

RÉSULTATS ACQUIS ET TENDANCES DE LA RECHERCHE DANS L'INDUSTRIE HONGROISE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE*

Par

K. P. Kovács

(Reçu le 27 février 1969)

1. Introduction

1.1. Les recherches relatives à l'énergie électrique couvrent un large éventail de problèmes depuis la préparation des combustibles jusqu'à la distribution de l'énergie. Nous n'en citerons ici que les plus importantes:

a) combustion dans les chaudières, préparation des combustibles, façonnage du foyer, physique des flammes, corrosion aux hautes températures, etc . . . circuit eau-vapeur, traitement de l'eau, appareils pour l'adoucissement des eaux, circulation dans les tubes et ballons des chaudières, résistance en cas de charges variables, échangeurs de chaleur, condenseurs et tours de refroidissement. Mise en charge progressive, contraintes pendant l'accélération et la variation de la charge, etc . . .

b) automation, traitement numérique des informations. Transmission des données: problème des canaux. Guides opérateurs pour la répartition des charges, etc . . .

c) protection des générateurs et du réseau. Problèmes relatifs à l'exploitation et aux projets de réseaux, optimisation, recherches opérationnelles, etc . . ., calculs sur ordinateur,

d) surtensions de manoeuvre, surtensions atmosphériques, ionisation interne. Problèmes relatifs aux isolations, pollution des isolateurs et méthodes de protection, etc . . .

problèmes de court-circuit dans les transformateurs et interrupteurs. Elaboration de nouvelles méthodes de mesure, etc . . .

Naturellement, cette énumération sommaire des activités de notre Institut de Recherches Energétiques pourrait s'appliquer, à peu de différences près, à tout autre institut analogue dans n'importe quel pays du globe. Nous pensons cependant, que l'organisation de la recherche dans l'industrie de l'énergie électrique de la Hongrie et ses principaux résultats, illustrés ici par quelques exemples, méritent d'être rapportés pour une double raison. D'une part, nous avons souvent remarqué l'intérêt que les savants, ingénieurs et

* Journées scientifiques et techniques hongroises, Paris, du 25 au 29 novembre 1968

techniciens des pays plus grands ou éloignés témoignent au travail technico-scientifique d'un petit pays comme le nôtre. D'autre part, nous espérons pouvoir vous présenter quelques résultats concernant des problèmes qui sont actuellement au centre même de la recherche technique internationale.

1.2. Pour vous donner une idée de notre situation actuelle et surtout de nos possibilités futures, j'exposerai ici quelques chiffres illustrant la consommation et la production de l'énergie électrique en Hongrie, chiffres caractérisant aussi les conditions existantes dans le passé et le développement futur sur lequel nous pouvons compter dans ce domaine. Il faut dire tout d'abord qu'en Hongrie, les besoins en énergie électrique sont couverts en partie par les centrales thermiques du pays et en partie par des importations d'énergie électrique. L'énergie hydraulique est négligeable (1% env.), en raison des données géographiques du pays.

Par rapport à la dernière période de 18 ans, la consommation d'énergie électrique double en Hongrie tous les six ans, c'est-à-dire que l'augmentation est de l'ordre de 170% contre une moyenne mondiale d'un doublement en 10 ans. En 1967, la puissance installée disponible des centrales était de 2470 MW, ce qui correspond à 5350 heures d'exploitation, chiffre relativement élevé.

1.3. *L'approvisionnement en charbon de nos centrales thermiques est extrêmement variable en ce qui concerne la qualité des charbons utilisés*

Notre nouvelle centrale thermique en construction, dont la puissance totale sera 800 MW, utilisera par exemple de la lignite ayant une valeur calorifique de 1300 à 1400 cal par kg environ, et dont la teneur en cendre atteint 40% et la teneur en humidité 35% environ. Nos autres centrales brûlant du charbon pulvérisé utilisent en général des lignites de meilleure qualité et une quantité bien moindre de charbon. Etant donné les diverses qualités de charbon dont elles disposent, un certain nombre de centrales sont forcées de brûler des mélanges de charbons provenant de différentes mines, ce qui pose des problèmes de combustion difficiles à résoudre en raison des différents points d'inflammation des charbons et des différents points de fusion des cendres.

L'utilisation des hydrocarbures s'est généralisée en Hongrie comme ailleurs. Une de nos centrales en cours d'achèvement, d'une puissance totale de 800 MW, a été équipée de chaudières pour brûler des substances goudroneuses et du mazout. On construit enfin notre première centrale thermonucléaire de 800 MW comportant des réacteurs à l'eau pressurisée fonctionnant à l'eau naturelle, et dont le premier réacteur de 400 MW sera mis en service vers le milieu des années 70. Les groupes utilisés jusqu'à présent ont des puissances de 50, 100 et 150 MW, mais la mise en service d'unités de 200 MW est également prévue. Naturellement, nos centrales plus anciennes sont équipées de

turbo-alternateurs de plus faible puissance. En ce qui concerne les niveaux de tension de nos réseaux, les lignes de transport à distance sont de 400 et 220 kV; le réseau de distribution principal de 120 kV et le réseau de distribution de 35 et 20 kV. Dans les villes, les lignes souterraines fonctionnent à 30 et 10 kV.

La longueur totale des lignes de transport à distance est de 1000 km en chiffres ronds, celle du réseau de distribution principale est de 3400 km, enfin celle des réseaux de distribution de moyenne et basse tensions est de 40.000 km environ.

On voit de ce qui précède qu'outre les problèmes habituels que l'industrie de l'énergie électrique doit aussi résoudre dans d'autres pays, un peu partout dans le monde, les conditions particulières à la Hongrie en posent d'autres, se rapportant par exemple à la combustion des charbons du pays.

La Hongrie est en interconnexion avec les autres pays socialistes: la Tchécoslovaquie, la Yougoslavie, la Roumanie, la Bulgarie, la République Démocratique Allemande, la Pologne et l'Union Soviétique. Elle coopère aussi, en système isolé, avec l'Autriche. La liaison avec l'Union Soviétique est particulièrement importante, car elle permet l'importation à 220 kV et, dès l'année prochaine à 400 kV, une partie importante de la consommation totale de notre pays qui atteindra progressivement environ 15%.

2. Organisation, établissements et activités de l'Institut de Recherches Energétiques

L'Institut de Recherches Energétiques de Budapest dépend directement du Ministère de l'Industrie Lourde. L'Institut, fondé, il y a 19 ans, fonctionne depuis le 1^{er} Janvier 1968 sous forme d'une entreprise indépendante et effectue ses travaux de recherche sur une base contractuelle. 80% des contrats ont été passés par l'Electricité de Hongrie et les centrales et entreprises de distribution d'énergie qui lui appartiennent, abstraction faite des recherches à long terme, dont les thèmes ont été fixés par le ministère. Cette année, la première où l'Institut ne fonctionne plus à la charge du budget de l'Etat, mais sur la base de contrats individuels pour des recherches déterminées, est considérée comme une période expérimentale. Les 20% des contrats restants se rapportent surtout à des commandes faites par l'industrie de machines énergétiques. L'Institut reçoit les commandes de diverses usines fabriquant des chaudières et des échangeurs de chaleur, ainsi que des industries de machines électriques, de transformateurs et des appareils électriques. La structure de l'Institut est schématisée sur la figure 1. Conformément à ses domaines d'activité embrassant l'ensemble des problèmes relatifs aux centrales et au réseau électrique, l'Institut comporte six laboratoires divisés en sections scientifiques. Les travaux effectués par ces laboratoires correspondent aux diverses tâches esquissées au début de cet exposé.

