

ERHÖHUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT VON FERNHEIZKRAFTWERKEN

Von

A. LÉVAI

Lehrstuhl für Wärmekraftwerke, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 25. März 1968)

1. Entwicklung der Fernwärmeversorgung, wirtschaftliche Bedenken

Die heutige Situation auf dem Gebiete der Fernwärmeversorgung ist in den meisten Ländern u. a. dadurch gekennzeichnet, daß einer raschen Verbreitung der Wärmeversorgung aus großen Heizkraftwerken einige wesentliche Umstände entgegenwirken. Als solche sind zu nennen:

a) der immer stärkere Übergang auf die Verfeuerung von Öl oder Erdgas

i) in Einzelapparaten mit der Möglichkeit der engen Anpassung an den zeitlich veränderlichen Wärmebedarf oder

ii) in kleineren Blockkesselanlagen mit Kesselwirkungsgraden, die jene der großen Kraftwerkskessel nicht wesentlich unterschreiten;

b) der Wirkungsgrad der großen zeitgemäßen Kondensationskraftwerke nimmt ständig zu, und demzufolge wird der Unterschied gegenüber dem reinen Gegendruckbetrieb immer kleiner.

Wenn die Heizkraftwerke in diesem Konkurrenzkampf ihren Platz behaupten wollen, so muß alles getan werden um ihre Wirtschaftlichkeit — die Heizwärmeverteilungen inbegriffen — zu erhöhen. Es ist ja nicht schwer einzusehen, daß in den Gesamtinvestitionskosten die Einzelversorgung der Wärmeverbraucher im allgemeinen mit niedrigeren Kosten verbunden ist, als die Fernwärmeversorgung. In den laufenden Betriebskosten für Wärmeerzeugung ist das Heizkraftwerk dann unter allen Umständen im Vorteil, wenn im ganzen Jahr mit demselben Wärmedargebot gerechnet wird, wie im Falle der Einzelversorgung. Rechnet man aber bei letzterer mit unterbrochenem Betrieb (z. B. 6stündige Heizung täglich), so ergibt sich hierbei eine Ersparnis zugunsten der Einzelheizung in der Größenordnung vom 25—35%, welche aber von vielen Faktoren, wie z. B. Bauweise und Lage der Räumlichkeiten, Windverhältnisse, Temperaturdiagramm, Höhe der Wohnkultur usw. abhängt. Dabei darf nicht übersehen werden, daß man im Falle einer solchen intermittierenden Heizung mit einem etwa 2,5fachen Mehraufwand für Heizkörper usw. der kontinuierlichen Heizung gegenüber rechnen muß. Setzen wir im weiteren gleiche Jahreswärmemengen für beide

Lösungsmöglichkeiten voraus, so ergibt sich, daß die resultierende Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung eindeutig von der Größe und Abschreibung der Investitionskosten abhängt. Hierbei spielen bekanntlich der jährliche Abschreibungsfaktor und die Benutzungszahl im Jahr die größte Rolle.

Der Abschreibungsfaktor ist von vielen volkswirtschaftlichen Bedingungen abhängig; in Ungarn rechnet man bei den Investitionen der Energetik entsprechend einer Verdoppelung des Elektroenergiebedarfes in etwa 8 Jahren, um die finanziellen Bedingungen der erweiterten Reproduktion zu sichern, mit einem jährlichen Abschreibungsfaktor von 13,2% (bei einer Lebensdauer von 25 Jahren und einem Zinsfuß von 12,5% /Jahr). Prinzipiell könnte man bei Investitionen der Fernwärmeversorgung wegen der längeren Lebensdauer mit einem anderen (sicherlich niedrigeren) Abschreibungsfaktor rechnen, doch wird davon abgesehen um alle Investitionstätigkeiten auf dem Gebiete der Energetik einheitlich beurteilen zu können.

Somit bleibt als hauptsächlich zu verfolgendes Ziel bei der Fernwärmeversorgung die Herabsetzung der gesamten Investitionskosten, einerseits, und die Erhöhung der Ausnutzung, andererseits. Da aber das Wärmedargebot durch Umstände beeinflußt wird, die wir nicht beeinflussen können (Außentemperatur, Windverhältnisse usw.), so sind wir genötigt, die Jahresbenutzungszahl auf die vom Heizkraftwerk gelieferte elektrische Spitzenleistung zu beziehen und das Heizkraftwerk so zu bauen und zu betreiben, daß es imstande ist, die größtmögliche elektrische Leistung mit den niedrigsten Investitionskosten zu liefern. Das Heizkraftwerk muß also so gebaut und betrieben werden, daß es sich sowohl während der Anlaufperiode, d. h. während der Entwicklung des Heiznetzes, wie auch im normalen Betrieb den wechselnden Betriebsbedingungen anpaßt, womöglich viele elektrische Energie liefert, und daß es außerdem mit einer womöglich großen elektrischen Leistung sowohl zur Spitzendeckung als auch als Leistungsreserve zur Verfügung steht. Kurzgefaßt: *ein modernes Heizkraftwerk muß billig und mit einer maximalen Flexibilität geplant, gebaut und betrieben werden.*

2. Bewertbare Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Um den weiteren Ausführungen folgen zu können, müssen wir zunächst den Begriff der sog. *bewertbaren Leistungsfähigkeit des Heizkraftwerkes* einführen und erläutern. Dabei wird unter bewertbarer Leistungsfähigkeit eines neuen Kraftwerkes — denn die Einführung dieses Begriffes hat nur bei solchen einen Sinn — die Zunahme der Leistungsspitze verstanden, mit der die Verbraucher der Elektroenergie zufolge Einbaues des neuen Kraftwerkes in das Landesnetz im Jahres- oder Monatsdurchschnitt mit Sicherheit rechnen können.

