Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 22 (1975)

Artikel: Das Einwirkungen der Brandtemperatur auf eine Stahlträgerverbundkonstruktion

Autor: Czarnowski, Kazimierz / Duc, Edward / Dyczkowski, Jacek

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-19388

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IV

Das Einwirken der Brandtemperatur auf eine Stahlträgerverbundkonstruktion

The Influence of the Fire Temperature on a Composite Steel Structure

L'influence de la température d'incendie sur une structure mixte en acier

Kazimierz CZARNOWSKI
Doz. Dr. habil. Ing.

Edward DUC
Mgr. Ing.

Jacek DYCZKOWSKI
Mgr. Ing

Polytechnische Hochschule
Wroclaw/Polen

1. Einleitung

Die Bestimmung einer Wirksamen Sicherung gegen Wärmeeinfluss auf eine Baukonstruktion, insbesondere eine Feuerwiderstandsermittlung, beruht auf wärmetechnischen und statischen Berechnungen. Die wärmetechnischen Berechnungen ergeben den richtigen Temperaturzustand in einem Bauteil, und sie bestimmen die Zeit, in welcher die kritische Temperatur t_k erreicht wird. Zu diesem Zeitpunkt wird die Feuerwiderstandsgrenze erreicht. Aus den Beobachtungen der Temperaturfelder geht hervor, dass die kritische Temperatur nur an einer Stelle erreicht wird. Aus den näheren Betrachtungen der Temperaturfelder und des kritischen Zeitpunktes, in welchem eine Baukonstruktion unter einer zulässigen Last dem Angriff von Feuer bzw. technologischer Wärme standhält, kann man einige Schlussfolgerungen über einen wirksamen bautechnischen Brandschutz ziehen. Man kann sogar eine Feuerwiderstandsklasse der Baukonstruktion auf grund der Brandlast bestimmen (Brandraumtemperatur-Zeit-Kurve).

In den Baukonstruktionen geht der Wärmedurchfluss meistens in drei Richtungen vor sich. Mit der Temperatur ändern sich u.a. die Wärmeleitzahl λ, die spezifische Wärme C und der Festigkeitswert der Baustoffe. Die Temperaturkurven verlaufen auf der Oberfläche der Baukonstruktion nicht linear. Sie sind von einer Reihe von thermodynamischen Einflussfaktoren abhängig.

2. Numerische Methode zur Lösung der nichtstationären Wärmeleistung

Auf Grund der elementaren Wärmebilanzmethode kan man die Lösung der nichtstationären Wärmeleitung am besten durchführen. Die Wärmezunahme ΔQ einer elementare Zelle der Grösse Δx, Δy, Δz ist gleich der Summe des Wärmezuflusses $\Sigma_i Q_i$ in der Zeit τ im Gitterpunkt der Zelle. Legt man dann fest, dass acht Zellen einen gemeinsamen Gitterpunkt haben (das ergibt sich aus der Raumgittereinteilung, Bild 1), und dass die Baufaktoren mit der Zeit geändert werden, so ist die Wärmebilanzgleichung wie folgt:

$$\Delta Q = (t_{o;\tau+\Delta\tau} - t_{o,\tau}) \cdot 0{,}125(c_1\Delta x_1 \Delta y_1 \Delta z_1 + c_2\Delta x_2 \Delta y_1 \Delta z_1 + c_3\Delta x_2 \Delta y_2 \Delta z_1 + c_4\Delta x_1 \Delta y_2 \Delta z_1 + c_5\Delta x_1 \Delta y_1 \Delta z_2 + c_6\Delta x_2 \Delta y_1 \Delta z_2 + c_7\Delta x_2 \Delta y_2 \Delta z_2 + c_8\Delta x_1 \Delta y_2 \Delta z_2) \quad (1)$$

wobei ΔQ – die Wärmezunahme im betrachteten Gitterpunkt bei der Zeitänderung $\Delta\tau$ ist und die Temperatur von $t_{o,\tau}$ bis $t_{o,\tau+\Delta\tau}$ betrachtet wird.