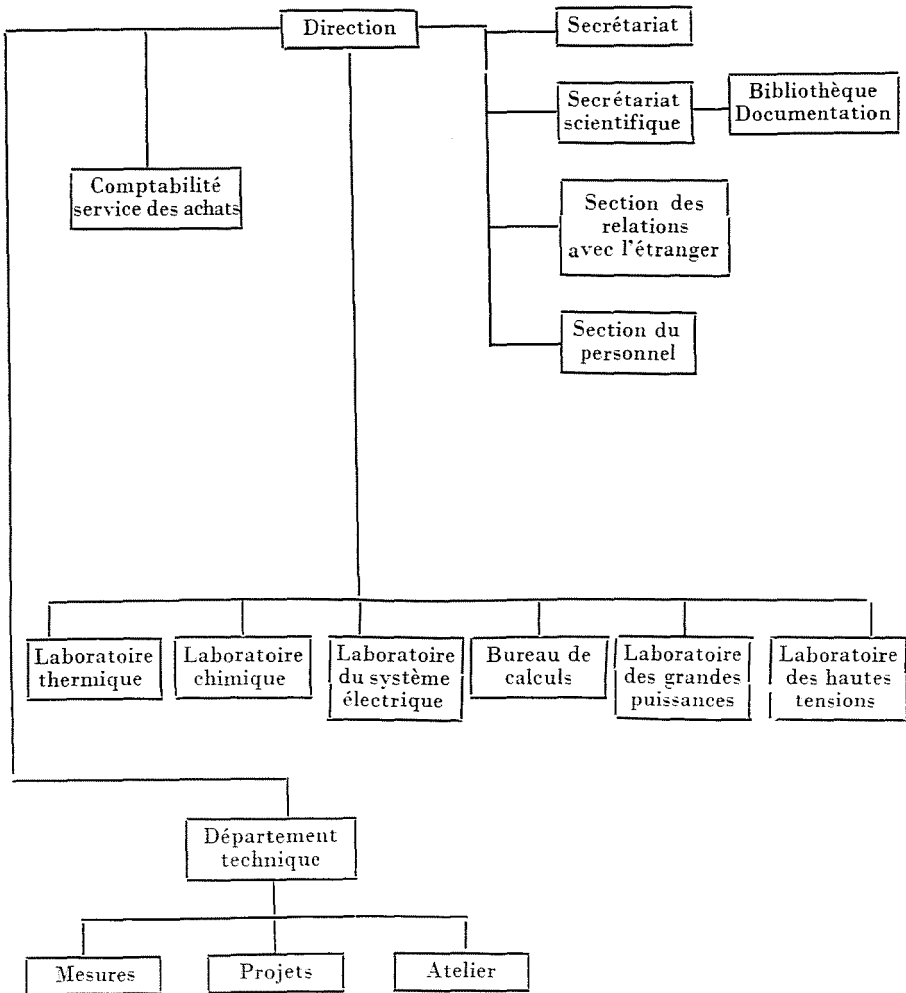


Fig. 1. Organisation de l'Institut

2.1. Le Laboratoire Thermique comprend deux sections de technique de la combustion (chauffage au charbon et à l'huile, chauffage au gaz) et une section de machines thermiques. Cette dernière étudie les échangeurs de chaleur et les problèmes de circulation dans les tubes et la sollicitation mécanique des pièces de chaudières. Ce laboratoire s'occupe, en outre des problèmes relatifs à l'embrayage non stationnaire, aux pointes de charge et à d'autres questions analogues, s'applique à résoudre des problèmes variés de dépoussié-
rage et de technique nucléaire, possède plusieurs stations expérimentales.

A 80 km environ au sud de Budapest fonctionne une station de pulvérisation, où l'étude des broyeurs de charbon de types et de capacités différentes s'effectue dans les conditions de service (température, vitesse de l'air, pression, etc . . .) .

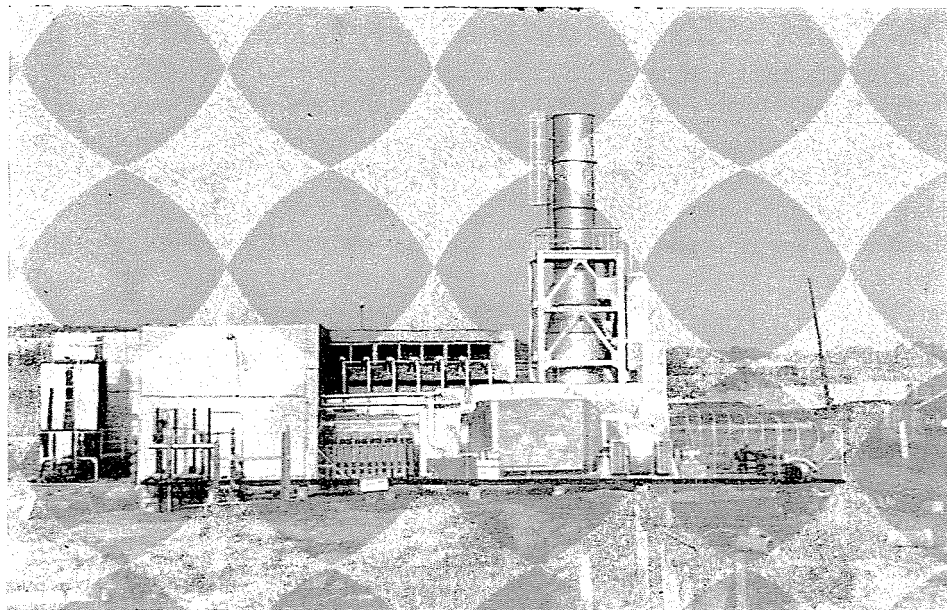


Fig. 2. Station d'essais de combustion des huiles et des gaz

A 30 km, également au sud de Budapest se trouve la station d'essais de combustion des huiles et de gaz, installée auprès de la Centrale Danubienne de 800 MW, où des études théoriques, ou ayant pour objet le développement ou le contrôle des brûleurs peuvent être faites depuis les grosses puissances de 2500 kg/h jusqu'aux brûleurs de très faible puissance. La station est équipée de foyers refroidis, comme les chaudières à vapeur utilisées dans les centrales et dans l'industrie, et dans lesquels le réchauffement de l'eau de refroidissement permet de mesurer la chaleur par zones en direction de la flamme.

La troisième station expérimentale, située à 30 km au nord de Budapest, fonctionne dans l'enceinte de la centrale de Dorog, ancienne usine ne fonctionnant plus qu'aux heures de pointe. Cette station convient à l'étude de la combustion des charbons pulvérisés et à l'examen des conditions de combustion dans les foyers. On y poursuit également des expériences à l'échelle semi-industrielle sur la combustion des charbons marchands. Le Laboratoire possède aussi des souffleries destinées à l'examen des refroidisseurs par l'air.

2.2. Le Laboratoire Chimique se divisant en sections de chimie de l'eau, de chimie du charbon et de corrosion. Le gros des travaux se rapporte ici au

développement et aux problèmes de l'application industrielle des résines et des échangeurs d'ions.

2.3. Le Laboratoire Technique du Système d'énergie électrique se consacrant aux problèmes d'exploitation et de protection des réseaux de distribution d'énergie. Il comprend deux sections d'automatisation et une section électronique, où sont poursuivies des recherches sur la protection du générateur et du réseau, ainsi que des examens relatifs aux conditions d'exploitation du réseau. L'activité des collaborateurs des sections d'automatisation consiste principalement dans la recherche, l'établissement de projets et l'exécution de prototypes d'ordinateurs numériques. Les mêmes sections travaillent aussi à la mise au point d'un appareil pour le démarrage automatique des turbines, construit à partir d'unités logiques. La section électronique développe et exécute des prototypes d'appareils de réglage, et de répartition automatique des charges, construit selon les principes les plus modernes.