Der Unterschied zwischen nomineller und bewertbarer Leistungsfähigkeit hängt von vielen Faktoren ab. Das sind z. T. solche, die auch bei den normalen Kondensationskraftwerken in Frage kommen, wie z. B. unvorhergesehene Ausfälle im Kraftwerk, Instandhaltungsarbeiten, Änderungen der Leistungsfähigkeit zufolge Temperaturänderungen des Kühlwassers und andere mehr. Beim Heizkraftwerk kommen hierzu die Schwankungen der Außentemperatur bzw. des Wärmebedarfes, die genau so wie die früher erwähnten Faktoren, statistische Verteilungswahrscheinlichkeiten aufweisen. Es müssen demzufolge die zum Ausgleich der fehlenden Leistung notwendigen Betriebsreserven nach der Methode der kombinierten Wahrscheinlichkeiten unter Zugrundelegung einer symmetrischen Verteilungskurve nach Gauß oder einer asymmetrischen nach Poisson bestimmt werden. Ohne hier auf die Einzelheiten einer solchen Rechnung einzugehen, möchte ich bloß bemerken, daß unter den Verhältnissen in Ungarn ein Gegendruckkraftwerk für reinen Heizbetrieb, aber kombiniert mit Bedarfswarmwasserlieferung, im ganzen Jahr eine bewertbare Leistungsfähigkeit besitzt, die nur etwa 30% der nominellen Leistungsfähigkeit ausmacht. Ist der Heizbetrieb mit Industriedampfabgabe des Gegendruckkraftwerkes kombiniert, so beträgt dieser Wert etwa 50—60%, bei Entnahme-Kondensationskraftwerken etwa 60—70%. (Zur Gegenüberstellung sei bemerkt, daß ein neues reines Kondensationskraftwerk eine bewertbare Leistungsfähigkeit von 75—77% der nominellen Leistungsfähigkeit hat.)

Diese bewertbare Leistungsfähigkeit ist ein sehr wichtiges Glied der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, da verschiedene Möglichkeiten zur Lösung einer gegebenen Aufgabe vom Standpunkte der Verfügbarkeit für das Verbundnetz nur dann einander gleichwertig sind, wenn ihre bewertbaren Leistungsfähigkeiten einander gleich sind. Ist dies — wie im allgemeinen — nicht der Fall, so müssen die einzelnen Lösungen durch die Annahme eines sog. *Ersatzkraftwerkes* auf die gleiche bewertbare elektrische Leistungsfähigkeit gebracht werden. Dieses sog. Ersatzkraftwerk ist selbstredend kein eigenes Kraftwerk, sondern ein hypothetischer Teil eines neu zu errichtenden, modernen Hochleistungskondensationskraftwerkes. Mit diesem Hilfsmittel ist man in der Lage, die *Zielsetzung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen* so zu formulieren, daß bei den verschiedenen Lösungen *dieselben Mengen elektrischer Energie und Wärme den Verbrauchern am Verbrauchsort betriebsicher und mit den geringsten Kosten zur Verfügung zu stellen sind, wobei auch derselbe Zuwachs an elektrischem Leistungsbedarf zu decken ist.* (Die Einführung des Ersatzkraftwerkes ermöglicht, die Kapazitätswerte der verschiedenen Lösungen auszugleichen, die elektrischen Energiemengen werden durch Übernahme aus dem Landesnetz oder Abgabe in dasselbe abgeglichen, während die Lieferung der gleichen Wärmemenge selbstverständlich Ausgangspunkt der Berechnungen ist.) Zweckmäßigerweise geht man bei solchen Berechnungen immer von den *Jahreskosten* aus, die zu *minimalisieren* sind. Bei genauen Berechnungen

sind die *Gesamtkosten bezogen auf die Lebensdauer des Kraftwerkes und der Heiznetze*, d. h. auf etwa 30 Jahre, zu ermitteln, wobei die Anlaufperioden mit niedrigeren Belastungen entsprechend kapitalisiert einzusetzen sind.