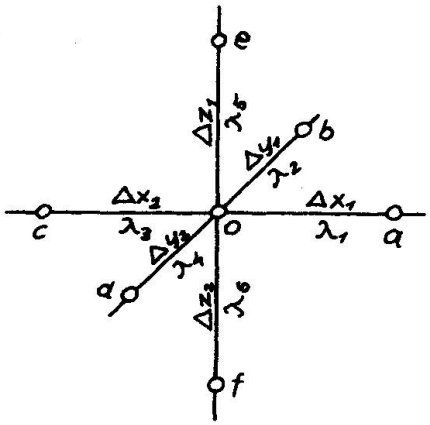

Bild 1. Raumgittereinteilung

Wen man ein regelmassiges Raumgitter

$$\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta y_1 = \Delta y_2 = \Delta z_1 = \Delta z_2 = \Delta x$$

verwendet, so ergibt sich für den Mitteltemperaturzuwachs in einem Gitterpunkt in der Zeit $\Delta\tau$ die Gleichung

$$t_{o,\tau+\Delta\tau} - t_{o,\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{i=6} Q_i}{0{,}125\Delta x^3 \sum_{i=1}^{i=6} C_1} \quad (2)$$

in welcher $Q_1 = \lambda_1(t_{a,\tau} - t_{o,\tau}):\Delta x$; $Q_2 = \lambda_2(t_{b,\tau} - t_{o,\tau}):\Delta x$; $Q_3 = \lambda_3(t_{c,\tau} - t_{o,\tau}):\Delta x$; $Q_4 = \lambda_4(t_{d,\tau} - t_{o,\tau}):\Delta x$; $Q_5 = \lambda_5(t_{e,\tau} - t_{o,\tau}):\Delta x$; $Q_6 = \lambda_6(t_{f,\tau} - t_{o,\tau}):\Delta x$.

Die Wärmeleitzahl λ_i und die spezifische Wärme C_1 sind Funktionen der Zeit τ.

Die Gleichungen (2) werden für jeden Mittelpunkt des Raumgitters aufgebaut, somit stellen die einzelnen Matritzen Daten $(\lambda(\tau), C(\tau))$ in dem Programm dar. Als Ergebnis der wärmetechnischen Berechnungen bekommt man die Temperaturverteilung bei jedem Zeitabstand Δt auf den Aussen- und Innenflächen der Baukonstruktion. Aufgrund der errechneten Temperaturgrössen kann man die betreffenden Spannungen mit Hilfe der Festigkeitsanalysis bestimmen.

3. Theoretische Bestimmung der Festigkeit einer einseitig angewärmten Verbundkonstruktion

Bei grossen Nutzlasten werden in manchen Betrieben in den Decken Verbundstahlträger mit bewehrten Betonplatten benutzt. Die Stahlträger liegen frei auf den Raum umgebenden Ziegelmauern. Die betrachtete Platte ist eine durchlaufende Platte.

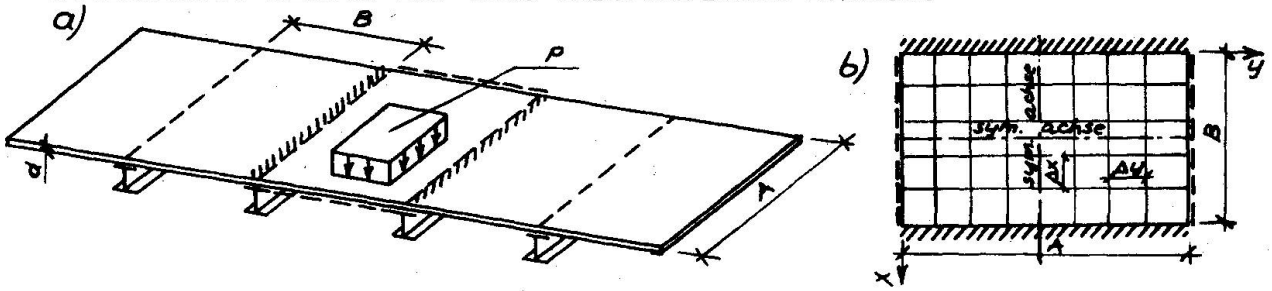

Bild.2. Stahlträgerverbunddecke. a) Ansicht, b) Schema der Auflagerung der Betonplatte und eine Gitterverteilung zur numerichen Berechnung