2.4. Le centre de calculs est équipé d'un calculateur électronique RAZ-DAN 3 de fabrication soviétique, dont voici les principaux paramètres: mémoire à ferrite contenant 32763 caractères à 48 bits; mémoires auxiliaires à bande et tambour magnétiques avec une vitesse de calcul de 15 à 20 mille opération/sec.

La machine fonctionnant avec ruban et cartes perforés, se prête indifféremment à l'exécution de travaux scientifiques, industriels et administratifs. Conformément au caractère particulier de cette branche d'industrie, le bureau de calculs se consacre plus spécialement aux problèmes de répartition des charges et d'optimisation du réseau et effectue, en partie, le travail de traitement des informations. Plus tard, la machine exécutera des travaux de gestion automatisée des centrales, en fonctionnement autonome. Le bureau de calculs possède plusieurs programmes élaborés pour la solution des problèmes standards.

2.5. Laboratoire des Grandes Puissances alimenté par le réseau interurbain dont la puissance de court-circuit maximale est ici de 3800 MVA; l'installation actuelle permet des essais à 1300 MVA. Plus tard, la station pourra être adaptée pour des essais jusqu'à 2500 MVA ou plus. Le même laboratoire effectue des essais synthétiques et s'occupe des problèmes relatifs à la tension transitoire de rétablissement et au développement des appareillages électriques.

2.6. Laboratoire des Hautes Tensions (voir figure 7), doté, outre un certain nombre d'installations moins importantes, d'un convertisseur en cascade à trois étages, de 1,5 millions de Volts fonctionnant à la fréquence de 50 Hz et d'un générateur de choc de 2,5 millions de Volts, ayant une capacité de 100 kVsec. Parmi les travaux qui y sont poursuivis, l'étude des dispositifs de protection contre les surtensions et celle de la pollution des isolants présentent un intérêt tout spécial. Pour l'examen de la pollution des isolants, le laboratoire dispose d'une chambre à brouillard.

Le modèle réduit développé par le Laboratoire des Hautes Tensions permet la solution des problèmes de protection contre les surtensions.

L'Institut a un effectif de 480 personnes, se décomposant comme suit:

collaborateurs scientifiques	110
auxiliaires	270
personnel administratif et autres	100

3. Quelques résultats de recherches

Après avoir brièvement passé en revue les travaux réalisés ou réalisables par l'Institut, je voudrais rendre compte à présent de quelques résultats de recherches représentant un intérêt même sur le plan international.

Les exemples que je vais citer illustrent exclusivement nos recherches en chimie de l'eau, en thermique et en automatisation, les travaux des deux grands laboratoires électriques seront présentés sur film à la fin de mon exposé.

3.1. Quelques résultats de nos recherches sur le traitement des eaux des centrales thermiques et nucléaires

L'Institut s'occupe des problèmes chimiques des circuits d'eau des centrales (eau d'alimentation, eau de refroidissement, transport humide des cendres volantes). Pour ces problèmes, je citerais quelques résultats relatifs au programme de traitement des eaux d'alimentation et des eaux condensées. En étudiant les conditions d'équilibre salin dans les circuits d'eau des centrales, on a été amené à la conclusion — confirmée aussi par les résultats de nos calculs sur ordinateur — que la qualité de l'eau d'appoint servant à compenser les

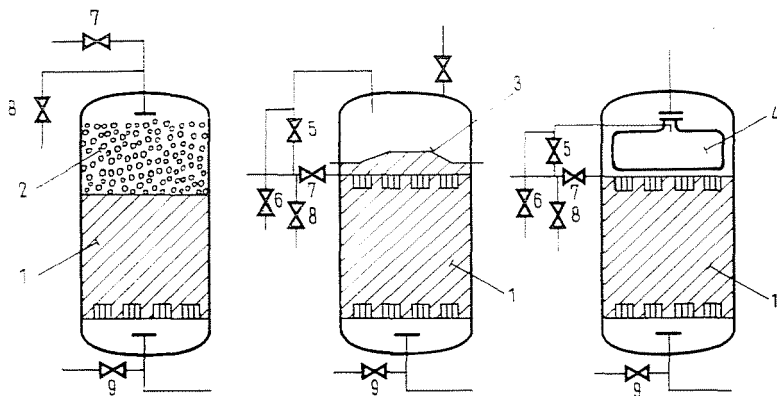


Fig. 3. Echangeurs d'ions à lits pressés élastiques

pertes doit être rendue à peu près identique à celle de la vapeur produite. Dans ce but nous avons développé plusieurs systèmes de déminéralisation par échangeurs d'ions produisant une eau de très bonne qualité, qui ont en outre l'avantage de ne nécessiter que des investissements minimes et de fonctionner à peu de frais. Les postes de déminéralisation chimique à contrecourant qui fonctionnent en Hongrie à l'heure actuelle représentent une capacité totale de plus de 1000 m³/h. La plupart des appareils sont constitués d'une colonne échangeuse de cations, une colonne échangeuse d'anions et un filtre terminal de sécurité. Les frais de régénération des résines sont identiques à ceux des systèmes à plusieurs phases. Les différentes formes d'exécution des échangeurs d'ions à lits pressés élastiques, brevetés par l'Institut, sont visibles sur la figure 3. On a aussi entrepris la fabrication d'échangeurs mixtes à cations et anions, fortement ou faiblement basiques ou acides, qui permettront d'augmenter encore la rentabilité du processus. Les systèmes de déminéralisation chimique à lits pressés élastiques ayant un plus petit nombre de colonnes et nécessitant des opérations moins nombreuses, sont susceptibles d'être automatisés d'une façon économique, avec l'application simultanée du principe de miniaturisation servant à réduire les dimensions des colonnes. Grâce aux possibilités offertes par l'automatisation, on peut aussi diminuer la quantité des résines échangeuses d'ions. Notre Institut travaillant en étroite collaboration avec le bureau d'études et l'industrie produisant ce genre d'installations, a réussi à faire adopter d'une façon générale ses échangeurs d'ions d'une conception plus moderne et d'un rendement meilleur que les appareils habituellement utilisés. Avec le concours de l'industrie produisant les résines, nous avons pu développer ainsi des échangeurs d'ions hautement compétitifs sur le plan mondial. Grâce à ces résultats complétés par nos études de rentabilité, on ne fabrique plus en Hongrie depuis de nombreuses années, d'évaporateurs pour les centrales.

Sur le plan du développement des échangeurs d'ion, notre système à lit mélangé et à régénération externe signifie un nouveau pas en avant. Dans le système universellement répandu à l'heure actuelle (figure 4), la colonne à lit mélangé se trouve complétée par trois colonnes auxiliaires. De ce fait, les opérations sont compliquées et augmentent la consommation spécifique en eau du système.

Dans le système élaboré par notre Institut (figure 5), nous avons modifié la forme de la colonne à lit mélangé. Celle-ci est formée d'un corps cylindrique dont la partie inférieure d'un certain diamètre est surmontée d'un autre cylindre de diamètre petit. On n'utilise en plus, qu'une colonne auxiliaire pour la régénération de l'échangeur d'anions. Les résines sont séparées et transportées par une pompe maintenant l'eau en circulation entre les deux colonnes. Les frais d'investissement et de consommation propre du système sont peu importants et l'automatisation de l'installation s'avère aussi très économique.

