

EINIGE BEMERKUNGEN ZUM ANHEIZZUSCHLAGFAKTOR

Von

A. ZÖLD

Lehrstuhl für Heizung, Lüftung und Bauinstallation, Technische Universität,
Budapest

(Eingegangen am 12. November 1970)

Vorgelegt von Prof. Dr. Á. MACSKÁSY

Der »Aufheizzuschlag« drückt laut Definition für den Fall der periodischen Heizung die zu installierende Mehrleistung aus.

Im folgenden werden die Ausgangsbedingungen für die Bestimmung des Aufheizzuschlags genannt. Später werden der Rechenweg und das Ergebnis vorgestellt.

Bei der Bestimmung des Aufheizzuschlags kann von verschiedenen Anforderungen ausgegangen werden. Solche Ausgangsforderungen können die folgenden sein:

- die *zulässige Abkühlung* bis zum Ende der Betriebspause,
- die *durchschnittliche* Raumtemperatur während des Betriebes,
- die *Schwankung* zwischen der maximalen und minimalen Raumtemperatur,
- die Aufheizgeschwindigkeit, d. h. die Zeit, die von der Betriebsruhe bis zum Erreichen der vorgeschriebenen Temperatur notwendig ist (Aufheizzeit),
- die Raumtemperatur soll vom Ende des Aufheizzeitabschnitts bis zum Ende des Heizabschnitts im Durchschnitt den vorgeschriebenen Wert haben, und ihre Schwankungen seien gering.

Als Ausgangsbedingungen wurden für den letztgenannten Typ geeignete Werte ausgewählt. Für die Ermittlung des Aufheizzuschlages wurde davon ausgegangen, daß die Raumtemperatur nach einer bestimmten Aufheizzeit den vorgeschriebenen Wert haben soll. Für die Aufheizzeit wurden willkürlich 2 Stunden, für den Fall eines Heizbetriebs 12 Stunden und 3 Stunden für Heizbetriebszeiten über 12 Stunden bei der Berechnung berücksichtigt.

Um die Wirkung der periodischen Heizung beurteilen zu können, wurde auch in jedem Falle errechnet, wie groß die Schwankung zwischen maximaler und minimaler Raumtemperatur sein wird. Die hierbei erhaltene Schwankung der Raumtemperatur liefert den Ausgangspunkt für die Entscheidung, welche periodische Heizung hinsichtlich der Betriebszeiten unter gesundheitlichen und

sonstigen Gesichtspunkten angewendet werden soll. Der Rechenweg wurde auf Grund der in der Literatur [1] angegebenen Zusammenhänge ausgearbeitet.

Zur Vereinfachung der Berechnung wurde statt des Temperaturunterschiedes zwischen äußerer und innerer Temperatur eine mit der Umgebungstemperatur im Verhältnis stehende Übertemperatur eingeführt:

$$\vartheta_i = t_i - t_u.$$

Im vorliegenden Falle wird deshalb der Faktor t_u verwendet, weil vom Raum nicht nur an die Außenluft, sondern auch an die umgebenden Räume Wärme

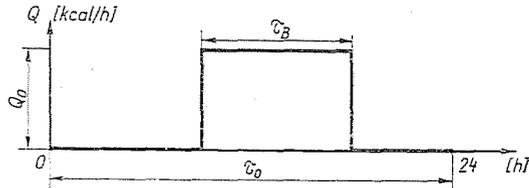


Abb. 1

abgegeben werden kann. Die »Umgebungstemperatur« besteht also aus der Außentemperatur und den gewogenen Mitteln der mit den Produkten (Fk) im Verhältnis bestehenden inneren Temperaturen der mit dem Bezugsraum im Wärmeaustausch befindlichen Nachbarräume.

Ändert sich in einem Raum die Wärmeabgabeleistung in Abhängigkeit von der Zeit nach Abb. 1 so, ergeben sich für die Änderung der Raumübertemperatur — während der Wärmeabgabeperiode

$$\vartheta_i' = Q_0 \left(\frac{\Omega}{\sum_{\text{gesamt}} FU} + \frac{1 - \frac{\tau'}{\tau_0}}{\sum_{\text{gesamt}} F \alpha_i} + \frac{\frac{\tau'}{\tau_0}}{\sum_{\text{Wärme}} F \cdot k} \right) \quad (1)$$

— während der Betriebspause

$$\vartheta_i'' = Q_0 \left(\frac{\Omega}{\sum_{\text{gesamt}} FU} - \frac{\frac{\tau'}{\tau_0}}{\sum_{\text{gesamt}} F \cdot \alpha_i} + \frac{\frac{\tau'}{\tau_0}}{\sum_{\text{Wärme}} F \cdot k} \right). \quad (2)$$

Hierbei bedeuten:

U — Wärmeeindringungszahl [$\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$]

τ' — Betriebsdauer [h]

τ_0 — Periodendauer 24 h

Q_0 — Wärmeabgabeleistung [kcal/h]

Ω — Hilfsfaktor, in der Literatur [1, 2] als Funktion der Zeit- und Betriebsdauer angegeben.