		<i>Kraftwerk</i>	
		<i>Gegendruck</i>	<i>Anz.-Kondensat</i>
1. <i>Investitionen:</i> <i>10⁶ Ft</i>	a) Heizkraftwerk (ohne b)	460	750
	b) Heißwasserkessel	67	45
	c) Ersatzkraftwerk	431	—
	a) bis c) zusammen	958	795
2. <i>Wärmekosten:</i> <i>10⁶ Ft</i>	a) Heizkraftwerk (ohne b)	891	2183
	b) Heißwasserkessel	160	29
	c) Ersatzkraftwerk	758	—
	a) bis c) zusammen	1809	2212
3. <i>Jahreskosten:</i> <i>10⁶ Ft</i>	a) Annuität	1456	1208
	b) Wärmekosten	1809	2212
	c) Instandhaltung Löhne	33,1	266
	Gesamtsumme	3596	2686

Abb. 1. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Um das Ergebnis einer solchen Berechnung vorzuführen, sind in Abb. 1 als Beispiel für eine reine Heizaufgabe von 170 Gcal/h mit einem zusätzlichen Warmwasserbedarf von 10%, zusammen also 187 Gcal/h, die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für ein Gegendruckkraftwerk bzw. für ein Anzapf-Kondensationskraftwerk in ungarischer Währung (Forint = Ft) gegenübergestellt.* Im Gegendruckkraftwerk ist eine Gegendruckturbine mit einer Schluckfähigkeit von 260 t/h mit variablem Gegendruck aufgestellt (der Gegendruck beträgt bei -15°C Außentemperatur 1,35 ata, bei der Auslegungslast von $+1,4^{\circ}\text{C}$ Außentemperatur 0,45 ata, bei der höchsten Außentemperatur von $+12^{\circ}\text{C}$ 0,1 ata). Die Stromkennzahl dieser Turbine, d. h. die Zahl der gelieferten kWh bezogen auf die abgegebene Heizwärme, ist zufolge der Expansion auf niedrigere Drücke um etwa 20–30% größer, als bei einer Anzapf-Kondensationsturbine. Dies ist einerseits eine Folge der bei dieser Lösung entfallenden Drosselverluste, andererseits der Tatsache, daß die Turbine immer im Bereich der höchsten Wirkungsgrade arbeitet, da die aufzuarbeitenden Dampfdurchsätze sich im selben Sinne ändern, wie der Gegendruck bzw. der Anzapfdruck. Zu dieser Turbine sind in der Berechnung zwei Hochdruckkessel (130 ata, 535°C) von je 130 t/h und dazu für die Heizspitzen je ein Heißwasserkessel von 50 resp. 25 Gcal/h zugeordnet, wobei letztere bei Außentemperaturen unter $+1^{\circ}\text{C}$ eingeschaltet werden und etwa 40% des Spitzenbedarfes decken.

* Entnommen einer Untersuchung des Institutes für Energiewirtschaft, Budapest

Im Anzapf-Kondensationskraftwerk würde eine Turbine mit einer Schluckfähigkeit von 360 t/h bei einem Kondensatordruck von 0,05 ata vorgesehen werden. Der minimale Dampfdurchsatz für den Kondensator beträgt 35 t/h. Es sind hierzu drei Kessel von je 120 t/h zugeordnet, mit denselben Anfangsparametern, wie die vorerwähnten. Diesmal sind aber zwei Heißwasserkessel von je 25 Gcal/h angenommen, die bei Außentemperaturen unter $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden und 27% des Spitzenbedarfes decken. (Es soll betont werden, daß beide Lösungen der ungarischen Praxis entsprechen und keinesfalls eine für die konkrete Aufgabe durchgeführte Optimierung darstellen.)

Das Heiznetz ist in beiden Fällen auf 130/70 $^{\circ}\text{C}$ bei $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ Außentemperatur ausgelegt, wobei bis zu einer Außentemperatur von $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ die Raumtemperatur bei 20 $^{\circ}\text{C}$ konstant gehalten werden soll.

In Abb. 1. sind zunächst die Investitionskosten für beide Lösungen in Millionen Ft angeführt, und zwar getrennt für das Kraftwerk und für die Heißwasserkessel. Im Falle des Gegendruckkraftwerkes kommen die Investitionskosten des Ersatzkraftwerkes, im konkreten Falle für eine bewertbare Leistungsfähigkeit von rd. 45 MW dazu, die die erste Variante investitionsmäßig besonders stark belasten. Es kann also sofort der Schluß gezogen werden, wie früher auf Grund rein qualitativer Überlegungen, daß es *unbedingt notwendig ist, die bewertbare Leistungsfähigkeit des Gegendruckkraftwerkes nach Möglichkeit zu erhöhen.*

In den Wärmekosten stellt sich das reine Gegendruckkraftwerk um etwa 20% billiger als das Anzapfkondensationskraftwerk, natürlich unter Berücksichtigung der vom Ersatzkraftwerk gelieferten Energiemengen bzw. deren Kosten.

In den totalen Jahreskosten ergibt sich in unserem Falle eine geringfügige Differenz (etwa 2,5%) zugunsten des Gegendruckkraftwerkes, wobei das Ergebnis natürlich sehr stark vom in Anschlag gebrachten Zinsfuß und von den klimatischen Verhältnissen abhängt.

3. Verbesserung der Wirtschaftlichkeit

Den Bestrebungen, die zur Zeit der elektrischen Spitzenbelastung verfügbare Leistungsfähigkeit, d. h. also die sog. *bewertbare Leistungsfähigkeit* zu erhöhen, kann man auf verschiedene Weise entgegenkommen. Diese Möglichkeiten, die alle unter dem Begriff des *flexiblen Aufbaues und Betriebes des Heizkraftwerkes* zusammengefaßt werden können, lassen sich um zwei Hauptthemen gruppieren:

a) Möglichkeiten, die bei der *Projektierung des Heizkraftwerkes* gegeben sind. Als solche sind zu nennen: die Dazuschaltung eines Kondensationssteiles, die absichtlich vorgesehene Überlastbarkeit des Heizkraftwerkes sowie der stufenweise Ausbau desselben;

b) Möglichkeiten, die in der *Betriebsart* liegen. So z. B. höhere Leistungsabgabe zur Zeit des täglichen Spitzenstrombedarfes, sowohl im Winter wie auch im Sommer, durch Speicherung der Wärme in den Heizleitungen resp. in den Warmwasserleitungen, oder die Verlagerung der Last zwischen den Turboaggregaten.

