Amélioration du rendement des centrales thermiques par l'application du cycle mixte gaz-vapeur avec générateurs à pistons libres

Autor(en): **Horgen, H. / Szereszewski, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **76 (1958)**

Heft 43

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-64069

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Amélioration du rendement des centrales thermiques par l'application du cycle mixte gaz-vapeur avec générateurs à pistons libres

Par **H. Horgen,** Ing.-Dr., et **P. Szereszewski,** Rueil-Malmaison, S.-et-O., France

DK 621.512:621.311.22

I. Introduction

De nombreuses études ont été publiées ces temps derniers sur l'association du cycle des turbines à gaz à celui des turbines à vapeur. Quelques installations sont, depuis plusieurs années, en cours de réalisation ou d'exploitation industrielle. Une installation à turbine à gaz, qu'elle soit du type à compresseur rotatif, ou du type à générateurs à pistons libres, décrits dans un mémoire présenté au 5ème Congrès Mondial de l'Energie [1] *, produit non seulement de l'énergie électrique aux bornes d'un alternateur mais aussi des gaz chauds, riches en oxygène, pouvant servir utilement d'air comburant dans des chaudières à vapeur. Les avantages essentiels d'un cycle combiné gaz-vapeur sont:

— augmentation de la puissance installée. Un groupe de 115 MW à vapeur associé à un groupe de 43 MW à gaz donne une puissance globale de 172 MW, soit un gain de 14 MW.
— augmentation du rendement global. En combinant une installation à vapeur ayant un rendement global net à la sortie de la centrale de 38,7 % avec un groupe à générateurs à pistons libres dont le rendement net est de 34 %, on obtient pour l'ensemble un rendement net de 43,0 %. La consommation spécifique de l'installation vapeur se trouve donc améliorée de 10 %.
— souplesse de marche et amélioration des consommations aux charges réduites.

Le cycle combiné gaz-vapeur peut être utilisé, soit uniquement pour la production d'énergie électrique, soit pour la production simultanée d'énergie électrique et de vapeur de chauffage. La deuxième solution intéresse, d'une part, les industries où certains stades de la fabrication nécessitent des séchages et des chauffages divers et, d'autre part, les centrales de production d'énergie électrique devant aussi assurer un chauffage urbain à grande échelle. Dans ce qui suit, nous examinerons ces deux types d'application en insistant en particulier sur le cas où le cycle à gaz est du type à générateurs à pistons libres.

II. Production d'énergie

1. Modes d'application

De nombreuses propositions ont été faites sur le mode d'association d'une installation à gaz à une installation à vapeur. Il est certain que dans chaque cas le choix dépend des conditions spéciales de fonctionnement et des conditions économiques locales: prix de revient de l'installation, prix du combustible, rapport entre les prix des combustibles solide, liquide (fuel lourd) et gazeux. Les principales installations étudiées dans la littérature technique peuvent être groupées en:

— installations avec chaudière suralimentée, placée en amont de la turbine à gaz.
— installations avec chaudière normale, à pression atmosphérique, placée en aval de la turbine à gaz.
— installations où les gaz, avant d'entrer dans la turbine à gaz, servent à resurchauffer le cycle vapeur.

Dans la première solution, les gaz chauds sous pression servent d'abord d'air comburant dans la chaudière et se détendent ensuite dans la turbine à gaz (voir figure 1a). Cette solution présente l'avantage de réduire les dimensions de la chaudière et de procurer un rendement global élevé. Elle exclut, par contre, dans l'état actuel de la technique, l'emploi du combustible solide par suite du danger d'érosion sur l'aubage de la turbine.

* Les chiffres entre parenthèses désignent les références de la bibliographie se trouvant à la fin du mémoire.

Dans la deuxième solution, les gaz sous pression se détendent d'abord dans la turbine et entrent ensuite dans la chaudière pour y assurer la combustion (voir figure 1c). La chaudière atmosphérique est plus encombrante; le rendement global est moins élevé, mais il est possible de brûler dans la chaudière du charbon pulvérisé.

La troisième solution, étudiée simultanément par plusieurs auteurs, a été communiquée au 5me Congrès Mondial de l'Energie par le Dr. Foit [2]. Elle s'applique aux centrales à vapeur à resurchauffe et consiste à faire passer les gaz chauds sous pression dans un resurchauffeur indépendant, de dimensions réduites, placé à proximité de la turbine moyenne-pression du groupe vapeur. En plus de la réduction du volume du resurchauffeur, cette solution a l'avantage de réduire les pertes de charge dans les tuyauteries moyenne-pression qui deviennent très courtes. Ceci permet aussi d'abaisser la pression de la resurchauffe et d'améliorer ainsi le rendement global du cycle vapeur.

2. Choix du cycle à vapeur

Le cycle combiné gaz-vapeur peut s'appliquer aussi bien à des installations nouvelles qu'à des installations à vapeur existantes. Dans la plupart des installations de ce dernier type, l'adjonction d'une turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres permet d'augmenter la puissance globale de l'ensemble, d'une part, grâce à l'apport de la puissance produite par la turbine à gaz, d'autre part, par suite du remplacement d'un certain nombre de soutirages de vapeur par des «calories» venant du cycle à gaz. Le rendement global de l'ensemble ainsi obtenu est toujours supérieur à la moyenne pondérée des rendements de chacun des deux groupes. Si le rendement de l'installation à vapeur existante est relativement bas, le rendement global risque d'être inférieur au rendement propre du cycle à turbine à gaz. On sait, en effet, que le rendement net d'une turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres, compte tenu de la consommation des auxiliaires, dépasse 34 %.

Dans les installations nouvelles le rendement d'un cycle combiné gaz-vapeur dépend de la nature du cycle à vapeur (avec ou sans resurchauffe), des caractéristiques (pression et température) de la vapeur vive et du mode d'application employé pour associer le groupe à vapeur au groupe à gaz.

Le tableau 1 fait ressortir l'influence des caractéristiques du cycle vapeur sur les performances de l'ensemble. Les rendements indiqués dans le tableau sont rapportés au pouvoir calorifique inférieur du combustible, mais tiennent compte du rendement de la chaudière et de la consommation des auxiliaires.

Tableau 1. Rendements de groupes combinés avec générateurs à pistons libres

Chaudière		en amont		en aval
Température des gaz entrée turbine	° C	550	550	550
Pression vapeur	kg/cm²	40	127	127
Température vapeur	° C	500	540	540
Température resurchauffe	° C	—	540	540
Rendement net d'un groupe vapeur	%	28	38,7	38,7
Rendement net du groupe combiné	%	34,3	43,0	42,6