Der Ausdruck unter dem Summenzeichen, »Wärme« gilt jeweils für die Raumbegrenzungen, durch die ein Wärmeaustausch erfolgt.

Aus der Gleichung ergibt sich bei einem gegebenen Wert für ϑ_i

$$Q_0 = \frac{\vartheta_i'}{\frac{\tau'}{\tau_0} + \frac{1 - \frac{\tau'}{\tau_0}}{\sum_{\text{gesamt}} Fz_i}} \left(\frac{\Omega}{\sum_{\text{gesamt}} FU} + \frac{\tau_0}{\sum_{\text{Wärme}} Fk} \right) \quad (3)$$

ϑ_i bezieht sich auf den Zeitpunkt, für den die Substitution durchgeführt wurde. Wenn demnach der sich auf das Ende der Aufheizzeit beziehende Hilfsfaktor Ω eingesetzt und eine der gewünschten, vorgeschriebenen inneren Temperatur entsprechende Übertemperatur berücksichtigt wird, errechnet sich der Wert Q_0 aus Gleichung (3). Das ist die Leistung, die dazu notwendig ist, um die gewünschte Temperatur nach der Aufheizung zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erreichen. Falls in die Gleichung für den Hilfsfaktor Ω ein sich auf eine gewisse Zeitdauer beziehender Durchschnittswert eingesetzt und im Zähler die sich auf diese Zeitdauer beziehende durchschnittliche Raumüber-temperatur berücksichtigt wird, kann die Leistung ermittelt werden, die bei der periodischen Heizung dazu notwendig ist, um während der gewünschten Zeitdauer eine vorgeschriebene durchschnittliche Raumtemperatur aufrecht-zuerhalten.

Entsprechend der Interpretation wird

$$Q = \left(1 - \frac{P_a}{100} \right) Q_D.$$

Die vorige Gleichung (3) in diese eingesetzt liefert

$$1 + \frac{P_a}{100} = \frac{\bar{\vartheta}_i'}{\sum_{\text{Wärme}} Fk \bar{\vartheta}_i'} \left(\frac{\Omega}{\sum_{\text{gesamt}} FU} + \frac{\tau'}{\sum_{\text{Wärme}} Fk} + \frac{1 - \frac{\tau'}{\tau_0}}{\sum_{\text{gesamt}} Fz_i} \right) \quad (4)$$

Auf Grund der Ausgangsbedingung ist vorgeschrieben, daß die Raumtemperatur vom Ende der Aufheizperiode bis zum Ende der eigentlichen Heizbetriebsperiode dem geforderten Wert $\bar{\vartheta}_i'$ entspreche. Das ist gerade die Temperatur, die bei Dauerheizung ebenfalls gewährleistet werden muß; damit gilt:

$$\bar{\vartheta}_i' = \vartheta_{i,\text{gef}}.$$

Unter Einführung des Begriffs für die mittlere Wärmeeindringungszahl

$$\bar{U} = \frac{\sum_{\text{gesamt}} FU}{\sum_{\text{gesamt}} F} \quad (5)$$

der mittleren Wärmedurchgangszahl

$$\bar{k} = \frac{\sum_{\text{Wärme}} Fk}{\sum_{\text{Wärme}} F} \quad (6)$$

und der das Verhältnis zwischen der »Wärmeaustauschfläche« und der gesamten Oberfläche ausdrückenden Beziehung

$$\psi = \frac{\sum_{\text{Wärme}} F}{\sum_{\text{gesamt}} F} \quad (7)$$

verändert sich Gleichung (4) zu

$$\begin{aligned} 1 + \frac{P_a}{100} &= \frac{1}{\frac{\sum_{\text{gesamt}} Fk}{\text{Wärme}} \bar{\Omega} + \frac{\tau'}{\tau_0} \frac{\sum_{\text{gesamt}} Fk}{\text{Wärme}} + \left(1 - \frac{\tau'}{\tau_0}\right) \frac{\sum_{\text{gesamt}} Fk}{\sum_{\text{gesamt}} F \alpha_i}} = \\ &= \frac{1}{\psi \frac{\bar{k}}{\bar{U}} \bar{\Omega} + \frac{\tau'}{\tau_0} + \left(1 - \frac{\tau'}{\tau_0}\right) \frac{\bar{k}}{\alpha_i} \psi} \quad (8) \end{aligned}$$