Im Nachstehenden sollen die einzelnen Möglichkeiten kurz erläutert werden.

3.1. Gegendruck-Entnahmekondensation, stufenweiser Aufbau

Die Frage der *Gegenüberstellung des reinen Gegendruckkraftwerkes und des Anzapf- bzw. Entnahmekondensationskraftwerkes vom Standpunkte der*

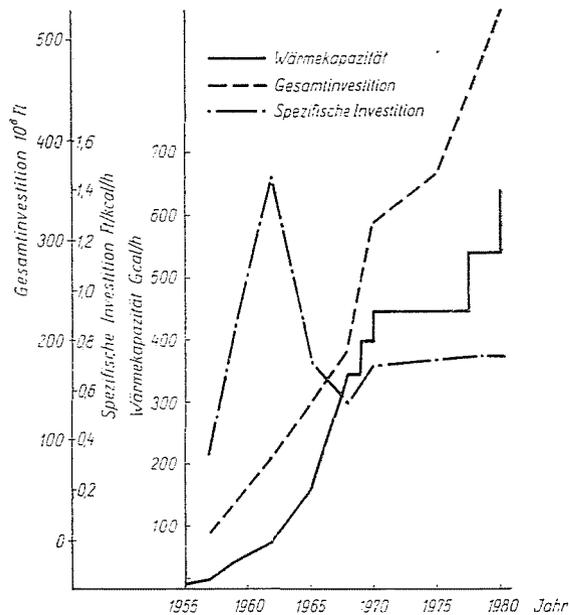


Abb. 2. Ausbaustufen des Heizkraftwerkes »Kelenföld«

Investitions- und Betriebskosten wurde im bereits behandelten Beispiel kurz erläutert. Es soll dazu noch ergänzend bemerkt werden, daß dieser Frage besonders beim stufenweisen Aufbau größte Bedeutung zukommt, da hierbei die interkalaren Zinsen mit Zinseszinsen die Investitionskosten um 25—30% erhöhen können. Welche Gewinne durch eine sorgfältige *Programmierung des Ausbaues* und Anpassung desselben an die zeitlich wachsenden Bedürfnisse erzielt werden können, sei anhand von zwei Beispielen erläutert.

Im ersten Beispiel, welches dem stufenweisen Umbau eines Mitteldruck-Kondensationskraftwerkes in ein Heizkraftwerk entspricht, das heute

bereits etwa 350 Gcal/h liefert und dessen weiterer Ausbau auf etwa 700 Gcal/h vorgesehen ist, sind die jeweils zur Verfügung stehenden Wärmekapazitäten in Abb. 2. angegeben. Das Bild zeigt auch den Ablauf der zur Umstellung notwendigen Gesamtinvestition in Millionen Ft, wie auch die auf die Einheit der abgegebenen Wärmemenge bezogenen spezifischen Investitionskosten in Ft/kcal, h. Aus letzterem Linienzug ist zu ersehen, daß die ersten spezifischen Investitionen recht günstig sind, und daß die stündliche kcal durchschnittlich mit etwa 0,75 Ft Investitionen erstellt werden kann. Das Versorgungsgebiet des Kraftwerkes umfaßt heute etwa 18 km², die angeschlossenen Hauptdampfleitungen haben eine Länge von etwa 10 km, die Heißwasserleitungen von etwa 30 km.

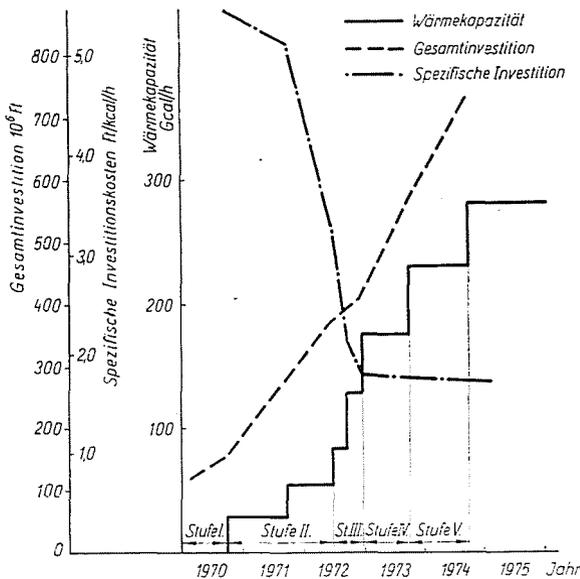


Abb. 3. Ausbaustufen des Industrie- und Heizkraftwerkes «Óbuda»

Das zweite Beispiel ist das eines neu zu erbauenden Industrie- und Heizkraftwerkes mit Anzapf-Gegendruckmaschinen für eine Wärmeleistung im Endausbau von etwa 280 Gcal/h. Gemäß Abb. 3 sind die spezifischen Investitionskosten der einzelnen Ausbaustufen anfänglich sehr hoch (über 5 Ft/kcal, h) und sie sinken auch im späteren Ausbau nur bis etwa 1,8 Ft/kcal, h, der Durchschnitt bleibt über 3 Ft/kcal, h. Es sei betont, daß auch in diesem Falle bestehende und alte Kessel betreibende Industriedampfverbraucher vorhanden sind, d. h. also daß die Wärmebedarfsentwicklung ziemlich rasch vor sich geht. Dieses Heizkraftwerk arbeitet nach dem reinen Gegendruckprinzip.