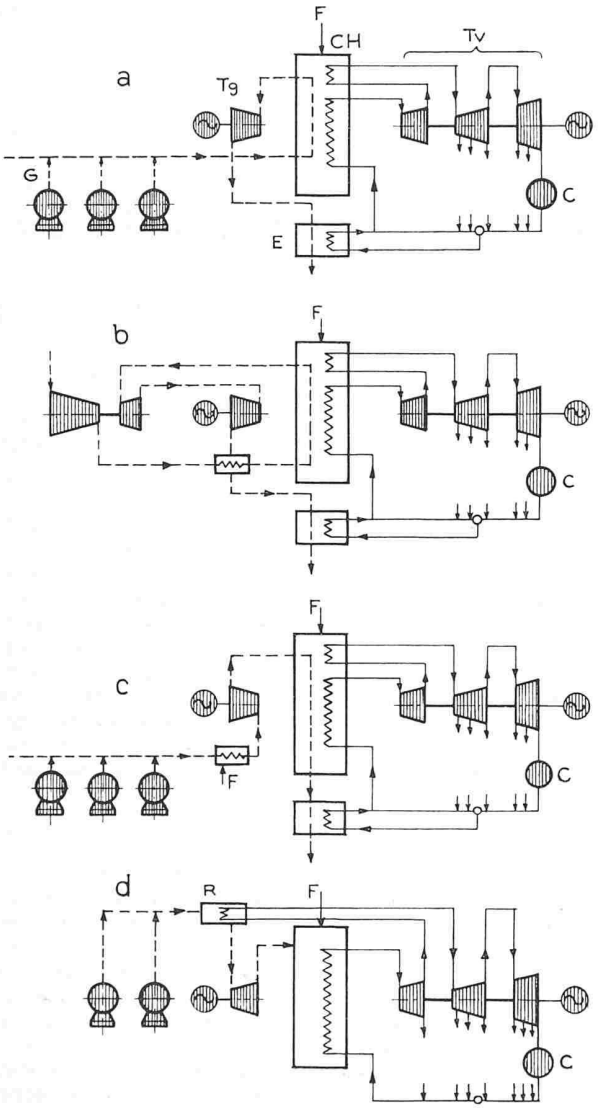


Fig. 1. Groupe combiné gaz-vapeur pour production d'énérgie électrique

a. Turbine à gaz avec générateurs à pistons libres et chaudière en amont de la turbine

b. Turbine à gaz à compresseur rotatif

c. Turbine à gaz avec générateurs à pistons libres et chaudière en aval de la turbine

d. Turbine à gaz avec générateurs à pistons libres et resurchauffeur indépendant

Tg	turbine à gaz	C	condenseur
Tv	turbine à vapeur	E	économiseur
Ch	chaudière	F	combustible

Comme précédemment, si le rendement intrinsèque du cycle vapeur est trop bas, le rendement du groupe combiné devient inférieur à celui que l'on obtient généralement avec une installation à générateurs à pistons libres seuls. Dans ce cas, il est bon de reconsidérer le problème et de vérifier si, compte tenu des conditions locales d'exploitation, il n'est pas plus économique de produire toute l'énergie électrique demandée par un groupe à générateurs à pistons libres.

3. Choix du cycle à gaz

L'influence de la nature du cycle à gaz sur les performances du cycle combiné est moins claire et moins évidente à priori. Etant donné les possibilités de récupération de chaleur dans le cycle à vapeur, on pourrait se demander s'il est nécessaire de rechercher un cycle à gaz à rendement élevé.

Il est clair toutefois que la récupération, dans le cycle à vapeur, des calories provenant du cycle à gaz ne s'effectue pas sans diminuer légèrement le rendement du cycle à vapeur. En effet, la récupération se faisant principalement par le réchauffage de l'eau d'alimentation, elle diminue l'influence des soutirages et augmente les pertes au condenseur. Il faut donc que les calories à récupérer, en provenance du cycle à gaz, soient réduites au minimum.

Le niveau de température des calories à récupérer est aussi très important. Des calories à «haute température», entre 250 et 400 ° C sont plus facilement récupérables et n'abîment pratiquement pas le rendement intrinsèque du cycle à vapeur. Par contre, les calories à «basse température», provenant des fluides de réfrigération du cycle à gaz (60—80 ° C), ne sont récupérables que très partiellement.

Il reste les pertes à la cheminée. Pour éviter la formation du point de rosée de SO_2, la température des gaz à l'entrée de la cheminée ne doit pas descendre en dessous d'une valeur limite de 160 ° C par exemple. La chaleur sensible emportée par les fumées étant irrécupérable, il importe de la réduire au minimum en diminuant le poids des fumées. Ceci revient à augmenter la puissance spécifique par kg d'air brûlé dans le cycle.

Pour voir plus clair, considérons deux cycles à gaz, l'un à générateurs à pistons libres, l'autre à compresseur rotatif. Admettons que les deux cycles à gaz travaillent à la même pression et à la même température des gaz et qu'ils soient associés à des cycles à vapeur identiques (voir fig. 1a; 1b). Evaluons l'énergie produite pour 1 kg d'air et le rendement global qui en résulte. Nous admettrons une combustion avec un excès d'air stoechiométrique de 1,2 et une température des gaz à la cheminée de 160 ° C. Les calculs conduisent au tableau 2.

Dans le calcul comparatif ci-dessus, nous avons renoncé à la récupération des calories à «basse température» contenues dans les fluides de réfrigération des générateurs à pistons libres. Une telle récupération pourrait améliorer le rendement du cycle combiné avec générateurs à pistons libres d'environ 0,2 point.

Malgré les pertes dans les fluides réfrigérants des générateurs à pistons libres, ce cycle se prête mieux à être combiné avec un cycle vapeur. Cela tient surtout à la valeur élevée de la puissance spécifique du cycle à gaz par kg d'air brûlé.

Nous en tirons la conclusion suivante: La consommation spécifique globale de combustible d'un cycle à vapeur associé à un cycle à gaz avec générateurs à pistons libres est de 7 % inférieure à la consommation spécifique du cycle combiné obtenu en associant le même cycle à vapeur à un cycle à gaz à compresseur rotatif. Il est supposé que les deux cycles à gaz travaillent dans les mêmes conditions de pression et de température.

Il convient toutefois d'ajouter que les générateurs à pistons libres consomment de l'huile de graissage dont le prix unitaire est de 12 fois supérieur à celui du combustible.

Compte tenu du fait que la consommation d'huile de graissage des générateurs à pistons libres est de 0,8 % de leur consommation de combustible et que les générateurs à pistons libres consomment 23 % du combustible total, l'emploi des générateurs à pistons libres dans un cycle combiné gaz-vapeur

Tableau 2. Rendement global et consommation spécifique de groupes combinés avec chaudières en amont de la turbine à gaz

Cycle à gaz		avec générateurs à pistons libres		avec compresseur rotatif	
Cycle à vapeur	kg/cm²	40	100	40	100
	° C	500	510	500	510
Cycle à gaz	kg/cm²	4	4	4	4
	° C	500	750	500	750
Puissance nette aux bornes pour 1 kg/s d'air					
Turbine à vapeur	kW	637	677	734	774
Turbine à gaz	kW	226	302	67	141
Total	kW	863	979	801	915
Rendement global aux bornes rapporté au pouvoir calorifique inférieur	%	35,0	39,7	32,5	37,2
Consommation spécifique	kcal/kWh	2457	2166	2646	2311

Tableau 3

Cycle		à vap.	combiné gaz-vapeur		
Mode d'association selon figure		—	1a	1c	1d
Chaudière		normale	en amont de la turb. à gaz	en aval de la turb. à gaz	normale
Resurchauffeur		incorporé	incorp.	incorp.	indép.
Débit d'air des générateurs à pistons libres	kg/s	0	157,5	149	25
Consommation spécifique de chaleur de la turbine à vapeur	kcal/kWh	1922	1980	1940	1903
Puissance produite:					
— par la turbine à vapeur	kW	115	129,3	124,7	118,7
— par la turbine à gaz	kW	0	42,9	36,6	6,7
— totale	kW	115	172,2	161,3	125,4
Puissance des auxiliaires	kW	6,9	5,2	5,2	6,5
Puissance nette	kW	108,1	167,0	156,1	118,9
Consommations rapportées au P. C. I.:					
— des générateurs	10^6 kcal/h	0	75,9	71,7	12,1
— de la chambre de combustion	10^6 kcal/h	0	0	31,8	0
— de la chaudière	10^6 kcal/h	240	258,0	211,7	208,9
— du resurchauffeur indépend.	10^6 kcal/h	0	0	0	34,8
— totales	10^6 kcal/h	240	333,9	315,2	255,8
— spécifique nette	kcal/kWh	2220	1999	2019	2151
Rendement global net	%	38,74	43,0	42,6	40,0
Amélioration de la consommation par rapport au cycle de base	%	0	10,0	9,0	3,1

se solde par une économie nette de 4,8 % de combustible par rapport à un cycle combiné gaz-vapeur avec compresseur rotatif.