Infolge der Verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten von Beton und Stahl werden bei Stahlträgerverbundkonstruktionen bei Änderung der Aussentemperatur auch Temperaturunterschiede zwischen den Beton- und Stahlteilen auftreten. Der folgenden statischen Untersuchung liegt eine starre Befestigung der Betonplatte am Träger und eine freie Auflagerung auf der Mauer zugrunde. Die feste Verbindung der Betonplatte mit dem Stahlträger wird durch starre Verdübelung hergestellt. Daraus resultiert das statische Schema der Stahlträgerverbundkonstruktion, wie es Bild 3 zeigt.

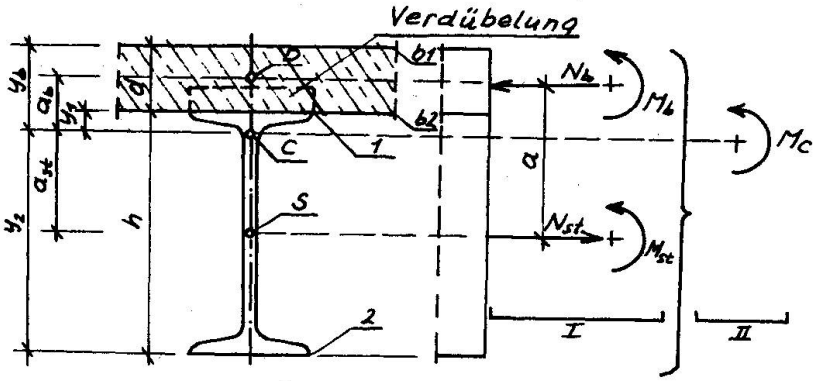

Bild 3. Stahlträgerverbundquerschnitt und Anteil der Schnittlasten

Die geometrischen Zeichen des Querschnittes stellen die Grössen dar: H; h; a_b; a_{st}; a; I_{st}; F_{st}; I_b; F_b; $I_c = I_{st} + 1/n\, I_b + F_{st}\, a_{st}^2 + 1/n\, F_b\, a_b^2$; $(n = E_{st}/E_b)$; $F_c = 1/n\, F_b + F_{st}$; $W_b = I_c/y_b\, n$; $W_1 = I_c/y_1$; $W_2 = I_c/y_2$; $W_{b_1} = I_c/y_1\, n$.

Folgende Zeichen wurden für die Festigkeits- und physikalischen Grössen verwendet: K – (Stahlgrenzspannung), R_b – (Betonabrechnungsfestigkeit); $E_b = E_{st}$; α_b – (Wärmeausdehnungszahl für Beton $\alpha_b = \alpha_{st}$).

Unabhänging von der Art der Belastung und der Anwärmungsgrösse der Stahlträgerverbundkonstruktion ist der Anteil der Schnittlasten auf Bild 3 dargestellt.

Die Verteilungsgrössen I und II sind gleichwertig. Die Richtungen der Längskräfte N_b, N_{st} und der Momente M_b, M_{st}, M_c ändern sich nach der Belastung und der Temperaturdifferenz.