Im ersten Beispiel kostet die installierte spezifische Wärmekapazität nur etwa 45% des neuen Heizkraftwerkes, was nicht überraschend ist, wenn man bedenkt, daß die Kesselanlage bereits bestand, wobei aber die Verminderung der elektrischen Leistungsfähigkeit durch Übergang auf den Heizbetrieb natürlich mit den Kosten des Ersatzkraftwerkes in Rechnung gestellt wurde. Dieses umgebaute Heizkraftwerk ist dem Wesen nach also ein Entnahme-Kondensationskraftwerk, obwohl die Wärmelieferung heute bereits grundlegend mit dem Abdampf der Gegendruckturbinen erfolgt. Das Vorhandensein der Kondensationsmaschinen trägt aber entscheidend zur Verbilligung und zur Flexibilität des Ausbaues und des Betriebes bei.

3.2. Überlastbarkeit des Heizkraftwerkes

Wie das heute bei den Kondensationskraftwerken schon öfter ins Auge gefaßt und manchmal auch durchgeführt wurde, besteht auch bei Heizkraftwerken die Möglichkeit, das Kraftwerk überlastbar auszulegen, z. B. indem man die Temperatur des in den Dampfkessel eintretenden Speisewassers zur Zeit der größten Wärmeleistung oder der elektrischen Spitze herabsetzt. Der Kessel ist dabei im allgemeinen ohne weiteres imstande, bei derselben abgegebenen Dampfmenge die erhöhte Wärmeleistung herzugeben, da sich die maßgebenden Temperaturdifferenzen hauptsächlich beim Economizer und im Verdampferteil vergrößern. So wurde konkret ausgerechnet, daß ein Kessel von 120 t/h (130 ata, 535 °C) bei Abschaltung von zwei Hochdruckvorwärmern und demzufolge mit einer Speisewassertemperatur von 155 °C anstatt der nominellen 225 °C eine um 22% erhöhte Dampfmenge in das Industriedampfnetz abgeben kann, wobei die elektrische Leistung der Anzapf-Gegendruckturbine sich um rd. 13% erhöht. Dies bedeutet eine Einsparung an Investitionskosten und eine größere Flexibilität im Betrieb.

3.3. Betriebliche Möglichkeiten

Die betrieblichen Möglichkeiten, die elektrische Leistungsfähigkeit des Heizkraftwerkes z. Z. der Spitzenbelastung zu erhöhen, sind mannigfach. Es sollen hier nur drei von diesen, die in Ungarn alle praktisch erprobt sind, näher skizziert werden. Durch die Leistungserhöhung der Heizturbinen in der Spitzenzeit, die eine Überdimensionierung des Generators voraussetzt, ergibt sich die Möglichkeit, außer der Spitzenzeit *Blindleistung* im Kraftwerk zu erzeugen, was für das Landesnetz oder für die in der Nähe liegenden Verbraucher von Interesse sein kann. Außerdem besteht noch der bekannte Vorteil, daß wegen des saisonmäßig schwankenden Bedarfs an Elektroenergie diese im Winter wertvoller ist, als im Sommer.

Die untersuchten Möglichkeiten einer flexiblen Betriebsweise von Heizkraftwerken sind die folgenden:

3.31. Verminderte Heizlast während der Spitzenbelastung

Sind im Heizkraftwerk Entnahmekondensationsmaschinen eingebaut, oder hat das Kraftwerk *Entnahmekondensationscharakter* dem Umstand zufolge, daß Kondensationsturbinen und Gegendruckturbinen nebeneinander

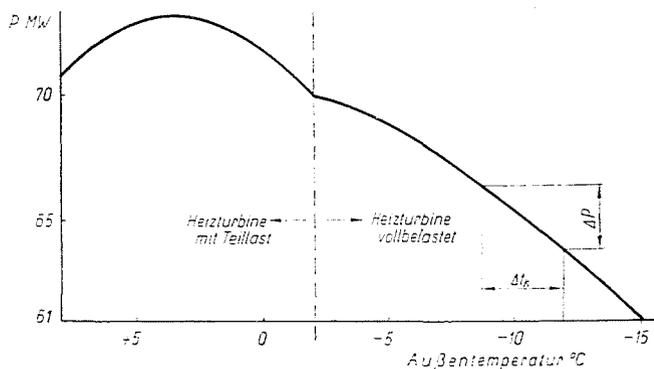


Abb. 4. Maximale Nettoleistung eines Industrie-Heizkraftwerkes bei konstanter Industriedampfabgabe in »Dunaújváros«