4. Amélioration du rendement d'un groupe de centrale à vapeur de grande puissance

Considérons une «tranche» de grande puissance du type 115/125 MW construite récemment par l'Electricité de France. Les caractéristiques principales communiquées par la Société Alsthom de Belfort (France), constructeur du turbo-alternateur, sont:

pression de vapeur à l'admission	127	kg/cm²
température de vapeur à l'admission	540	° C
température de resurchauffe	540	° C
débit de vapeur à l'admission HP	325,6	t/h
débit de vapeur au condenseur	229,1	t/h
La consommation spécifique de chaleur par kWh aux bornes est de	1922	kcal/kWh

En admettant un rendement de chaudière (rapporté au pouvoir calorifique inférieur = P. C. I.) de 92 % et une consommation d'auxiliaires de 6 %, le rendement net de l'installation, rapporté au P. C. I., est de 38,82 %.

Associons à un tel groupe une turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres. Une question délicate pourrait se poser: les générateurs à pistons libres sont-ils suffisamment sûrs pour qu'on puisse les associer à une marche continue d'une centrale de base? Nous répondons affirmativement.

Nous rappelons qu'au 5me Congrès Mondial de l'Energie de Vienne, MM. *D.Coste* et *R. Huber* ont présenté un mémoire détaillé sur l'état du développement des générateurs à pistons libres, leurs performances et endurance. Depuis, l'intérêt que le monde technique porte à ces machines a beaucoup augmenté. En 1957, le nombre des Sociétés fabriquant des générateurs à pistons libres en Europe et en Amérique est supérieur à 15. Le nombre des machines en service et en commande dépasse 350. Deux centrales de 32 et de 24 MW sont en construction.

Dans le mémoire cité plus haut, il a été bien précisé que «chaque générateur à pistons libres peut être arrêté, vérifié, redémarré et remis en service, le groupe restant en marche, quel que soit le régime entre la marche à vide et la pleine puissance». Une installation à générateurs à pistons libres peut donc s'adapter facilement à une marche continue car il est possible de procéder à l'entretien et à des révisions par roulement. De plus, certaines modifications de détail pourraient être apportées aux machines actuelles pour mieux les adapter aux conditions de fonctionnement d'une centrale de base. Ces modifications auraient pour effet de diminuer la charge thermique à pleine puissance aux dépens des performances en marche à vide, qui ne comptent pas pour une centrale de base.

Les fig. 1a, 1c, 1d montrent les trois modes d'association de la turbine à gaz au groupe à vapeur.

— 1. avec chaudière en amont de la turbine à gaz,

— 2. avec chaudière en aval de la turbine à gaz,

— 3. avec resurchauffeur indépendant, le vaporisateur et le surchauffeur restant du type classique.

Dans les trois cas, les gaz à l'admission de la turbine sont à une pression absolue de 4 kg/cm² et une température de 650° C. Le tableau 3 résume les performances calculées et les compare au cycle de base.

Dans les calculs de ce tableau, il a été admis, comme précédemment, que la combustion se faisait avec un rapport d'air stoechiométrique de 1,2 et que la température des fumées à l'entrée de la cheminée était de 160° C. Il n'a pas été tenu compte de la récupération éventuelle des calories à «basse température» contenues dans les fluides de réfrigération des générateurs à pistons libres. Une telle récupération pourrait diminuer la consommation spécifique de l'ensemble d'environ 0,5 %,mais elle augmenterait le débit au condenseur et, par conséquent, les pertes dues à la vitesse restante à l'échappement de la turbine à vapeur basse-pression.

Tous les cas examinés dans le tableau 3 sont valables pour les mêmes caractéristiques et le même débit de vapeur à l'entrée de la turbine ($p = 127$ kg/cm² $t = 540/540°$ C $D = 325{,}5$ t/h.). La récupération des calories contenues dans les gaz, que ce soit à l'échappement de la turbine à gaz dans le cas d'une chaudière en amont (figure 1a) ou à l'échappement de la chaudière quand celle-ci est en aval de la turbine (figure 1c), conduit à une diminution des soutirages. Dans les calculs il a été tenu compte de l'augmentation des pertes au condenseur et des pertes par vitesse-restante qui en résultent. Ceci fait que la consommation spécifique de la turbine à vapeur seule augmente dans le cas du cycle combiné avec resurchauffeur incorporé (1980 et 1940, contre 1922 kcal/kWh).

Dans le cas du resurchauffeur indépendant combiné avec la turbine à gaz il a été tenu compte de l'amélioration du rendement du cycle à vapeur, par suite de la diminution de la perte de charge entre les corps H. P. et M. P. et de l'abaissement de la pression de resurchauffe. Par contre le cycle à vapeur s'abîme légèrement par la récupération de la chaleur contenue dans les gaz à la sortie de la turbine à gaz.

La comparaison des résultats du tableau nous conduit aux conclusions suivantes:

1. L'association d'une installation à turbine à gaz à une installation à turbine à vapeur donne une puissance globale nette supérieure à la somme des puissances de chacun des groupes pris séparément. L'augmentation est plus importante dans le cas d'une installation avec chaudière en amont de la turbine à gaz.

2. Le prix de revient du kW installé d'une turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres est généralement inférieur à celui du kW à vapeur à haute pression avec resurchauffe. Il en résulte que le prix du kW installé d'un groupe mixte gaz-vapeur avec générateurs à pistons libres doit être inférieur au prix du kW vapeur pour plusieurs raisons:

a. augmentation de la puissance installée

b. prix de revient plus bas du kW installé du groupe à gaz

c. vu ses dimensions réduites, le prix de la chaudière suralimentée est nettement inférieur au prix d'une chaudière normale. Cet argument n'est valable que dans le cas d'une chaudière en amont de la turbine à gaz.

3. Il est pratiquement impossible de faire un calcul économique valable pour tous les pays du monde. Dans chaque cas il faut tenir compte des conditions locales, du prix de la main-

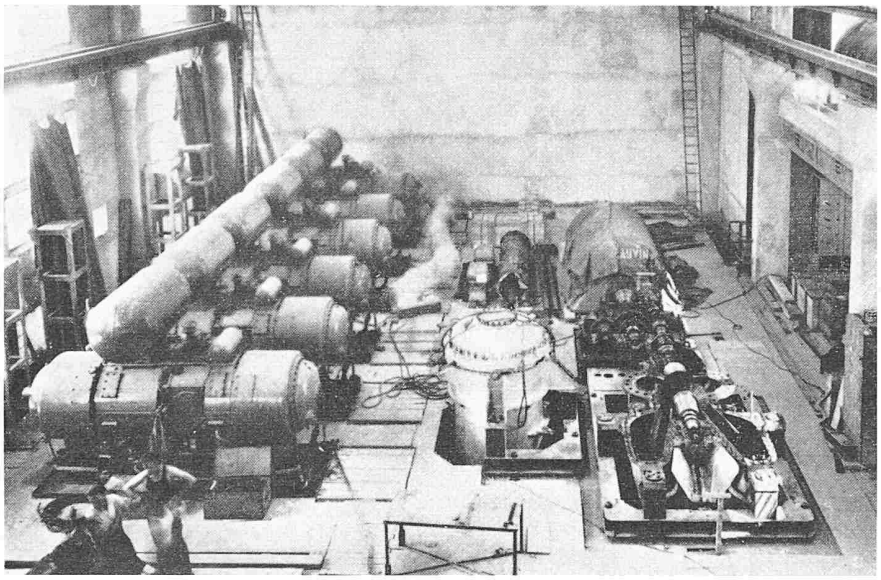


Fig. 2. Centrale de Tours de 5500 kW avec générateurs à pistons libres, chambre de post-combustion et turbine à gaz