Mittels einfacher Umstellung ergibt sich der Aufheizzuschlag:

$$P_a = \frac{1}{\psi \frac{\bar{k}}{\bar{U}} \bar{\Omega} + \frac{\tau'}{\tau_0} + \left(1 - \frac{\tau'}{\tau_0}\right) \frac{\bar{k}}{\alpha_i} \psi} - 1 \quad (9)$$

In Gleichung (9) wird für den Hilfsfaktor $\bar{\Omega}$ ein dem vorgenannten entsprechender Mittelwert eingeführt, der sich auf die Zeitdauer zwischen dem Ende der Aufheizperiode und dem Ende der Heizbetriebsperiode bezieht.

Aus Gleichung (9) ist zu erkennen, daß folgende Faktoren den Aufheizzuschlag bestimmen:

- die Länge der Heizbetriebsdauer (s. Glied $\frac{\tau'}{\tau_0}$, den Multiplikator im
- 3. Glied des Nenners $1 - \frac{\tau'}{\tau_0}$ und schließlich im ersten Glied $\bar{\Omega} = f\left(\frac{\tau'}{\tau_0}\right)$);

— die wärmetechnischen Eigenschaften des Raumes: der verhältnismäßige Anteil der »Wärmeaustauschflächen«, die aus der mittleren Wärmedurchgangszahl und der mittleren Wärmeeindringungszahl gebildete, dimensionslose Kennziffer sowie der aus der mittleren Wärmedurchgangszahl und der Wärmeübergangszahl gebildete, dimensionslose Quotient.

Um eventuellen Mißverständnissen vorzubeugen, sei hier erwähnt, daß in den mit Gleichung (9) ermittelten Ergebnissen die verglasten Flächen ebenfalls berücksichtigt sind. Für die Wärmeeindringungszahl einer verglasten Fläche gilt:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + R}.$$

Der Wärmedurchgang durch die verglasten Flächen sowie das Verhältnis der »Wärmeaustauschflächen« wird durch die evidenten Größen in Gleichung (9) ausgedrückt.

Der u. U. recht bedeutende Zahlenwert von α beeinflusst in nicht vernachlässigbarem Maße den Zahlenwert des Aufheizzuschlags.

In Gleichung (9) erscheint die zum Aufheizen der Heizanlage selbst und des Heizmediums notwendige Wärmemenge nicht gesondert. Eine Berücksichtigung derselben in der Gleichung würde keine Schwierigkeiten verursachen, ist aber nicht unbedingt notwendig. Die Systemträgheit wirkt sich ohnehin in zweifacher Weise aus: einmal verzögert sie die Aufheizung bis zu einem gewissen Grade, zum anderen verzögert sie dann aber nach dem Ende des Heizungsabschnitts die Abkühlung. Während der Abkühlphase wird die Wärmemenge abgegeben, die die Anlage im Laufe der Aufheizphase aufgenommen hat. Dieses Verhalten ist eigentlich nicht ungünstig, weil dadurch die plötzlichen Temperaturänderungen am Anfang und Ende der Heizphase »geglättet« werden und demgegenüber nur eine geringfügige Verschiebung der Temperatur—Zeit—Funktion besteht.

Natürlich kann die periodische Heizung nicht unbegrenzt angewendet werden, falls Abkühlung oder Schwankung der Raumtemperatur durch einen zulässigen Wert begrenzt sind. Die Kontrolle ist mit Hilfe der Gleichungen (1) und (2) möglich. Wenn in Gleichung (1) der sich auf das Ende der Heizbetriebspause und in Gleichung (2) der sich auf das Ende der Betriebsphase beziehende Hilfsfaktor Ω eingesetzt werden, ergeben sich die maximale und die minimale Raumübertemperatur.