Bei der Verteilungsgrösse II ergeben sich Spannungen im Verbundquerschnitt.

$$\sigma_{b1} = \frac{M_c}{W_{b_1}}\ ;\quad \sigma_{b2} = \frac{M_c}{W_{b_2}}\ ;\quad \sigma_1 = \frac{M_c}{W_1}\ ;\quad \sigma_2 = \frac{M_c}{W_2}\ ; \tag{3}$$

Bei der Verteilungsgrösse I sind:

$$\sigma_{b_1} = \frac{N}{F_b} + \frac{M_b}{W_{b_1}}\ ;\ \sigma_{b_2} = \frac{N}{F_b} + \frac{M_b}{M_{b_2}}\ ;\ \sigma_1 = \frac{N}{F_{st}} + \frac{M_{st}}{W_1}\ ;$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{F_{st}} + \frac{M_{st}}{W_2}\ ; \tag{4}$$

Aufgrund einer Wärmeanalysis wird die Anwärmung der Betonplatte (bei festgelegten Auflagerungsbedingungen) näher bestimmt.

Wenn das Temperaturfeld auf der Oberfläche konstant belibt und nur eine lineare Änderung der Temperatur in der Betondicke in Frage kommt, kann man den Momenteanteil in der Platte mit Hilfe

des Differenzverfahrens bestimmen. Die Grössen werden auf Bild 4 gezeigt.

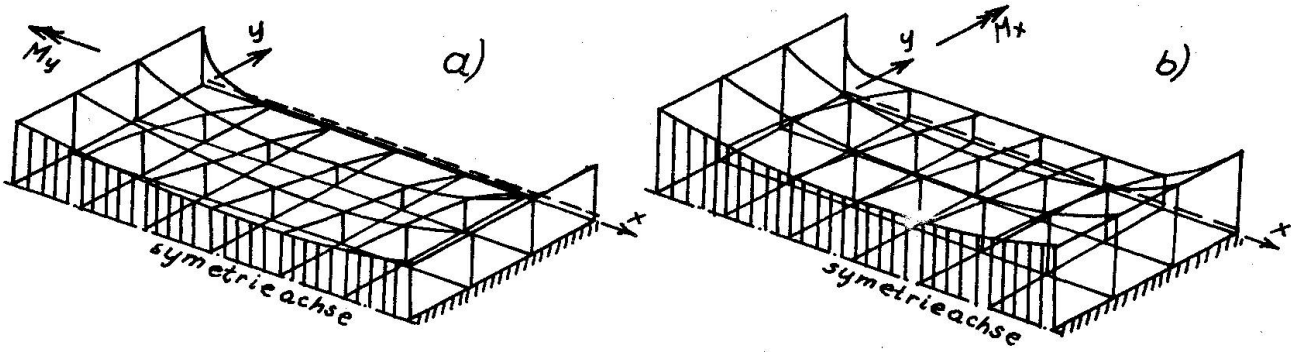

Bild 4. Biegungsmomente als Folge des Temperaturunterschiedes längs der Spannweite. a) M_x - Momente, b) M_y - Momente

Bei einer festen Verbindung M_y ist der Anteil der Schnittlasten im Stahlträgerverbundquerschnitt:

$$N = N_{st} = N_b = \frac{a_b F_b}{nI_c} M_c; \quad M_b = \frac{I_b}{nI_c} M_c; \quad M_{st} = \frac{I_{st}}{I_c} M_c \tag{5}$$

wobei $M_c = M_y$ ist.

Die Spannungen werden nach (4) berechnet. Die Wärmeanalyse der Verbundkonstruktion zeigt, dass grosse Unterschiede zwischen der Temperatur des Stahlträgers und der Mitteltemperatur der Bauplatte auftreten. Die Temperaturverteilung im Stahlträgerverbundquerschnitt mit bewehrter Betonplatte zeigt Bild 5.

Der Temperaturunterschied ruft in der Verbundkonstruktion die Verteilungsgrössen hervor.

$$N = N_b = N_{st} = \varepsilon E_{st} \frac{a_{st} F_{st} (\frac{1}{n} I_b + I_{st})}{a\, I_c}; \quad M_{st} = N\, a;$$

$$M_b = \varepsilon E_{st} \frac{a_{st} F_{st} \cdot \frac{1}{n} I_b}{I_c}; \tag{6}$$

wobei $\varepsilon = \alpha_b \Delta t_1$ ist.

Ausser den thermischen Einflüssen werden auch die Belastungen durch die Verkehrslasten - p und das Eigengewicht - g berücksichtig.