d'oeuvre et des combustibles. A ce sujet, notons que les générateurs à pistons libres peuvent brûler du fuel lourd du type Bunker C (3500 Redwood s.). Dans la chambre de post-combustion, dans la chaudière située en amont de la turbine à gaz et dans le resurchauffeur suralimenté indépendant, il est possible de brûler soit du Bunker C, soit du combustible gazeux. Dans la chaudière située en aval de la turbine à gaz, le choix du combustible est indifférent. Là encore, pour faire un calcul économique il est indispensable de connaître le rapport des prix des différents combustibles. Or ce rapport varié non seulement d'un pays à l'autre mais aussi d'une région à l'autre dans un même pays.

4. Pour être complet, ajoutons que les personnes désirant faire un calcul économique doivent tenir compte de la consommation d'huile de graissage des générateurs à pistons libres. Elle est de 0,8 % de la consommation horaire de combustible de ces machines, soit 0,18 % de la consommation totale de combustible de l'installation combinée gaz-vapeur.

5. La solution du resurchauffeur indépendant semble tout à fait attrayante. Elle permet de doubler le gain apporté par la resurchauffe avec un léger appoint de puissance. La turbine à gaz pourrait éventuellement servir à l'alimentation des lignes des auxiliaires. Ce dernier principe est appliqué dans une centrale en construction à Augusta (Sicile, Italie) où l'alimentation des lignes des auxiliaires se fait par deux turbines à gaz alimentées par des générateurs à pistons libres. Il n'y existe toutefois aucune liaison entre la turbine à gaz et le resurchauffeur.

5. Possibilités de réalisation du cycle combiné avec générateurs à pistons libres — Régulation, autonomie

Le cycle combiné avec générateurs à pistons libres et chaudière *en aval* de la turbine à gaz est réalisable sans aucun organe nouveau qui n'ait fait ses preuves dans l'exploitation. Le fait d'intercaler une chambre de post-combustion entre générateurs et turbine n'est pas nouveau. Un groupe de six générateurs à pistons libres avec chambre de post-combustion et turbine à gaz à 650° C est installé dans la centrale de l'Electricité de France à Tours, France, voir figure 2.

Dans le cycle combiné avec chaudière ou resurchauffeur indépendant *en amont* de la turbine à gaz, le seul élément nouveau est la chaudière ou le resurchauffeur suralimenté. Il semble toutefois que la réalisation de ces éléments et leur exploitation ne devraient pas présenter de difficultés, vu l'expérience acquise avec les chaudières du type Velox et Sural.

Les groupes combinés avec chaudières en amont ou en aval, étudiés dans le paragraphe précédent, nécessitent l'installation de 42 générateurs à pistons libres du type GS. 34 actuel ou d'un nombre beaucoup plus petit d'unités plus grandes qui sont actuellement (fin 1957) à l'essai au banc. Pour le groupe à resurchauffeur indépendant, il suffira de sept générateurs du type GS. 34 actuel.

Le réglage de la puissance peut se faire, comme dans un groupe classique de turbine à vapeur, à l'aide du régulateur de vitesse. Il agit, soit sur le laminage à l'admission de la vapeur, soit sur le cran d'injection de combustible de générateurs à pistons libres.

En descendant la charge depuis la pleine puissance jusqu'au minimum technique de la turbine à vapeur, le régulateur agit *uniquement* sur le laminage à l'admission de la turbine à vapeur. Pour des charges inférieures au minimum technique de la turbine à vapeur, le réglage de la puissance se fait en agissant sur l'injection des générateurs à pistons libres.

Ce mode de réglage est simple, car le régulateur n'agit que sur une variable à la fois. Il est aussi sûr car les organes employés sont connus soit dans les installations à vapeur soit dans celles des générateurs à pistons libres.

Le démarrage débutera par le lancement des générateurs à pistons libres et la mise en route de la turbine à gaz. Viendra ensuite l'allumage de la chaudière et la mise en route de la turbine à vapeur. A elle seule, la turbine à gaz pourra fournir 20 à 25 % de la puissance globale installée avec un rendement net aux bornes de 34 %.

Un groupe à cycle combiné gaz-vapeur peut être autonome. Le démarrage des générateurs à pistons libres se fait, comme on le sait, à l'air comprimé. L'entraînement des auxiliaires nécessaires à ce démarrage peut se faire à l'aide d'un moteur auxiliaire d'une centaine de ch.

III. Production simultanée d'énergie électrique et de vapeur de chauffage

1. Généralités

Dans la plupart des installations existantes, la production simultanée d'énergie électrique et de vapeur de chauffage se fait à l'aide de turbines à vapeur qui sont, soit du type à contre-pression, soit du type à prélèvement. Une installation à vapeur à contre-pression présente généralement un rendement global très élevé, de l'ordre de 88 %. En effet, les pertes au condenseur étant éliminées, la plus grande partie de la chaleur, introduite par la combustion, est utilisée, soit aux bornes de l'alternateur, soit dans le circuit de chauffage Les seules pertes irrécupérables sont: la chaleur sensible contenue dans les fumées de la chaudière, les pertes mécaniques et électriques du turbo-alternateur et les pertes par rayonnement, imbrûlés et fuites.

La turbine à contre-pression présente toutefois deux sérieux inconvénients:

a. La puissance électrique, pouvant être produite avec un débit de chauffage donné, est limitée. Or, dans la plupart des établissements industriels, les besoins en énergie électrique croissent généralement plus vite que les besoins en vapeur de chauffage. Le prix de revient du kWh produit à l'usine étant très inférieur au prix de vente par un réseau de distribution, il importe donc de pouvoir produire, avec un débit de chauffage donné, le maximum d'énergie électrique possible. On pourrait y arriver en augmentant les caractéristiques, pression et température, de la vapeur à la sortie de la chaudière. Ceci n'est toutefois pas sans présenter de sérieuses difficultés pour l'utilisateur.

b. Le deuxième inconvénient est le manque de souplesse dans la régulation. Dans ce genre d'installation il y a dépendance absolue entre le débit de chauffage et la puissance électrique. La variation est pratiquement linéaire et à 25 % du débit de chauffage, la turbine ne fournit que les pertes à vide du groupe.

Une installation avec turbine à prélèvement remédie aux deux invonvénients ci-dessus, mais son rendement global est nettement inférieur à celui de la contre-pression: 45 à 50 % contre 87 à 88 %.