Aus dem Unterschied der beiden läßt sich die Schwankung der Raumtemperatur ausdrücken

$$\Delta\theta_i = Q_0 \left(\frac{\Omega_{\tau_B} - \Omega_{24}}{\sum_{\text{gesamt}} FU} + \frac{1}{\sum_{\text{gesamt}} F\alpha_i} \right). \quad (10)$$

Auf Grund der vorigen Gleichungen wurde für konkret gegebene Fälle der Zuschlagfaktor unter Berücksichtigung verschiedener Gebäudearten und unterschiedlicher Betriebszeiten bestimmt. Außerdem wurde die Schwankung der inneren Temperatur untersucht. Die in Tabelle 1 zusammengestellten Ergebnisse bieten einen guten Einblick in einige der Berechnungen. (Die Werte

Tabelle 1

Konkrete notwendige Werte des Aufheizzuschlagfaktors für einige Spezialfälle bei der üblichen, sogenannten »Konvektionsheizung«

		Betriebsdauer [h]			8			12			16		
		Anteilverhältnis der Wärmeaustauschfläche im Verhältnis zur gesamten Oberfläche ψ			0,2	0,5	0,8	0,2	0,5	0,8	0,2	0,5	0,8
Mittlere Wärmedurchgangszahl \bar{k} der »Wärmeaustauschfläche« kcal/m ² h °C	0,91	Mittlere Wärmeabdringungszahl \bar{U} kcal/m ² h °C	3	168	128	101*	87	67	57*	43	35	28	
			5	180	151	129	91	79	69	45	39	33	
			8	187	165	148	93	84	76	46	41	37	
		1,67	3	140*	82*	50*	73	45*	25*	35	20*	12*	
			5	153	109*	86*	80	56*	39*	39	25*	15*	
			8	168	129	110*	84	64	44*	41	28	18*	
	2,31	3	123*	58*	25*	65*	30*	15*	31	15*	10*		
		5	144*	88*	55*	73*	45*	25*	35	18*	12*		
		8	158*	110*	78*	78*	54*	35*	37	21*	14*		

gelten für eine normale, sogenannte »Konvektionsheizung«.) Auf Grund der Tabellenwerte kann die Wirkung der den Zuschlagfaktor beeinflussenden Parameter wie folgt charakterisiert werden:

— Eine Verlängerung der *Betriebsphase* bewirkt eine Verminderung des Zuschlagfaktors und der Schwankung der inneren Temperatur, was vollkommen einleuchtend ist, weil dem Raum die für den ganzen Tag notwendige Wärmemenge über einen längeren Zeitabschnitt mitgeteilt werden kann. Außerdem wird die Wärmezufuhr gleichmäßiger.

— Eine Vergrößerung des *Anteilverhältnisses der »Wärmeaustauschflächen«* hat eine Verminderung des Zuschlagfaktors zur Folge, weil nämlich in diesem Falle mehrere raumabschließenden Teile vorhanden sind, die auch im »aufgeheizten« Zustand relativ niedrige Temperaturen haben und somit in der Heizbetriebspause wenig Wärme abgeben.

— Mit der Erhöhung der mittleren *Wärmedurchgangszahl \bar{k}* der »Wärmeaustauschflächen« sinkt der Zuschlagfaktor, wobei die Schwankung der Raumtemperatur ansteigt. Die durch Baukonstruktionen mit hohen Wärmedurchgangszahlen umgebenen Räume kühlen sich rascher ab und somit wird der Wärmeverlust während der Betriebspausen geringer.

— Eine Erhöhung der mittleren Wärmeeindringungszahl \bar{U} der angrenzenden äußeren und inneren Baukonstruktionen führt zu einer Vergrößerung des Zuschlagsfaktors und einer Verminderung der inneren Temperaturschwankungen, weil die in den Umfassungswänden aufgespeicherte Wärme während der Betriebspause lange Zeit die Wärmeverluste des Raumes deckt. Die Raumtemperatur fällt während der Betriebspause nur um einen geringen Wert, wobei der Wärmeverlust während der Betriebspause hoch bleibt.

— Mit steigender innerer Wärmeeindringungszahl erhöht sich der Aufheizzuschlag und sinkt die Schwankung der Raumtemperatur, weil sich die den Raum umgebenden Baukonstruktionen bei höheren Wärmeeindringungszahlen stärker erwärmen und somit mehr Wärme speichern können.

Die obigen Tendenzen machen sich natürlich in ihrer reinen Form nur dann bemerkbar, wenn nur ein einziger Parameter geändert wird und die Werte sämtlicher sonstiger Parameter fixiert werden. Die Analyse der Werte in Tabelle 1 bestätigt diese Feststellung.

In Tabelle 1 wurden jene Fälle mit dem Zeichen * versehen, bei denen die Schwankung der Raumtemperatur größer war als die im allgemeinen zulässigen 3 °C. Gebäude mit solcher wärmetechnischen Charakteristik sollten bei den genannten Betriebszeiten nur für untergeordnete Zwecke verwendet werden (z. B. Lagerräume) oder bei nur zeitweiser Nutzung (z. B. Schulen). Sonst müssen diese Gebäude bei längeren Betriebszeiten oder im Dauerbetrieb beheizt werden.