angeordnet sind, wobei die Leistung des Kraftwerkes kesselseitig begrenzt ist, so ergibt sich automatisch die Möglichkeit, zur Zeit der elektrischen Leistungsspitze den Kondensationsteil stärker zu belasten und gleichzeitig die Heizleistung zu vermindern, wobei die Vorlauftemperatur unter den normalen, zu der herrschenden Außentemperatur gehörenden Wert sinkt. Für ein konkretes, in Ungarn seit etwa 15 Jahren in Betrieb befindliches Heizkraftwerk ergibt sich gemäß Abb. 4, daß durch die Reduktion der Vorlauftemperatur um Δt_k eine elektrische Mehrleistung von ΔP herausgeholt werden kann. Die Abbildung zeigt die maximale Nettoleistung dieses Industrieheizkraftwerkes in Abhängigkeit von der Außentemperatur, wobei die Heizturbine mit ihrer nominellen Leistungsfähigkeit von 16,7 MW nur bei Außentemperaturen unter -2°C vollbelastet werden kann.

Bei einer solchen Fahrweise der Kondensationsmaschinen ist natürlich zu berücksichtigen, daß die erwähnte Mehrleistung mit einem Zuwachswärmeverbrauch erzeugt wird, welche nach dem Gesetz der Lastverteilung gemäß den gleichen Zuwachsverbräuchen die Lage und Größe der Mehrleistung vom Landeslastverteiler bestimmen läßt. Diese Zuwachsraten liegen im Allgemeinen sehr hoch, so daß diese Möglichkeit der elektrischen Leistungserhöhung zur Zeit der Spitze sowohl vom Gesichtspunkte der Lastverteilung, wie auch vom Gesichtspunkte der zulässigen Abnahme der Heißwassertemperatur begrenzt ist. (Ich möchte an dieser Stelle bemerken, daß man bei Heizkraftwerken, genau so wie bei Kondensationskraftwerken, den Zuwachswärmeverbrauch

rechnerisch ermitteln kann, nur muß hier wegen der kombinierten Erzeugung von Kraft und Wärme das Optimum des Gesamtwärmeverbrauches gesucht werden. Es handelt sich also um einen Zuwachs mit zwei voneinander unabhängigen Variablen. Der Effekt des Spitzenfahrens der Turbine ist damit zu kontrollieren.)

3.32. Erhöhte Heizlast während der Spitzenbelastung

Die entgegengesetzte Methode, während der elektrischen Leistungsspitze die Heizzurbinen höher zu belasten, ist wirkungsvoller und ermöglicht, den erwähnten ungünstigen Umstand der Belastung der Kondensationsmaschinen

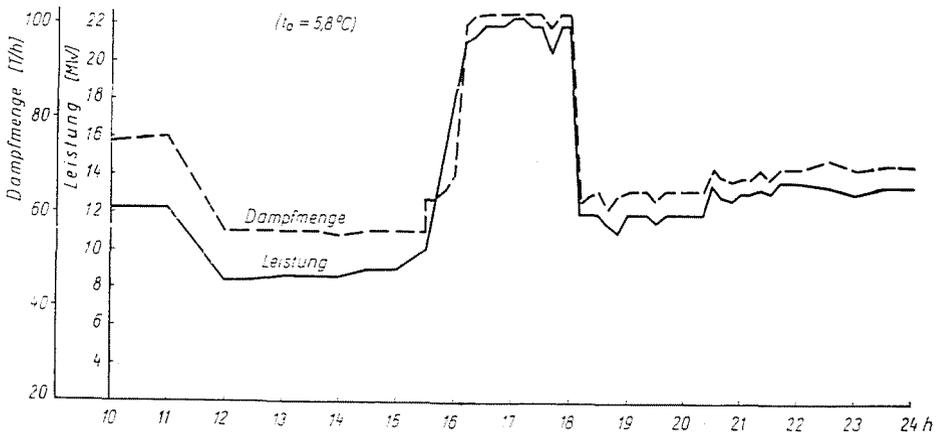


Abb. 5. Diagramm der Dampfmenge und der elektrischen Leistung im Heizkraftwerk »Kelenföld« (31. 3. 1966)

mit einem relative schlechten Zuwachswärmeverbrauch zu vermeiden. Dieses Verfahren wurde in Ungarn im bereits erwähnten und für Heizbetrieb umgebauten Kraftwerk unter Mitarbeit des Instituts für Energiewirtschaft praktisch erprobt und hat sich bewährt. Näher betrachtet, besteht das Verfahren darin, daß — gemäß Abb. 5, aufgenommen am 31. März 1966 bei einer mittleren Außentemperatur von $5,8^\circ\text{C}$ — vor der Erreichung der elektrischen Leistungsspitze Leistung und aufgearbeitete Dampfmenge in der Gegendruckturbine reduziert werden, wodurch die Vorlauftemperatur in den Heizleitungen sinkt. Während der elektrischen Leistungsspitze wird dann die Aufheizung des Heißwassers stark erhöht, wobei die elektrische Leistung der Gegendruckturbine nicht unwesentlich steigt. Die Abbildung zeigt die durch die Heizzurbinen gehende Dampfmenge mit gestrichelten Linien. Die vollausgezogenen Linien zeigen eine Erhöhung der elektrischen Leistung von 8 auf 22 MW bzw. von der zur gegebenen Außentemperatur von $+5,8^\circ\text{C}$ gehörigen

mittleren Leistung von 12 auf 22 MW, d. h. es liegt eine Mehrleistung der Heizzurbine über 80% vor, was die bewertbare Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit entsprechend erhöht. Die Rücklauftemperatur des Heizsystems folgt dabei mit einer gewissen Verzögerung, wie dies der Abb. 6 zu entnehmen ist.