Dans un certain nombre d'installations [4], [5], en exploitation et en commande, la chaudière est associée à une

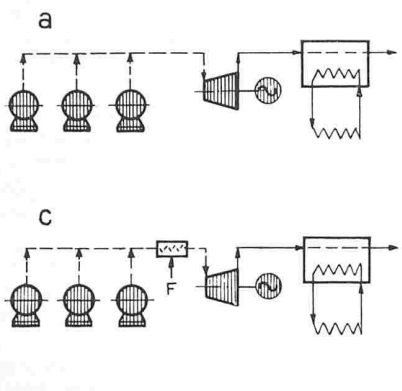


Fig. 3. Production simultanée d'énergie et de vapeur avec chaudière de récupération

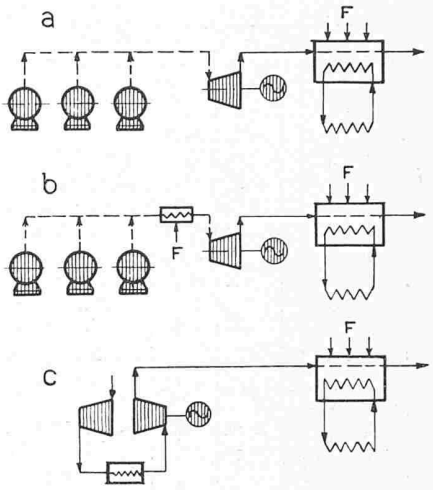


Fig. 4 (à droite). Production simultanée d'énergie et de vapeur de chauffage à la pression d'utilisation

turbine à gaz. Il s'agit, pour la plupart du temps, d'une turbine à gaz à compresseur rotatif. Dans ce qui suit, nous nous proposons d'examiner les possibilités offertes par une installation à turbine à gaz, alimentée par des générateurs à pistons libres, et de les comparer aux installations connues, soit:

— turbine à vapeur à contre-pression,
— turbine à vapeur à prélèvement,
— combinaison d'une chaudière avec turbine à gaz à compresseur rotatif.

2. Mode de production de la vapeur

Nous distinguerons entre les chaudières de récupération (figure 3) et les chaudières avec injection de combustible (figure 4). Dans les premières on récupère généralement les calories contenues dans les gaz chauds s'échappant d'une turbine à gaz ou d'un moteur à combustion. Dans les chaudières du deuxième type, les gaz chauds, riches en oxygène, provenant du cycle à gaz, servent d'air comburant à une combustion supplémentaire.

Pour faciliter notre comparaison, nous admettrons qu'à l'entrée du circuit de chauffage, la vapeur est saturée et sèche, à la pression de 3 kg/cm² et que le retour de l'eau se fait à 70 ° C. A la fin de l'exposé, nous examinerons aussi le cas où le chauffage doit se faire obligatoirement à une température plus élevée et nécessite une pression de saturation de l'ordre de 20 kg/cm² abs.

La production de vapeur dans la chaudière peut se faire, soit directement à la pression nécessaire au circuit de chauffage (fig. 3), soit à une pression supérieure (fig. 5). Dans ce dernier cas, la vapeur se détend d'abord dans une turbine à contre-pression pour alimenter ensuite le circuit de chauffage.

3. Chaudières de récupération

Bien que très répandue dans le cas des moteurs à combustion du type Diesel, l'emploi d'une chaudière à récupération à grande échelle n'est pas économique surtout dans le cas des turbines à gaz. Dans ces intallations, en effet, la combustion se fait avec un rapport stoechiométrique de l'ordre de 5 à 7. Si on se contente de la récupération de la chaleur contenue dans les gaz sans combustion supplémentaire, les pertes à la cheminée restent relativement élevées.

Cette solution ne peut convenir qu'à de petites installations où la production de chaleur dans la chaudière de récupération n'est qu'un «sous-produit» de second ordre.

Nous avons vu plus haut (chapitre I — Production d'Energie Electrique) qu'une installation à turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres présente une puissance spécifique aux bornes, par kg d'air aspiré, très élevée. Elle est plus de deux fois supérieure à la puissance spécifique caractérisant une installation à turbine à gaz avec compresseur rotatif.

Il est connu aussi [1], [5] que dans le cas des générateurs à pistons libres la température des gaz à l'entrée de la turbine est de l'ordre de 450° C contre 650 à 788° C dans le cas d'une installation avec compresseur rotatif. Il en est donc de même de la température à l'échappement des turbines: 250° C contre 400 à 500° C.

Les gaz étant plus froids et leur poids plus petit, il est évident que la récupération est beaucoup moins importante dans le cas des générateurs à pistons libres (figure 3a) qu'avec installations à compresseur rotatif (figure 3d). La chaleur récupérable est sept fois moins grande dans le premier cas que dans le second. Il est possible, si des raisons particulières le justifient, d'augmenter la chaleur récupérable dans une installation avec générateurs à pistons libres sans faire usage d'une chaudière à injection supplémentaire.

Le premier moyen est de placer la chaudière entre les générateurs à pistons libres et la turbine (figure 3b). La température des gaz à l'entrée de celle-ci et la puissance aux bornes de l'alternateur diminueront, mais le rendement total sera plus élevé par suite de la diminution des pertes à la cheminée.

Le deuxième moyen consiste à intercaler une chambre de post-combustion entre générateurs et turbine et à placer la chaudière de récupération en aval de la turbine (figure 3c). Nous considérons ces solutions comme des cas particuliers permettant, sans grands frais, de satisfaire aux besoins en vapeur d'une installation donnée.

Le tableau 4 résume les performances des différents cas possibles avec chaudière de récupération. La dernière ligne du tableau fait intervenir un rendement pondéré basé sur l'hypothèse qu'une calorie de chauffage est cinq fois moins chère qu'une calorie de puissance électrique.

4. Chaudières avec injection supplémentaire de combustible

Dans ce type de chaudières, la récupération est plus complète. On peut en effet s'arranger pour que la combustion se fasse avec un excès d'air stoechiométrique de 1,2 et que la température à l'entrée de la cheminée soit de 160° C. On réduira ainsi les pertes à la cheminée au minimum, sans risque d'atteindre le point de rosée de SO_2. Il nous a paru intéressant de comparer, pour un chauffage donné d'un million de kcal/h par exemple, les possibilités offertes par les différentes installations pouvant produire simultanément de l'énergie électrique et de la vapeur de chauffage. Il est toujours entendu qu'à l'entrée du circuit de chauffage, la vapeur

Tableau 4. Rendements de groupes avec chaudières du type à récupération

Installation gaz du type		à générateurs à pistons libres				à compr. rotatif
Chaudière placée		aval	amont	amont	aval	aval
Figure		3a	3b	3b	3c	3c
Température gaz entrée turbine	° C	450	300	200	650	650
Vapeur par MW aux bornes	t/h	0,52	1,12	2,09	1,59	3,81
Fumées par MW aux bornes	t/h	18,6	21,7	24,6	15,6	41,7
Rendement global	%	45	53,4	65,7	59,0	55,7
Rendement pondéré	%	35,5	33,5	33,2	34,6	23,7

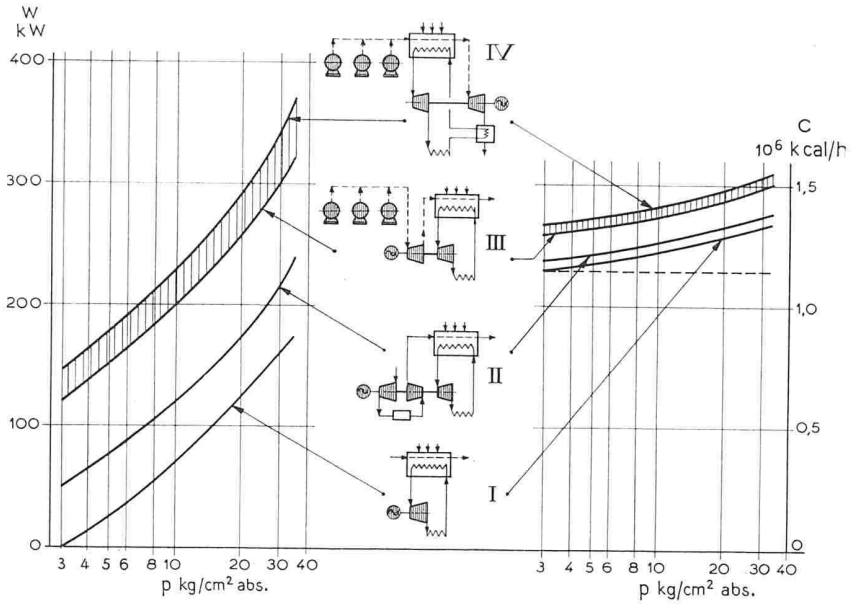


Fig. 5. Puissance électrique W et consommation horaire de combustible C pour un chauffage de 10^6 kcal/h en fonction de la pression de vapeur p

I Turbine à vapeur à contre pression
II Groupe combiné avec turbine à gaz à 650 ° C et compresseur rotatif

III Groupe combiné avec générateurs à pistons libres, turbine à gaz à 450 ° C et chaudière atmosphérique

IV Groupe combiné avec générateurs à pistons libres, chaudière suralimentée et turbine et turbine à gaz à 650 ° C

est à la pression de 3 kg/cm² abs., saturée et sèche, et que la température de l'eau de retour est de 70° C.