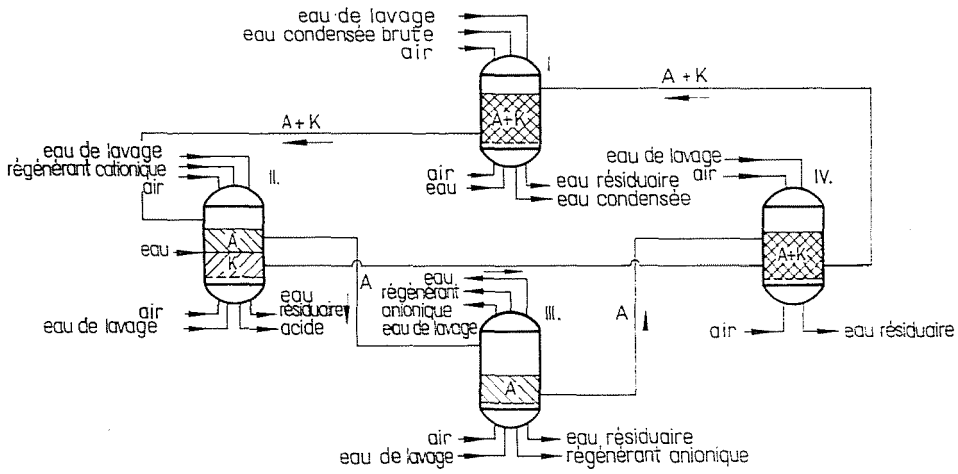


Fig. 4. Schéma de l'échangeur d'ions à lit mélangé et à régénération externe

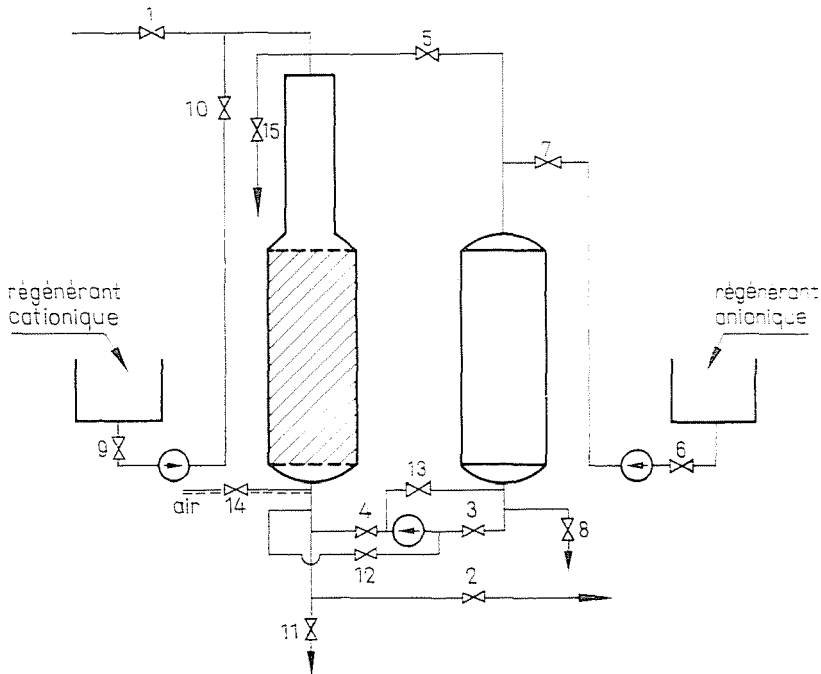


Fig. 5. Schéma de l'échangeur d'ions à lit mélangé et à régénération externe, développé à l'Institut VEIKI

Les résultats des recherches se traduisant par la forme des installations de nouveau type sont basés sur une longue suite de travaux théoriques et expérimentaux conduits d'une façon systématique. Nous avons élaboré, chemin faisant, la notion de contre-courant chimique et mis au point le système d'analyse de la rentabilité, déterminé le rôle et le mode d'élimination des impuretés colloïdales ou faiblement dissociées, mis en lumière les rapports théoriques des impuretés passant des résines dans l'eau par voie de désagrégation et de dissolution avec ceux des impuretés échappant à travers les ions, étudié la variation nécessaire de la hauteur de la couche active en fonction de la grosseur des grains de la résine, de la vitesse d'écoulement et de la température, résolu la détermination de la vitesse de réaction par des essais de colonnes, établi un système simplifié du comportement des résines dans les colonnes, basé sur la combinaison de procédés expérimentaux et de calcul, etc. . .

Par ces quelques détails, je tenais à caractériser le genre de travaux poursuivis par l'Institut dans le domaine de la chimie des centrales, travaux, qui, basés sur une étude théorique approfondie, visent l'élaboration de procédés techniques plus efficaces.

La qualité parfaite de l'eau, assurée d'une façon continue, permet l'application de quelques nouveaux principes dans l'exploitation des grands blocs. Bien que l'industrie énergétique hongroise ne construise encore que des tranches thermiques de 100 à 200 MW, une partie de notre capacité de recherche est réservée dès à présent aux problèmes des groupes de plus grande puissance et au développement de certains éléments du cycle thermique des centrales. Des thèmes de recherches à long terme dont l'étude vient d'être entreprise, nous ne citerons ici que quelques-uns parmi les plus importants.

3.2. *Application de réchauffeurs à mélange dans les blocs de grande puissance*

Le remplacement des réchauffeurs à surface par des réchauffeurs à mélange se justifie par des raisons de perfectionnement du cycle thermique. En effet, le réchauffage plus favorable du point de vue thermique diminue la consommation de chaleur, ce qui signifie qu'avec une quantité de vapeur identique, le rendement augmente. Un autre avantage du réchauffeur à mélange est ce qu'il remplit également le rôle d'un dégazeur thermique, de sorte que plusieurs réchauffeurs à mélange fonctionnent en dégazeurs à plusieurs étages.

Un aspect non négligeable est enfin l'élimination des surfaces de chauffe en cuivre, grâce à laquelle la concentration en oxydes métalliques peut être maintenue à un faible niveau, ce qui est important surtout pour les chaudières à circulation forcée. Nos recherches préliminaires ont montré qu'en utilisant, dans un bloc de 200 MV, un réchauffeur à mélange basse pression de quatre étages au lieu du réchauffeur à surface de deux étages précédemment employé,

on peut réaliser une économie annuelle de 2 million de forints, équivalant à 350.000 francs français. Il y a en effet une augmentation de puissance de 800 kW, en même temps la consommation de chaleur de 2300 kcal/kWh accuse une diminution de l'ordre de 9,2 kcal/kWh.

Naturellement, l'application des réchauffeurs à mélange soulève certains problèmes, dont les travaux de recherche récemment entrepris s'efforcent précisément d'en trouver les solutions.

Dans le même domaine, le pas suivant consiste à étudier l'application des réchauffeurs à mélange haute pression, qui pose un problème autrement plus important du point de vue du réglage. Pour le moment, on prévoit des recherches théoriques sur l'application de réchauffeurs à mélange, moyenne pression à la place des réchauffeurs à surface haute pression actuellement utilisés.

L'examen des contraintes se produisant au cours des processus de mise en route, d'arrêt et de réglage important des différents blocs des centrales présente également un grand intérêt.