Von der Zentrale gehen mehrere große Heizleitungen aus. Für eine der Hauptleitungen von etwa 4 km Länge und 600 mm \varnothing ist die Rücklauftemperatur in Abb. 6 durch vollausgezogene Linien dargestellt. Obwohl die Reduk-

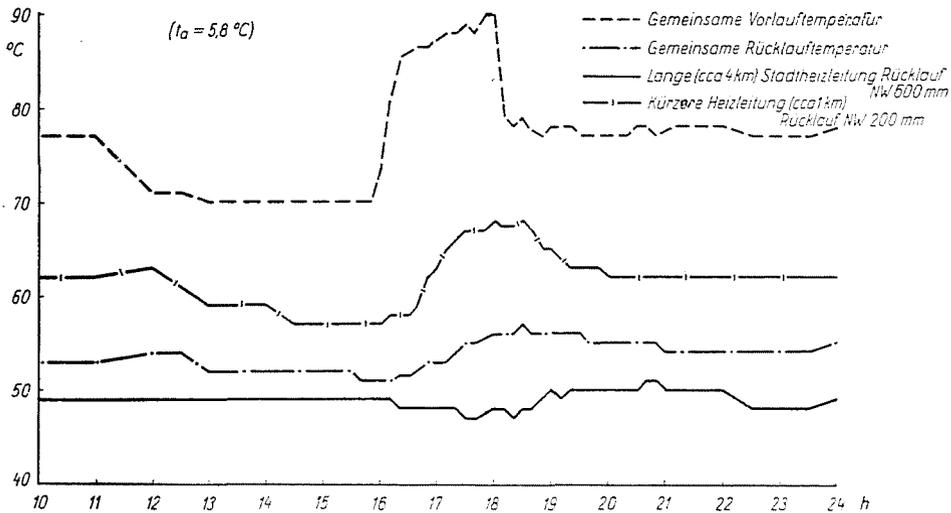


Abb. 6. Heißwassertemperatur im Heizkraftwerk »Kelenföld« (31. 3. 1966.)

tion der Heizleistung bereits um 12 Uhr begonnen hat, nimmt die Rücklauftemperatur bei der Zentrale erst etwa von 16 Uhr an ab. Eine geringfügige Erhöhung der Rücklauftemperatur in dieser Leitung über den eingestellten Wert, als Folge des stärkeren Aufheizens während der elektrischen Spitze, ergibt sich nur etwa um 21 Uhr. Ist die Leitung kürzer (wie für eine Leitung von etwa 1 km Länge und 200 mm \varnothing eingezeichnet), so erfolgen die Beeinflussungen der Rücklauftemperatur natürlich bedeutend früher. Für die Leistung der Turbine sind aber die Mischtemperaturen des Rücklaufes maßgebend, wie sie etwa den strichpunktierten Linien in Abb. 6 zu entnehmen sind. Die gemischte Rücklauftemperatur erreicht etwa 3–3,5 Stunden nach der begonnenen stärkeren Aufheizung einen Wert, der höher ist, als der gewünschte. Die Vorlauftemperatur geht selbstverständlich mit der die Turbine durchströmenden Dampfmenge schon bedeutend früher hoch (kurz gestrichelte Linien). Die Verzögerung in der Erhöhung der Rücklauftemperatur

ist — wie dargelegt — um so größer, je länger das Verteilungssystem und je größer der Durchmesser der Hauptleitungen, d. h. je größer das Speichervermögen des Heiznetzes ist. Schaltet man in das Heiznetz noch größere Wasserspeicher ein, so ergibt sich natürlich eine noch größere Möglichkeit zur Erhöhung der elektrischen Leistung, da die Speicherkapazität des Heiznetzes erhöht wird.

Es sei bemerkt, daß bei dieser Betriebsart in den einzelnen Wohnräumen Schwankungen der Raumtemperatur nur in der Größenordnung von 1—2 °C auftraten, also nicht wesentlich waren, wobei bei uns derzeit in den Verteilerstationen noch keine verlässlichen Temperaturregler eingebaut sind. Das Vorhandensein solcher Regler würde selbst diese geringen Temperaturänderungen in den Wohnräumen ausschalten, allerdings auf Kosten einer etwas früher einsetzenden Temperaturerhöhung in den Rücklaufleitungen.

Die skizzierte Betriebsart ist in erster Linie *bei Gegendruckturbinen mit veränderlichem Gegendruck zu empfehlen*, da diese durch Ausschaltung der Drosselverluste den Belastungsänderungen sehr flexibel folgen können.