4a. Installation avec vapeur produite à la pression de chauffage

L'installation est représentée par les schémas des figures 4. Dans la chaudière, placée en aval de la turbine à gaz, la vapeur est produite directement à la pression d'utilisation. Afin d'augmenter la puissance électrique aux bornes on peut intercaler une chambre de post-combustion entre les générateurs à pistons libres et la turbine à gaz (voir figure 4b).

Le tableau 5 résume les caractéristiques du groupe en les comparant à celles d'une turbine à gaz à compresseur rotatif travaillant dans les mêmes conditions conformément au schéma de la figure 4c.

Le rendement global est naturellement très bon dans tous les trois cas, environ 85 à 88 %. Toutefois la puissance produite est 2,5 à 3 fois plus petite dans le cas de la turbine à gaz avec compresseur rotatif.

La régulation est très souple. Il y a pratiquement indépendance complète entre la puissance et le chauffage (voir figure 6b). L'installation peut fournir n'importe quelle fraction de chauffage à n'importe quelle puissance, car les générateurs à pistons libres sont toujours capables de donner à la chaudière le plein débit d'air sans que celui-ci passe obligatoirement par la turbine.

En partant de la pleine puissance électrique et du plein chauffage, la réduction du chauffage à puissance constante s'obtient en réduisant le combustible injecté dans la chaudière et tandis que la réduction de puissance à un débit de chauffage constant s'obtient en réduisant d'abord le cran de combustible et en by-passant ensuite l'air des générateurs à pistons libres directement vers la chaudière.

4b. Installation à turbine à gaz complétée par une turbine à vapeur à contre-pression

La combinaison d'une turbine à gaz avec une turbine à vapeur à contre-pression (voir figure 5) améliore sensiblement les performances de l'ensemble. Le graphique de la figure 5 représente, en fonction de la pression de vapeur à la sortie de la chaudière, la puissance électrique aux bornes et la consommation horaire de combustible. Les courbes permettent d'abord d'évaluer la supériorité économique d'une installation à contre-pression sur une simple chaudière produisant de la vapeur saturée à la pression d'utilisation. Elles permettent aussi de chiffrer l'économie apportée par l'adjonction de la turbine à gaz qu'elle soit à compresseur rotatif ou à générateurs à pistons libres.

Pour une pression de vapeur de 20 kg/cm², par exemple, à la sortie de la chaudière, une installation à contre-pression produit une puissance de 124 kW par million de calories à l'heure avec une consommation spécifique de 1150 kcal/kWh. Le groupe combiné gaz-vapeur avec générateurs à pistons libres et une température de gaz de 650° C à l'admission produit dans les mêmes conditions une puissance de 292 kW avec une consommation spécifique de 1170 kcal/kWh. Il est clair qu'économiquement le deuxième cas est beaucoup plus intéressant. On peut, en effet, considérer que dans le deuxième cas la production se compose: de 124 kW à raison de 1150 kcal/kWh, et de 168 kW à raison de 1180 kcal/kWh.

Le supplément apporté est toujours très intéressant car la consommation spécifique reste toujours inférieure à celle de la meilleure turbine à condensation.

Notre raisonnement admet, bien entendu, que l'usine est capable d'utiliser la puissance électrique bon-marché ainsi produite. S'il n'en était pas ainsi, le fait de pouvoir produire de l'énergie électrique à très bon compte, pourrait permettre d'entreprendre de nouvelles activités dans les mêmes établissements.

Dans le cas d'une turbine à gaz à compresseur rotatif les avantages mis en évidence ci-dessus sont quantitativement plus réduits. Le tableau 6 résume les résultats trouvés. La 3me solution (figure 5 IV) est économiquement la plus interessante.

Sans présenter le caractère d'indépendance absolue exposé dans le paragraphe précédent, la régulation d'un groupe combiné gaz et vapeur à contre-pression reste très souple, voir figure 6c, d. Pour un chauffage donné, la puissance électrique produite par la turbine à vapeur est fixée. Toutefois, grâce

Tableau 5. Caractéristiques des groupes, équipés de chaudières avec injection supplémentaire en aval de la turbine

Installation gaz du type		à pistons libres		à compr. rotatif
Figure		4a	4b	4c
Température gaz entrée turbine	° C	450	650	650
Puissance électrique pour un chauffage de 10^6 kcal/h	kW	121	148	49
Fumées	t/h	2,34	2,4	2,1

Tableau 6. Résultats se rapportants à des groupes avec turbine à vapeur du type à contre-pression

Turbine à gaz du type		néant	à compr. rotatif	à pistons libres
Figure		5 I	5 II	5 IV
Pression de vapeur	kg/cm²	35	35	35
Température gaz à l'admission turbine	° C	néant	650	650
Puissance électrique pour un chauffage de 10^6 kcal/h	kW	174	240	372
Consommation spéc.	kcal/kWh	1090	1000	1100

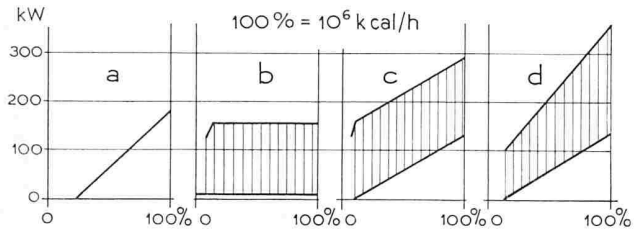


Fig. 6. Réglage de la puissance en fonction du chauffage

a. Turbine à vapeur à contre-pression

b. Générateurs à pistons libres et chaudière à basse pression

c. Turbine à contre pression + générateurs à pistons libres et chaudière en aval

d. Turbine à contre pression + générateurs à pistons libres et chaudière en amont

à la présence de la turbine à gaz, la puissance électrique globale du groupe peut varier entre deux limites bien écartées. La puissance minimum est celle produite par la turbine à vapeur et la puissance maximum, cette même valeur augmentée de la puissance maximum de la turbine à gaz. Le débit minimum de vapeur de chauffage peut descendre jusqu'à 10 % du débit nominal sans risque d'arrêt de la turbine à contre-pression. Les pertes à vide de cette turbine sont alors fournies en partie par la turbine à gaz.

La puissance électrique élevée, pour un chauffage donné, et la souplesse dans la régulation restent les deux grands avantages de la présente solution

4c. Comparaison avec une installation comprenant une tubine à prélèvement

Une installation combinée, comprenant une turbine à gaz alimentée par des générateurs à pistons libres et turbine à vapeur à contre-pression, est plus avantageuse qu'une turbine à prélèvement. La régulation est aussi souple mais plus simple et le rendement global bien meilleur.