3.3. *Recherches relatives au régime d'exploitation non stationnaire*

Depuis une vingtaine d'années, les spécialistes sont toujours plus attentifs aux problèmes des contraintes produites, sous l'influence du régime non stationnaire, dans les éléments de construction sous pression des centrales. Au fur et à mesure de la mise en service de nouvelles usines de production d'énergie travaillant avec des paramètres modernes, les anciennes centrales ayant fonctionné autrefois comme usines de base sont de plus en plus forcées de travailler en régime discontinu pendant les heures de pointe. Or, en comparaison des sollicitations statiques auxquelles se trouvaient précédemment soumis les éléments de construction de ces centrales, le régime discontinu provoque des sollicitations variables de petite fréquence. Sous l'effet de ces sollicitations variables les éléments de construction peuvent présenter de fréquents défauts et avaries, dont la littérature internationale nous rapporte des exemples bien nombreux.

Une partie importante de notre activité a été consacrée aux recherches nécessaires pour élaborer les prescriptions relatives au régime non stationnaire. Nous avons fait et continuons à faire ces recherches pour les centrales nouvelles entrant en service ainsi que pour les anciennes centrales travaillant pendant les périodes de pointe. Au cours du travail, nous avons élaboré la méthode de détermination, par calcul électronique, des vitesses de variation admissibles de la température pour les différents éléments de construction. D'autre part, les avaries des ballons de chaudières, constatées dans le monde entier au cours de la dernière décade, nous ont amenés à effectuer des recherches spéciales. Nous avons examiné dans quelle mesure la brusque chute de pression accompagné de la rupture de tubes augmente la contrainte dans le ballon et les collecteurs à paroi épaisse. Nous avons déterminé l'effet, du point de vue de la

contrainte du ballon, des différences de températures qui se produisent entre la partie supérieure et le fond du ballon au moment de la mise en route. Nous avons aussi élaboré par le procédé d'optimisation une nouvelle formule de dimensionnement des ballons de chaudières, en tenant compte des différentes contraintes: pression intérieure, contrainte de flexion additionnelle, due à l'inégalité des dimensions, contrainte thermique. Dans ce procédé tenant compte des derniers résultats de la recherche, le dimensionnement est basé sur la sollicitation dynamique. Dans les ballons dimensionnés suivant ce procédé, on peut admettre une vitesse de variation maxima des températures pour la limite de contraintes permise. Les travaux qui viennent d'être mentionnés ont été déjà publiés dans la littérature (VGB-Mitteilungen, BWK).

Les problèmes relatifs aux avaries des ballons de chaudières nous ont amenés à effectuer un essai de fissuration, qui devait nous renseigner sur les contraintes dues à la pression intérieure et les maxima de contraintes apparaissant au bord des trous.

3.4. *Essai de fissuration d'un ballon fait en matière spéciale CuNi 52*

Depuis une dizaine d'années, on a constaté dans plusieurs pays la fissuration des ballons de chaudières à circulation naturelle de grande puissance. De la littérature aussi bien que des communications personnelles, nous savons que ce genre d'avarie a été observé également en Union Soviétique. En Hongrie, 3 ballons de chaudières en alliage CuNi ont présenté des fissures partant des tubulures, un an resp. un an et demi après la mise en service. Etant donné que 8 ballons faits du même alliage fonctionnent dans la centrale en question et dans quelques autres établissements industriels, il a été d'une importance capitale de découvrir les causes de cette fissuration. Ce premier point élucidé, il fallait aussi savoir si les ballons allaient ou non présenter une sécurité suffisante après le rechargement des fissures.

Pour pouvoir répondre à ces questions, nous avons effectué un essai en utilisant un ballon de chaudière hors d'usage. Nous avons procédé d'abord à la réparation des fissures par soudage, et appliqué ensuite, aux bords de certaines ouvertures désignées à l'avance et en d'autres endroits, des jauges de contrainte servant à déterminer les concentrations de contraintes apparaissant aux endroits mesurés. Préalablement, les contours du ballon en essai ont été palpés par un instrument approprié, pour déterminer ses écarts par rapport à la forme circulaire. Sur la base du profil ainsi relevé, nous avons pu déterminer, à l'aide d'un programme élaboré pour calculateur, les contraintes de flexion additionnelles dues aux différences de dimension. Par la suite, la grandeur de ces contraintes de flexion a été mesurée aussi par des jauges de contraintes, de sorte qu'on pouvait confronter les valeurs théoriques avec celles obtenues par mesures.

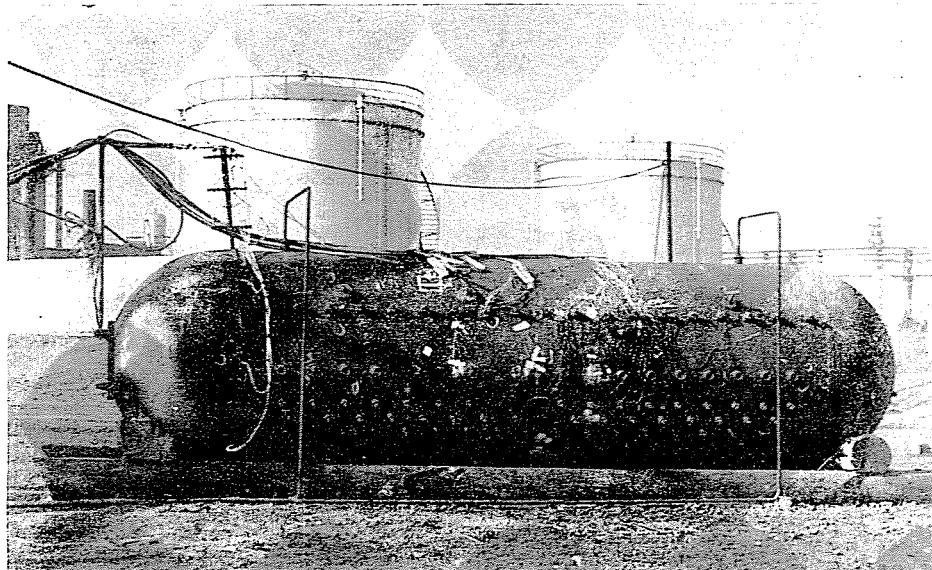


Fig. 6. Ballon de chaudière préparé pour l'essai de fissuration

Après la préparation nécessaire, nous avons soumis le ballon à une épreuve par pression d'eau et enregistré les valeurs d'allongement correspondant aux différents degrés de pression.

La pression intérieure a été augmentée jusqu'à fissuration du ballon. La figure 8 montre le moment de la fissuration. D'une façon imprévue, la fissure s'est amorcée à partir du fond du ballon et le fond, cassé en deux, s'est détaché suivant le joint circulaire. La figure 9 représente une partie de la surface de rupture, la figure 10 montre la partie éclatée du fond.

La fissuration a eu lieu à la pression de 420 at. La pression nominale du ballon a été de 132 at. abs., l'épaisseur de sa paroi 75 mm, et son diamètre 1500 mm. La fissure partait du voisinage du trou d'homme. L'essai apportait dans son ensemble des résultats intéressants.

D'après nos considérations préalables, on pouvait s'attendre à voir s'amorcer des fissures en deux endroits. L'un était la série de trous située au voisinage du plus grand écart de dimensions, où la concentration des contraintes était la plus forte. L'autre endroit, prévu avec quasi certitude, était la série de trous dont les fissures considérables apparues pendant le service avaient été rechargées par soudage. L'expérience d'autres essais analogues nous laissait également supposer que le «point faible» du ballon serait à chercher au voisinage des rechargements. Voilà pourquoi on a été surpris de voir la fissure partir du fond du ballon.