Im vorliegenden Beispiel hat sich ergeben, daß die *durchschnittliche Leistungsfähigkeit der Heizturbine um etwa 35% größer ist, als ohne Spitzenfahren*, was die Wirtschaftlichkeit des Heizkraftwerkes in der Größenordnung von 10% erhöht. Dabei ist selbstredend auch der Umstand berücksichtigt, daß außerhalb der Spitze, d. h. während des Entladens des Heizsystems, die Leistung der Gegendruckturbine gesenkt, ja daß diese eventuell ganz abgestellt werden muß. Auch dem Umstand wurde Rechnung getragen, daß die Heizturbine zeitweise mit einem schlechteren thermodynamischen Wirkungsgrad arbeitet, was einer Verminderung der erzeugten elektrischen Energie um etwa 0,5% während einer Saison gleichkommt, gegenüber dem Falle, wenn die Turbine immer der jeweiligen Außentemperatur entsprechend in stationärem Betrieb arbeiten würde.

Zu dieser Betriebsart sei noch bemerkt, daß eine *Steigerung der umlaufenden Heißwassermenge* zur Zeit der elektrischen Leistungsspitze die Verhältnisse bezüglich Mehrleistung in der Turbine noch weiter verbessert, und daß die in einzelnen Ländern übliche Betriebsart, z. Z. der Heizspitze mit geringeren Wassermengen und höheren Vorlauftemperaturen zu fahren, aus diesem Gesichtspunkte nicht zu empfehlen ist. Eine andere Frage ist natürlich, daß hierzu in den einzelnen Unterstationen gute Automaten zur Einregelung der hydrodynamischen Drücke notwendig sind, und daß die Frage der Gesamtwirtschaftlichkeit nur unter Berücksichtigung sämtlicher Kosten, d. h. natürlich auch der Investitionen für Rohrleitungen usw., beurteilt werden kann.

3.33. *Fahren der Heizzurbine im Sommer*

Die dritte Möglichkeit knüpft an die Tatsache an, daß die für den Heizbetrieb eingebauten reinen Gegendruckturbinen — die nur in der Heizperiode in Betrieb gehalten werden können — außerhalb der Heizperiode außer Betrieb stehen. Versorgt das Heizkraftwerk auch die Gebrauchswarmwasserversorgung, so ist deren Wärmebedarf so gering, daß dieser selbst für eine minimale Belastung der Turbine nicht ausreicht. Demzufolge ist die für die Wirtschaftlichkeitsberechnung grundlegende bewertbare Leistungsfähigkeit der Heizzurbine im Jahresdurchschnitt äußerst gering. Benützt man aber *die Heizzurbine im Sommer zur periodischen Erzeugung des Gebrauchswarmwassers*,** indem diese etwa einmal im Tag z. B. drei Stunden lang oder zweimal für je zwei Stunden in Betrieb gehalten wird und während dieser Zeit durch Aufheizen des Warmwassersystems die für den ganzen Tag benötigte Warmwassermenge erzeugt, so ist die derart gewinnbare elektrische Leistung sehr wertvoll, da die Periode des Aufheizens gerade auf die Zeit der elektrischen Leistungsspitze gelegt werden kann, um so mehr, da diese mit dem größten Warmwasserverbrauch zeitlich ziemlich übereinstimmt. Diese Betriebsart bedeutet natürlich ein täglich ein- oder zweimaliges Anfahren resp. Abstellen der Heizzurbine. Die im Gegendruck erzeugte elektrische Energie und die bewertbare Leistungsfähigkeit sind aber wesentlich größer, als wenn von dieser Möglichkeit kein Gebrauch gemacht wird. Selbstredend ist auch diese Betriebsart — genau so wie die beiden früher erwähnten — nur dann gangbar, wenn die notwendigen Kesselkapazitäten des Kraftwerkes in der Zwischenzeit ausgenutzt werden können, bzw. wenn ältere Kessel vorhanden sind, die eben eine solche elastische Fahrweise ermöglichen. Daß diese Betriebsart gewisse Komplikationen mit sich bringt, sei nicht verschwiegen.

Zusammenfassung

Die Fernheizung, als eine zeitgemäße Art der Erhöhung der Wohnkultur hat bekanntlich viele Vorteile. So z. B. gleichmäßig temperierte Wohnräume, Vermeidung der Verunreinigung der Luft durch schädliche Rauchgase und Flugasche, praktisch unbegrenzte Lebensdauer der Heizkörper ohne lästige und kostspielige Instandhaltungsarbeiten, keine Bedienung usw. Trotz all dem setzen sich in vielen Ländern dieser Entwicklung Kräfte entgegen, die sich in erster Linie auf wirtschaftliche Betrachtungen stützen. Wie in allen anderen Gebieten der Technik und der Wirtschaft ist der Konkurrenzkampf für die Förderung einer an und für sich guten Sache immer vorteilhaft. So sind die Anhänger der Fernwärmeversorgung gezwungen, Wege und Mittel zu suchen um die Wirtschaftlichkeit dieses Industriezweiges zu erhöhen. Eine der wichtigsten Möglichkeiten ist die maximale Flexibilität im Ausbau und Betrieb der Fernheizkraftwerke und der Fernheizeinrichtungen, wofür im Vorstehenden einige Beispiele angeführt sind.

Prof. Dr. András LÉVAI, Budapest, XI. Műegyetem rakpart 3, Ungarn

** Ein Vorschlag des Instituts für Energiewirtschaft, Budapest