Autour du débit nominal de vapeur de chauffage une turbine à prélèvement consomme environ 40 % de plus qu'une installation mixte gaz-vapeur. Quand le débit de vapeur de chauffage descend à 25 % de sa valeur nominale, la consommation de la turbine à prélèvement est deux fois plus grande que celle de l'installation mixte correspondante.

4d. Cas d'un chauffage à pression élevée

Considérons le cas où le circuit de chauffage nécessite de la vapeur saturée à une pression relativement élevée, de l'ordre de 20 kg/cm² abs. Pour que la turbine à contre-pression puisse donner de la puissance aux bornes il faut monter la pression de vapeur dans la chaudière à des valeurs très élevées. Même en admettant qu'elle soit de 115 kg/cm² dans le cas de la turbine à contre-pression seule, et de 63 kg/cm² seulement dans le cas du groupe mixte, ce dernier est plus avantageux, comme le montre le tableau 7.

La deuxième colonne est économiquement la plus interessante (même raisonnement que dans le paragraphe 4b ci-dessus).

5. Calcul économique, nature du combustible, emplacement de la Chaudière

Il convient d'ajouter, comme dans le chapître se rapportant à la production d'énergie, que le calcul économique d'une installation du type proposé dépend beaucoup des conditions locales d'exploitation, en particulier des prix de combustible et du rapport des prix des différents combustibles disponibles.

Rappelons que les générateurs à pistons libres peuvent consommer du fuel lourd du type Bunker C. Dans le cas d'une

Tableau 7

Installation		à contre-pression	contre-pression et pistons libres
Pression vapeur chaudière	kg/cm²	115	63
Contre-pression	kg/cm²	20	20
Puissance nette pour un chauffage de 10^6 kcal	kW	122	240
Consommation spécifique	kcal/kWh	1110	1240

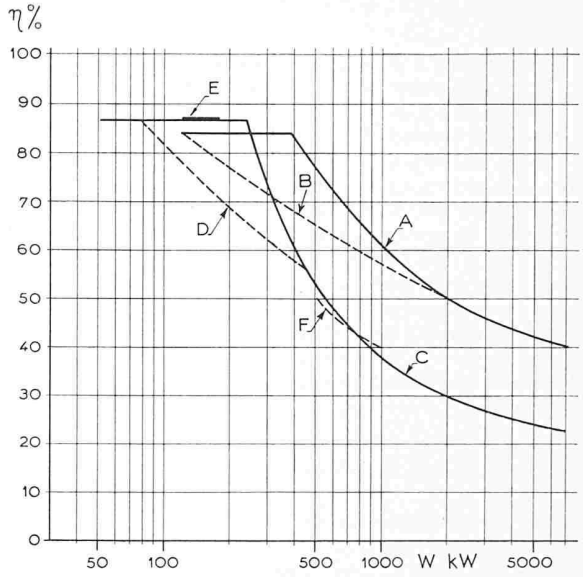


Fig. 7. Rendement thermique global η en fonction de la puissance électrique spécifique W en kWh/10^6 kcal.

A Cycle combiné optimum avec générateurs à pistons libres

B Réalisation simplifiée du cycle précédent

C Cycle optimum avec une turbine à gaz à compresseur rotatif

D Réalisation simplifiée du cycle précédent

E Turbine à vapeur à contre pression

F Turbine à vapeur à prélèvement

combustion dans les chaudières avec un excès d'air global de 1,2, sa consommation des générateurs à pistons libres est d'environ 23 % du total. Dans le cas d'une installation avec chaudière à récupération, la totalité du combustible est consommée dans les générateurs.

Dans les chambres de post-combustion et dans les chaudières placées en amont de la turbine à gaz il est possible de brûler, soit du fuel lourd du type Bunker C, soit du combustible gazeux. Dans les chaudières placées en aval de la turbine à gaz la nature du combustible est indifférente. L'emplacement des chaudières en amont ou en aval de la turbine à gaz dépend donc beaucoup du rapport des prix des combustibles. Il faut ajouter toutefois que ce rapport ne constitue pas le seul critère valable. L'emplacement de la chaudière en amont de la turbine à gaz permet en effet:

— de réduire les dimensions de la chaudière par suite de l'augmentation de la pression et de la température moyenne des gaz;
— de réduire le prix de la chaudière;
— de produire, s'il le faut, des gaz chauds à 650 ° C sans installation d'une chambre de post-combustion entre générateurs et turbine;
— d'augmenter le rendement thermique global d'environ 2 %.

La chambre placée en aval de la turbine à gaz présente, par contre, sur la solution prédédente, les avantages suivants:
— régulation beaucoup plus souple (voir figure 6c);
— possibilités de brûler du charbon pulvérisé.

6. Conclusions

Pour conclure nous avons porté sur un graphique commun (figure 7) les performances des différentes installations pouvant être employées pour la production simultanée d'énergie électrique et de vapeur de chauffage: En abscisse nous lisons la puissance électrique spécifique exprimée en kW par 10^6 kcal/h de chauffage, et en ordonnée le rendement thermique global du cycle.

Toutes les courbes présentent un maximum qui est de l'ordre de 84 à 88 %. Si on se contente de prendre comme seul critère le rendement thermique global on constate ce qui suit:

1. Pour des puissances spécifiques inférieures à 100 kW par million de kcal/h toutes les installations sont équivalentes.
2. L'avantage des groupes combinés avec turbine à gaz à pistons libres s'accentue au fur et à mesure que la puissance spécifique augmente.

3. Dans le cas d'un rapport imposé entre puissance électrique et débit de chauffage compris entre 140 et 1700 pour la turbine à gaz à pistons libres et entre 75 et 450 pour la turbine à gaz à compresseur rotatif l'utilisateur a le choix entre un cycle perfectionné tracé en trait plein sur la courbe de la figure 7, et un cycle simplifié (traits en pointillé). Le cycle perfectionné est celui d'une turbine à gaz complétée par une turbine à contre-pression. Dans le cycle simplifié l'installation se réduit à une turbine à gaz associée à une chaudière produisant de la vapeur à la pression de chauffage. La température des gaz a été admise égale à 450 ° C pour la turbine à pistons libres et à 650 ° C pour la turbine à compresseur rotatif.
4. La figure 7 permet également de comparer les performances d'un installation à vapeur seule au groupe combiné gaz-vapeur.

Résumé

Les auteurs, représentant la Société d'Etudes Mécaniques et Energétiques (S. E. M. E.) qui s'est consacrée depuis plus de 20 ans à l'étude et au développement des générateurs à pistons libres, exposent l'intérêt que comporte l'association de ces machines aux installations à vapeur. Ils montrent dans une première partie qu'avec le cycle gaz-vapeur proposé, la consommation spécifique de combustible d'un groupe de grande puissance d'une centrale moderne peut être abaissée de 10 %. La deuxième partie est consacrée à la production simultanée d'énergie électrique et de vapeur de chauffage. Dans ce domaine, l'emploi des générateurs à pistons libres permet de produire, pour un chauffage donné, une puissance électrique d'environ deux fois plus élevée qu'avec une turbine à contre-pression. Avec la solution proposée, la variation de la puissance électrique est, dans de très larges limites, indépendante du débit de chauffage.

Adresse des auteurs: Avenue du Château, Rueil-Malmaison.