Auf Grund der gemeinsamen Wirkung der verschiedenen Parameter in der Tabelle lassen sich folgende Feststellungen machen:

— Bei »kurzer« Betriebsdauer ($\tau_B < 9$ h) sind die Wirkungen sämtlicher erwähnter Parameter von Bedeutung. Die Abweichungen der zahlenmäßigen Werte sind sehr groß.

— Bei »mittlerer« Betriebsdauer ($\tau_B = 10 \dots 13$ h) vermindert sich die Abweichung der zahlenmäßigen Werten. Die Wirkung einer Änderung der mittleren Wärmeeindringungszahl \bar{U} ist schwächer als die Wirkung der anderen Parameter (k, ψ).

— Bei »langer« Betriebsdauer ($\tau_B > 14$ h) ist der Unterschied zwischen den zahlenmäßigen Werten relativ klein. Unter den Parametern hat eine Änderung von ψ die bedeutendste Wirkung.

In Tabelle 2 wurden die bei einer üblichen Konvektionsheizung für den Zuschlagfaktor *vorgeschlagenen* Werte zusammengefaßt. Bei der Bestimmung der zu den gemeinsamen Zuschlagfaktoren gehörenden Intervalle der einzelnen Parameter wurde berücksichtigt, daß im Laufe der Wärmebedarfsrechnung die Ermittlung der mittleren Wärmeeindringungszahl nur mittels eines groben Näherungsverfahrens oder schätzungsmäßig möglich ist. Dementsprechend konnte bei einer Betriebsdauer von 10 h oder darüber die Wirkung

Tabelle 2

Vorgeschlagene Werte für den Aufheizzuschlagfaktor für Räume mit der üblichen, sogenannten »Konvektionsheizung«

Betriebsdauer		7—9 [h]			10—13 [h]			14 [h]			
		bis 1/3	1/3— 2/3	von 2/3	bis 1/3	1/3— 2/3	von 2/3	bis 1/3	1/3— 2/3	von 2/3	
Mittlere Wärmedurchgangszahl \bar{k} der »Wärmeaustauschfläche« [kcal/m ² h °C]	-1,20	Wärmeeindringungszahl für »leichte« Gebäude									
		$\bar{U} < 5$ [kcal/m ² h °C]	170	135	115						
		$\bar{U} > 5$ für »schwere« Gebäude [kcal/m ² h °C]	185	160	140	90	75	70	45	40	30
	1,20—	$\bar{U} < 5$ für »leichte« Gebäude [kcal/m ² h °C]	145	95	65						
	2,00	$\bar{U} > 5$ für »schwere« Gebäude [kcal/m ² h °C]	165	120	95	80	55	35	40	25	15
	2,0—	$\bar{U} < 5$ für »leichte« Gebäude [kcal/m ² h °C]	135	75	40						
	$\bar{U} > 5$ für »schwere« Gebäude [kcal/m ² h °C]	150	100	65	70	45	25	35	20	15	

der Funktion der mittleren Wärmeeindringungszahl vernachlässigt werden, weil ihre Berücksichtigung den Zuschlagfaktor nur um wenige Prozente beeinflusst.

Aus dem gleichen Grunde wurden für eine Betriebsdauer unter 10 h auch nur zwei Kategorien für die Funktion der mittleren Wärmeeindringungszahl \bar{U} festgelegt.

Zusammenfassung

Der »Aufheizzuschlag« drückt laut Definition für den Fall der periodischen Heizung die Mehrleistung aus, die installiert werden muß. Es werden die Ausgangsbedingungen, der Rechenweg und Ergebnisse vorgestellt. Auf Grund der Analyse der Ergebnisse von etwa 800 Varianten wird die Wirkung der den Zuschlagfaktor beeinflussenden Parameter charakterisiert. In den Tabellen sind die bei herkömmlicher Konvektionsheizung für den Zuschlagfaktor vorgeschlagenen Werte zusammengefaßt. Um die Wirkung einer periodischen Heizung beurteilen zu können, wurde die Größe der Raumtemperaturschwankungen errechnet.

Literatur

1. Пкловвер, А. М.: Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. Москва, Госэнергоиздат, 1961.
2. ZÖLD, A.: Épületek hőterhelésének számítása. MTI jegyzet, Budapest 1970.

Dr. András ZÖLD, Budapest XI., Stoczek u. 2—4, Ungarn