Weil längs des freiliegenden Trägers das Befestigungsmoment ($M_y \Delta t$) und die Temperaturdifferenz (Δt_1) den gleichen Wert haben, treten die extremen Verteilungsgrössen in der Mitte der Spannweite auf.

Legt man einem Rechenprogramm die thermische und die statische Analyse zugrunde, dann erhält man den ausgedruckten Zeitabstand vom Anfang der Konstruktionserwärmung bis zur Festigkeitsgrenze des verwendeten Baustoffes (Qr_{min} bei Stahl oder R_{bk} bei Beton). Auf diese Weise werden ausserdem die kritischen Temperaturen der Baustoffe bestimmt. Eine so durchgeführte Analyse bietet die Möglichkeit, die festgesetzten technologischen Temperaturen zu überschreiten. (Das kommt nicht selten im Falle einer

Haverie oder bei theoretischer Bestimmung des Feuerwiderstandes von Baukonstruktionen vor.).

4. Zahlenbeispiel

Das Rechenprogramm wurde erarbeitet und erprobt. Für folgende Daten haben wir die Berechnungen durchgeführt:
A = 4,50 m; B = 3,00 m; Stahlträger, Normalprofil I 360; d = = 15 cm. Rechenschnitt des Gitters in der Betonplatte $\Delta x = \Delta y = \Delta = 50$ cm; $p = 3{,}00$ T/m^2; $g = 0{,}36$ T/m^2.

Verwendete Baustoffe: Stahl St3SX
$Q_{r\,min} = 2200$ kg/cm^2; $K = 2100$ kg/cm^2; $E_{st} = 2100\,000$ kg/cm^2.

Beton B 200 (laut polnischen Normenentwurf PN/B-03264 "Beton- Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen. Statische Berechnungen und Projektionen").
R_{bk} (charakteristische Festigkeit) = 120 kg/cm^2; R_b = Berechnungsfestigkeit) = 95 kg/cm^2; $E_b = 240\,000$ kg/cm^2, $\alpha_b = 10^{-5}$ 1/°C,
Bewehrungsstahl der Platte Klasse A-III. Bewehrungsprozente:
$\mu_x^{max} = 0{,}92\%$, $\mu_y^{max} = 0{,}70\%$.

Unter normalen Exploitationsbedingungen sieht man in der Mitte der Spannweite die Temperatur- und Spannungsverteilung im Stahlträgerverbundquerschnitt auf Bild 5.

In unserem Zahlenbeispiel untersuchen wir den Fall, bei dem die Umgebungstemperatur unter der Decke 500 °C und über der Decke nur 20 °C betrug. M_y Moment (Δt 18 °C) = 540 kg cm/cm.

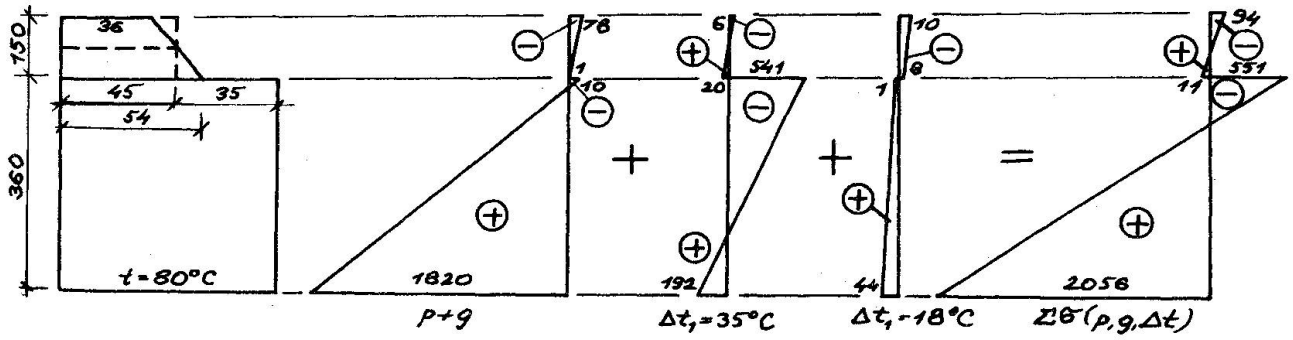

Bild 5. Temperatur und Spannungsverteilung im Benutzungszustand in der Mitte der Spannweite. (+) – Zugspannungen in kg/cm^2, Temperaturgrösse in °C