Bibliographie

[1] Développement récent des groupes à générateurs à pistons libres et turbines à gaz, par *D. Coste* et *R. Huber*, 5ème Congrès Mondial de l'Energie, mémoire 246 G_1 25.
[2] Kombination von Gas- und Dampfturbinen im Doppelbrennstoffsystem, par Dr. Ing. *Erik Foit*. 5ème Congrès Mondial de l'Energie, mémoire 134 G_1 13.
[3] Combinaison d'un générateur de vapeur avec turbine à gaz, par *P. Chambadal*. Mémoire I 15 présenté aux Journées de l'Utilisation Thermique Rationnelle de la Vapeur d'Eau. Novembre 1955.
[4] Production d'énergie et de vapeur par une suralimentation rationnelle de chaudières au moyen de générateurs de gaz à pistons libres, par Dr. *H. Horgen*. Mémoire n° 72, groupe VI, section 63, présenté au Congrès International du Chauffage Industriel. Sept. 52.
[5] La centrale de 6000 kW de Cherbourg à générateurs de gaz à pistons libres, par *P. Szereszewski*, «Le Génie Civil» 1956.
[6] French experience with free-piston gasifiers. Asme, 29 nov. 1956, par *M. Barthalon* et *H. Horgen*.

Bohranlagen in Küstengewässern

DK 622.242.1:624.157

Ueber Plattformen im Meer war in der SBZ schon mehrfach berichtet worden, so über diejenigen für Radarstationen vor der Ostküste Nordamerikas (SBZ 1955, S. 133, und 1957, S. 762) und über solche für Oelbehälter im Golf von Mexiko (SBZ 1957, S. 481). Nun bringt «Eng. News-Record» vom 3. und vom 24. Okt. 1957 Angaben über Bohrplattformen für Oel und Gas vor den Küsten von Louisiana, Texas und Kalifornien. Seit 1945 sind für derartige Anlagen mehr als 1,5 Billionen Dollars ausgegeben worden, und 3,4 Millionen lfm Bohrlöcher wurden im Meer ausgeführt. Aus den Erfahrungen mit den ersten Plattformen, die zum Teil noch gewisse Schwächen aufwiesen, hat man nunmehr drei Haupttypen entwickelt, nämlich a) den beweglichen Typ, b) den festen unabhängigen Typ und c) den festen Tendertyp.

a) Die beweglichen Plattformen können in verhältnismässig kurzer Zeit und mit mässigen Kosten von einer Arbeitsstelle zur anderen gebracht werden. Sie verfügen über die komplette Bohrausrüstung, Schlammtanks, Rohre, Unterkünfte, Hubschrauber-Landeplatz und Nachrichtengerät. Das Hauptanwendungsgebiet sind Versuchsbohrungen. Die Anlage ist verständlicherweise empfindlicher gegen Wind- und Wellenstösse als eine feste Plattform. Zur Zeit sind etwa 40 bewegliche Plattformen im Einsatz oder im Bau. Sie lassen sich wirtschaftlich noch in Wassertiefen bis 43 m verwenden, es können Bohrungen bis zu 6400 m Tiefe ausgeführt werden. Die Plattform besitzt eine dichte, schwimmfähige Hülle, die über die Wasseroberfläche gehoben und auf Beine gestellt werden kann. Die Kosten einer solchen Plattform betragen 2 bis 5 Mio Dollars.

b) Die festen unabhängigen Plattformen ruhen auf Pfählen, die durch eingeschwommene, gerichtete Führungsrohre hindurch in den weichen Meeresboden getrieben werden, in einem Falle bis zu 126 m Tiefe. Die Ausrüstung ist die gleiche wie beim beweglichen Typ. Man glaubt, von solchen Plattformen aus bis zu 61 m Wassertiefe arbeiten zu können. Ihr Grundriss misst bis zu 70 × 34 m. 40 solcher Anlagen sind im Einsatz, weitere im Bau. Die Kosten liegen bei 1 bis 1,5 Mio Dollars.

c) Die festen Tender-Plattformen weisen wesentlich kleinere Abmessungen auf und tragen ausschliesslich die eigentliche Bohrausrüstung. Alle anderen Anlagen befinden sich auf den sogenannten Tendern, das sind meist ausgebaute Landungsschiffe oder grosse Spezialboote, die neben der Plattform verankert liegen und von denen zur Zeit 50 Stück im Einsatz sind. Tender-Plattformen eignen sich bis zu 38 m Wassertiefe. Die Kosten betragen 0,4 bis 0,8 Mio Dollars für die Plattform und 1 Mio Dollars für den Tender.

Die Hauptursache früherer Unfälle und Schäden war ausweichender Meeresboden, häufig gleichzeitig mit hohem Seegang und starkem Sturm. Die Plattformen werden sämtlich weitgehend am Ufer vorgefertigt, mit Spezialausrüstung eingeschwommen und montiert, sodann verschweisst. Die meisten Plattformen besitzen zwei Decks. Je nach Typ können von einer einzigen Plattform aus bis zu 18 Bohrungen ausgeführt werden.

H. Jobst

Zur Eröffnung der Bauabteilung am Zentralschweizerischen Technikum in Luzern

DK 373.622

Der Regierungsrat des Kantons Luzern hat am 14. Juli 1958 beschlossen, die Bauabteilung im Frühjahr 1959 zu eröffnen, und zwar mit den beiden Unterabteilungen für Hochbau und Tiefbau.

Die Hochbau-Techniker werden auf jene Arbeitsgebiete vorbereitet, wie sie für die Planung und Bauleitung in privaten Architekturbüros und bei staatlichen Aemtern gepflegt werden, ferner auf die Stellen beim ausführenden Baugewerbe (Bauführer) und schliesslich auch auf solche in der Baustoffindustrie.

Die ersten zwei Semester sind für die Grundschulung in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern und für Fachzeichnen bestimmt, die obern vier Semester dem eigentlichen Fachstudium. Der Studierende wird dabei eingeführt in die Gebiete des Skizzierens und Modellierens, der Baumechanik, der Technologie der Baumaterialien; er hat die Anfertigung von Werkplänen, von Kostenvoranschlägen und Abrechnungen zu lernen. Schliesslich soll er einfache Bauten selber entwerfen und durchkonstruieren können. Auch in die modernen Gebiete des Stahl- und Eisenbetonbaues wird er eingeführt.

Die Tiefbautechniker werden in den verschiedenen Fachgebieten des Tiefbaues (Eisenbeton-, Stahl-, Brücken-, Grund-, Wasserbau usw.) ausgebildet. Ihre künftige Tätigkeit ist die Projektierung und Bauleitung von Tiefbauarbeiten in Ingenieurbüros, Bauunternehmungen, öffentlichen Verwaltungen.

Nach Absolvierung der Grundschulung werden in den obern Semestern hauptsächlich die Baustatik, die Baukonstruktionslehre, die verschiedenen Fachgebiete des Grundbaues, des Brückenbaues und Wasserbaues und des Eisenbetonbaues gepflegt. Auch die wirtschaftliche Seite des Tiefbaues (Kostenberechnungen usw.) wird berücksichtigt.

Zur Aufnahmeprüfung wird zugelassen, wer sich über eine mit Fähigkeitsausweis abgeschlossene einschlägige Berufslehre ausweisen kann. Ausnahmen können nur bewilligt werden, sofern sich der Bewerber über die nötige schulische Vorbildung und eine genügende praktische Tätigkeit im entsprechenden Fachgebiet ausweisen kann. Es wird empfohlen, die Rekrutenschule vor Beginn des Studiums zu absolvieren. Die Aufnahmeprüfung gilt jeweils nur für das entsprechende Schuljahr. Der Prüfungsstoff in den einzelnen Fächern entspricht dem Lehrstoff einer guten dreiklassigen Sekundarschule und einer Berufsschule. Prüfungsfächer sind: Rechnen, Algebra, Geometrie, Fachzeichnen, Deutsch.