En confrontant les résultats de l'essai de fissuration avec ceux d'examen faits sur un ballon de chaudière identique en service, nous avons pu constater

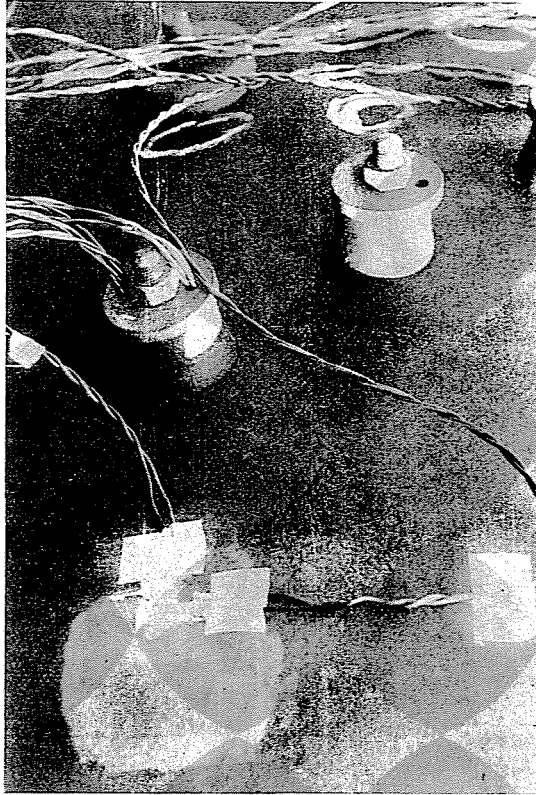


Fig. 7. Jauge de contrainte

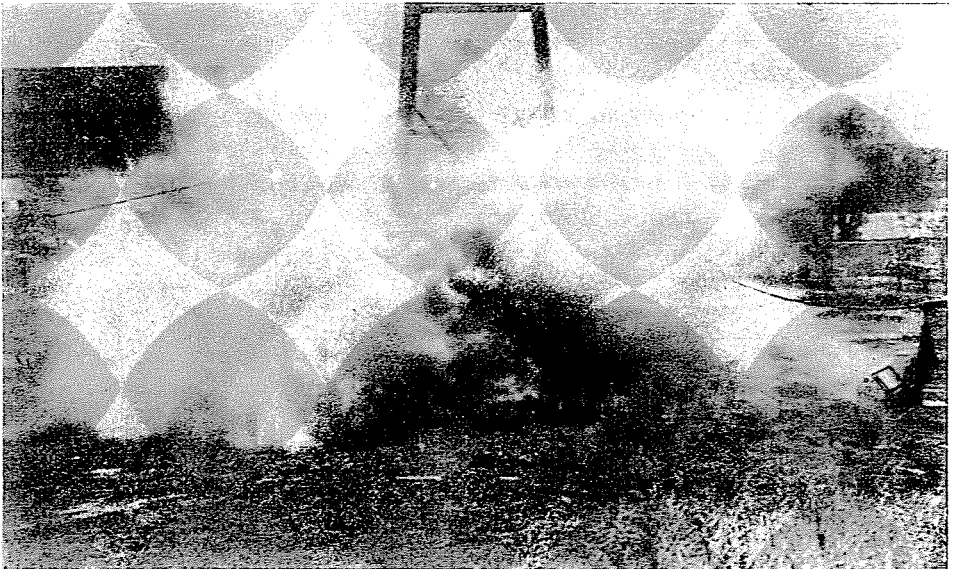


Fig. 8. Le moment de la fissuration

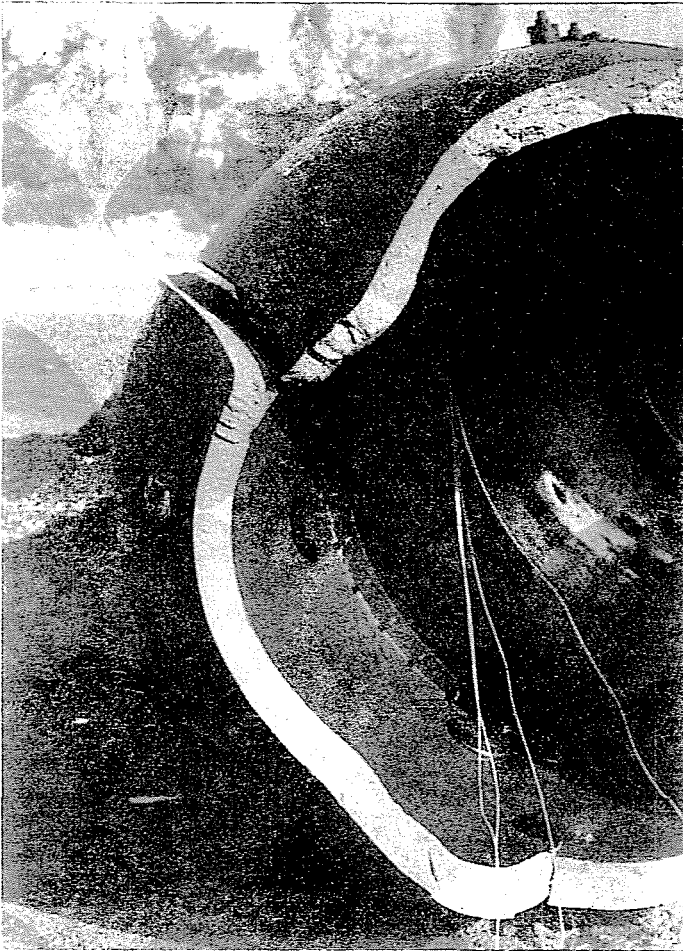


Fig. 9. La surface de rupture

qu'au cours des mises en route, une différence de température considérable, de signe variable, apparaît entre le corps des tubulures d'alimentation et les parties avoisinantes de la matière. La contrainte due à la pression intérieure — et dont l'existence a été démontrée au cours de l'essai — jointe à la contrainte thermique additionnelle, provoque une déformation plastique de direction variable, qui aboutit à la fissuration même dans le cas d'un nombre de cycles peu élevé. En modifiant convenablement la construction de la tubulure, nous avons pu réduire l'oscillation des contraintes à une valeur admissible.

D'après d'autres résultats de l'essai, les contraintes de flexion calculés théoriquement sur la base des mesures de contours de la section montrent une très bonne concordance avec les valeurs obtenues par la mesure des allongements. L'intérêt pratique de ce fait consiste à pouvoir calculer à l'avance les

