsol i unormale driftsituationer til at karakterisere forskellige præsentationsmåder kvantitativt; det ligger i sagens natur, at det ikke er muligt at planlægge eksperimenter med uventede situationer i større tal. Eksperimenterne og samarbejdet med driftpersonalet vil imidlertid gøre det muligt at afgrænse problemområder og give baggrund for mere veldefinerede undersøgelser i laboratoriet, f. eks. i forbindelse med simulerede situationer. □