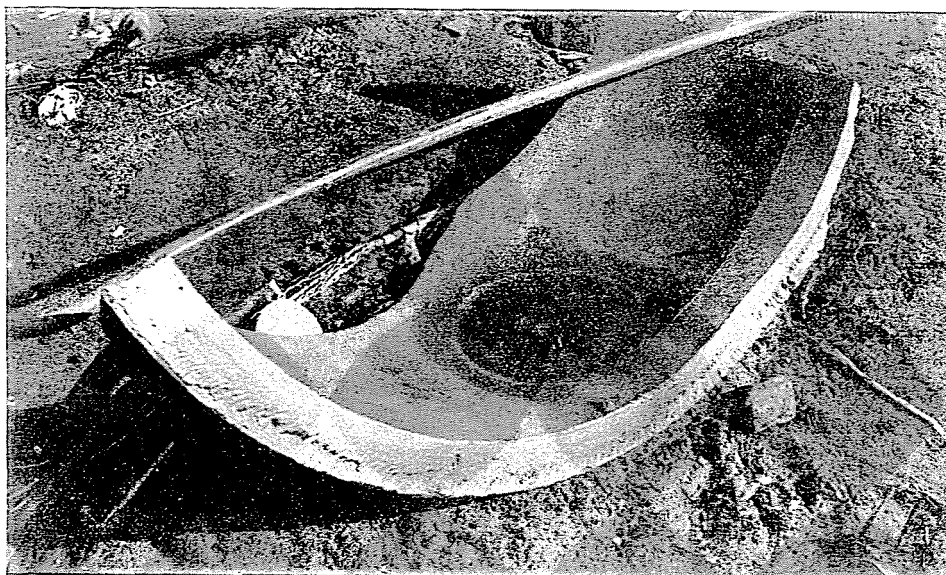


Fig. 10. Fragments du fond de ballon

maxima des contraintes apparaissant au voisinage des trous, ce qui permet de prescrire exactement la vitesse de l'élévation de la température au moment de la mise en marche. D'autres résultats ont montré qu'il existe une corrélation entre le coefficient de concentration des contraintes, le coefficient d'affaiblissement utilisé dans le calcul et la déformation plastique. Le coefficient d'affaiblissement adopté dans les calculs ne suffit pas à garantir, par lui-même, que l'allongement plastique des bords des trous ne dépassera pas la valeur prescrite. D'après nos examens on peut prescrire, pour le coefficient d'affaiblissement, une valeur limite supérieure au voisinage des tubulures soudées.

L'essai avait aussi un résultat pratique servant d'avertissement sérieux: les fragments du fond, lourds de plusieurs quintaux, qui s'étaient détachés du ballon au moment de la rupture, étaient projetés à grande vitesse dans une direction imprévue (celle de l'axe du ballon), au milieu des observateurs placés à 25—30 mètres de distance. Heureusement, il ne s'est produit aucun accident à cette occasion. S'il y a néanmoins une conclusion à en tirer, c'est que, semblablement à l'essai de survitesse des grosses pièces rotatives, les essais de fissuration des ballons de chaudières doivent être exécutés dans des abris fermés de tous côtés et assurant une protection suffisante aux observateurs.

3.5. Développement de la tour de refroidissement système Heller-Forgó

Notre Institut de Recherches Energétiques a réservé une partie importante, de son activité de recherche, à l'élaboration du système de condensation par

l'air qui résout, comme on sait, des problèmes relatifs au condenseur à mélange et à la tour de refroidissement à circuit hydraulique fermé. Les travaux de perfectionnement réalisés au cours de ces dernières années ont apporté quelques résultats importants.

On vient de terminer l'essai sur modèle réduit de l'effet du vent, à l'issue duquel nous avons pu constater, entre autres, l'avantage qu'il y a à placer le bâtiment de la centrale au voisinage de la tour — dans la direction principale du vent — car on améliore ainsi notablement les conditions de circulation d'air de la tour.

Afin de pouvoir régler la quantité d'air circulant à travers la tour et pour parer au danger de gel, les éléments réfrigérants ont reçu un revêtement à volets, dont l'application a nécessité divers essais (mesure de la résistance à l'air, mouvement hydraulique des volets, etc. . .) effectués par notre Institut. Grâce à ceux-ci, on peut déterminer les conditions de service économiques pendant les périodes d'été et d'hiver.

Nous avons fait aussi des mesures comparatives sur des modèles d'éléments en vue de l'amélioration de la transmission de chaleur. Parmi les refroidisseurs exécutés avec différentes dispositions des ailettes et des tubes, nous avons choisi ceux assurant la meilleure transmission de chaleur.

A côté de ces recherches thermiques, nous avons aussi procédé à l'analyse économique des différents éléments des refroidisseurs.

Dernièrement, nous avons élaboré une méthode de programmation tenant compte de la hauteur et du diamètre de la tour, du nombre des éléments refroidisseurs et de certaines dimensions géométriques, en vue du calcul d'optimisation de la tour.

On sait que la création de blocs de très grande puissance (de 1000 MW par exemple) pose des problèmes quasi insurmontables en raison des grandes dimensions de la partie basse pression du cycle eau-vapeur. C'est à cette difficulté que permet de remédier la conception du dr. László Heller, selon laquelle le cycle doit être combiné dans sa partie à basse pression avec de la vapeur froide. Le travail expérimental nécessaire pour développer et mettre en pratique cette conception se poursuit en partie dans notre Institut.

3.6. Échangeur thermique évaporateur d'un bloc de centrale à cycle combiné avec la vapeur froide

Une des possibilités évidentes de la réalisation de blocs de grande puissance consiste donc dans la combinaison du cycle eau-vapeur et d'un cycle à vapeur froide.

On sait que le cycle combiné avec la vapeur froide comporte les avantages suivantes:

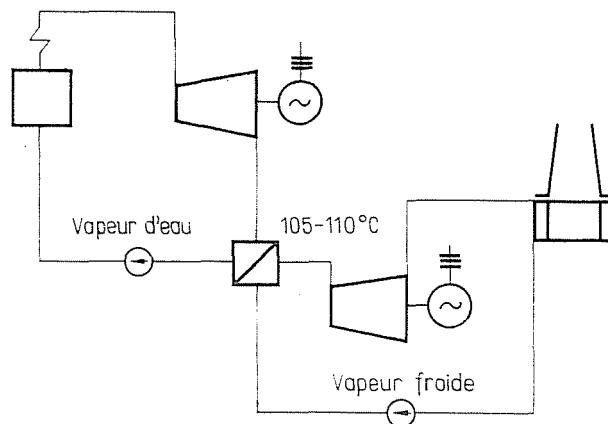


Fig. 11. Schéma de principe du cycle combiné à vapeur froide

- on peut supprimer la partie basse pression du cycle eau-vapeur, qui constitue le principal obstacle à l'augmentation de la puissance en raison des dimensions irréalisables de l'installation;
- on élimine la menace de gel, car il est possible, grâce à l'expansion, de suivre avec sécurité la variation des températures jusqu'au-dessous de 0°C . Dans les régions où la valeur moyenne annuelle des températures est peu élevée et les températures très faibles sont fréquentes, le rendement thermique du cycle peut donc être sûrement amélioré.

La réalisation de blocs de grande puissance combinés avec un cycle à vapeur froide crée de nombreux nouveaux domaines pour la recherche. Un de ceux-ci est l'étude des processus de transport et d'écoulement de la chaleur qui se déroulent dans les échangeurs thermiques évaporateurs de grande puissance. Notre Institut a déjà accompli les premiers pas dans ce domaine. On commencera, au cours des prochaines semaines, une série d'essais appelés à déterminer le coefficient de transmission de la chaleur d'ébullition en cas d'un agent à ammoniacque sous très haute pression (70 à 100 at. abs.). Les données obtenues — qui intéresseront certainement les techniciens d'autres pays en raison de leur caractère de nouveauté — serviront ensuite de base au calcul de l'échangeur évaporateur.

Les résultats de recherches faites pendant les états non stationnaires des blocs de centrales peuvent être utilisés aussi pour la réalisation d'un appareil de démarrage automatique des turbines, puisqu'ils nous permettent de connaître les facteurs de limitation qui déterminent les vitesses d'embrayage permises.

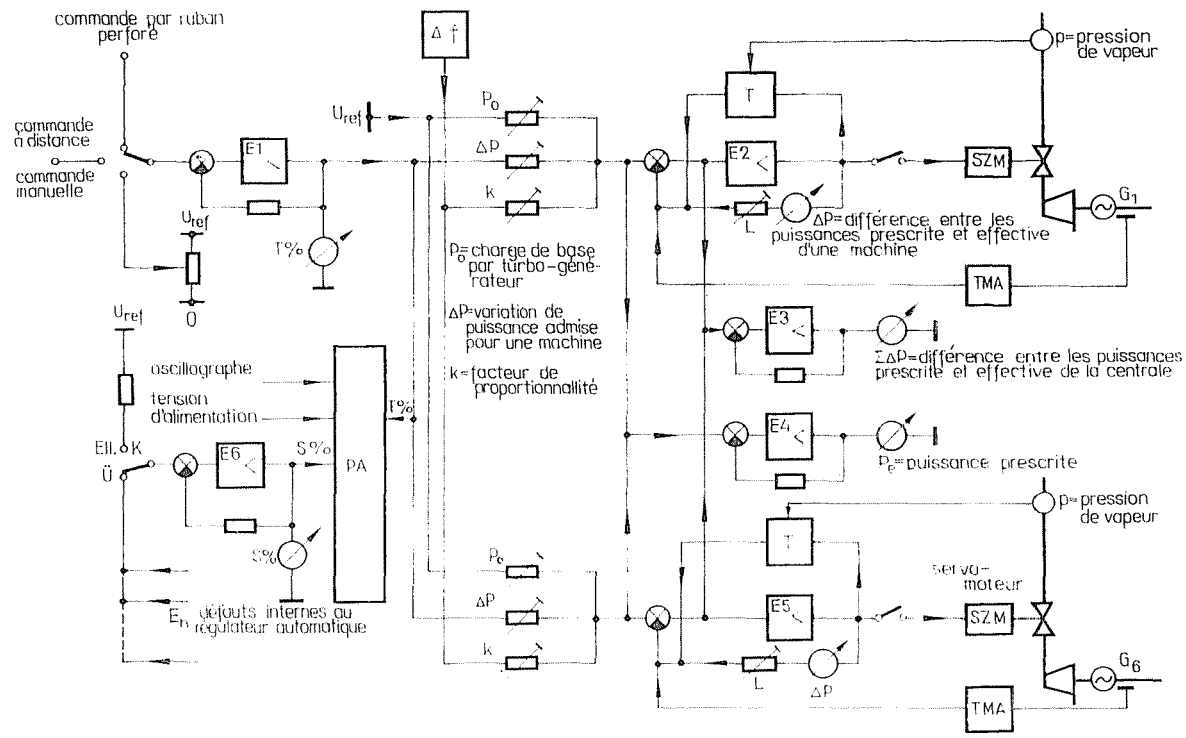


Fig. 12. Schéma synoptique du système automatique de réglage et de répartition des puissances ETA

Nos installations assurant la répartition automatique des charges entre les turbines, resp. les blocs, ont fait leur preuve durant une période déjà assez longue de leur fonctionnement dans plusieurs de nos centrales. La répartition peut se faire selon différents principes, être proportionnelle ou viser le plus haut rendement, la plus faible augmentation des dépenses, etc . . .

Dans ce qui suit, nous donnons la description d'une installation automatique développée par notre Institut, qui assure la répartition proportionnelle des charges.

3.7. Installation pour le réglage automatique des puissances dans les centrales

La direction rapide et sûre de la production d'énergie électrique dans les centrales est d'une grande importance, surtout lorsqu'il s'agit de réseaux fonctionnant en interconnexion.

C'est pour répondre à ce besoin que la section électronique a développé une série d'installations automatiques pour le réglage et la répartition des puissances, dont la première connue sous le nom ETA constitue aussi le type fondamental. Grâce au circuit fondamental (amplificateurs opérationnels, modulateurs magnétiques, relais de puissance basés sur l'effet de Hall, relais temporisés, relais avertisseurs, etc . . .) élaborés en vue de la construction de l'installation, celle-ci est facilement adaptable à des centrales de constructions diverses et se prête à de nouveaux développements de leur système de réglage.

L'installation a été mise à l'essai dans la centrale à jeu de barres représentée sur notre schéma. Dans de telles centrales, il n'y a plus d'intérêt à répartir les charges supplémentaires entre les turbines suivant les courbes des dépenses. L'installation peut donc répartir d'une façon linéaire la puissance imposée à la centrale, dans des proportions variables à volonté.

L'installation peut assurer simultanément le réglage des puissances de six générateurs. La commande du régulateur peut s'effectuer de trois manières différentes: par commande à distance, par commande à bande perforée, et par commande manuelle. Dans le mode d'exploitation le plus courant la commande suivant les coefficients de charge, le signal de commande n'influe sur la puissance que dans les unités participant au réglage. Si le signal de commande est à zéro, les générateurs fonctionnent à la charge de base choisie P_0 , tandis qu'en cas de signal de commande maxima, ils réalisent la valeur $P_0 + \Delta P$. Le pourcentage utilisé du domaine de réglage de chaque unité est indiqué par un instrument placé à la sortie de l'amplificateur opérationnel recevant le signal de commande.

On peut régler, pour chaque machine, la valeur du facteur de proportionnalité k servant à compenser les écarts de la fréquence par rapport à la valeur nominale ($k \cdot \Delta f$).

Le signal proportionnel à la puissance ainsi répartie entre les unités de machines passe ensuite à l'entrée des amplificateurs des servo-mécanismes.

Par rapport aux autres amplificateurs opérationnels utilisés dans l'installation, ceux-ci présentent la différence que leur sortie est un étage de puissance finale, capable d'entraîner les servo-moteurs montés sur les turbines.

La vitesse de réglage de ces dernières (MW/min/sec) est variable entre de larges limites dans le circuit de réaction négatif des amplificateurs. La puissance effective des générateurs est mesurée avec une grande exactitude à double système de mesure, basé sur l'effet de Hall. Le signal proportionnel à la puissance est ramené au point de sommation de l'amplificateur opérationnel.

Le fonctionnement de l'amplificateur de servo-mécanismes peut être bloqué en fonction de la pression de vapeur de sorte qu'il n'exécute pas, par exemple, des ordres relatifs à l'augmentation de la puissance si la pression de vapeur est inférieure à celle admise. L'instrument placé dans la réaction négative de l'amplificateur peut être étalonné pour la différence entre les puissances commandées et réelles (ΔP). Il signale instantanément la direction et la grandeur de la variation de puissance nécessaire et indique de même le fonctionnement normal (à une vitesse donnée, la différence doit tendre vers zéro).

Le signal, proportionnel à la puissance mesurée de chaque machine, arrive à un amplificateur de sommation, dont le signal de sortie correspond à la puissance totale. Les différences entre les amplificateurs de servo-mécanismes sont totalisées, par un autre amplificateur de sommation, dont le signal de sortie est proportionnel à la différence entre les puissances commandées et réelles ($\epsilon \Delta P$) de la centrale. C'est un bon avertissement pour la chaufferie, sur la direction et la grandeur des variations de puissance à prévoir.

Par des quelques exemples, j'ai tenté de rendre compte, ou plutôt de donner une idée de la nature et des résultats de travail expérimental poursuivi dans notre Institut.

Il faut ajouter qu'à part ce travail, d'autres recherches de moindre portée ou souvent d'un intérêt local sont faites dans les centrales et les usines de distribution, dont les résultats sont utilisés par les entreprises intéressées elles-mêmes.

En terminant, je tiens à rappeler que les travaux effectués dans nos deux grands laboratoires électrotechniques ont été omis à dessin de mon exposé, parce que je m'en occuperai dans une autre conférence.

Dr. K. Pál Kovács Prof. h. c. de l'Université Technique, Budapest V., Zrínyi
u. 1. Hongrie