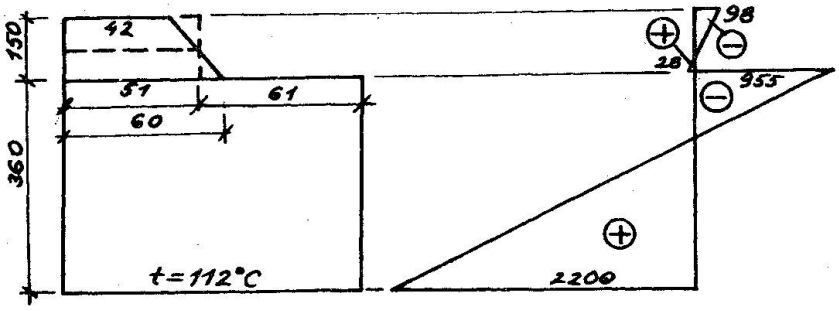

Bild 6. Temperatur und Gesamtspannungsverteilung in der Mitte der Spannweite bei Erreichung der Festigkeitsgrenze des Baustoffes

Die Tragfähigkeitsgrenze wird laut elektronischer Datenauswertung in der Zeit von $\Delta\tau$ = 25 Minuten erreicht. Die Temperatur und Gesamtspannungsverteilung wird auf Bild 6 dargestellt.

5. Schlussbemerkungen

5.1. Die Verwendung des Gitterverfahrens kann einer Untersuchung der Wärmedurchgänge durch ein Bauteil im räumlichen und quasistationären Zustand mit dem Zeitparameter zu einer genaueren Berechnungsmethode des Temperaturwiderstandes von Baukonstruktionen führen.

5.2. In der vorgeführten Berechnungsmethode sieht man eine Analogie zwischen Temperatur- und Feuerwiderstand. So erscheint es möglich den Zeitpunkt $\Delta\tau$ für das Erreichen des Feuerwiderstandsgrenze zu erforschen.

5.3. Bei statischen Berechnungen der Verbundträger ist es erforderlich, die Biegungsmomente, die Beanspruchung der Beteonplatte infolge eines Temperaturunterschiedes im Bereich der Dicke zu Berücksichtigen. Diese Einflüsse vergrössen die Zugspannungen im Stahl um ca. 25% der gesamten thermischen Spannungen in der Stahlträgerverbundkonstruktion.

5.4. Mit Rücksicht auf einem wirksamen thermischen Widerstand der Dekke muss man eine gute Wärmeisolierung der Betonplatte und der Stahlträger vornehmen, wenn eine Stahlträgerverbunddecke hergestellt wird.

Literaturverzeichnis

[1] Clebčuk W. R., Artykraev E. T., Ognezaščita metalličeskich konstrukcji zdanij. Strojizdat, Moskva 1973.
[2] Koreleski J., Zespolone konstrukcje mostowe. PAN, Warszawa Kraków 1967.
[3] Sattler K., Theorie der Verbundkonstruktionen Spannbeton Stahlträger in Verbund mit Beton. Berlin 1959.
[4] Streletsky N. N., Stalezelezobetonnyje mosty. Moskva 1965.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit betrachten wir speziell eine Stahlträgerverbundkonstruktion in einem Chemiebetrieb, in dem technologische heisse Prozesse ablaufen. Die Schlussbemerkungen, die den Einfluss technologischer Anwärme betreffen, kann man auch auf die Brandlast beziehen. Zur numerischen Methode der Festigkeits- und Wärmeanalysis wird das Differenzverfahren angewendet.

SUMMARY

In this paper, a case of a composite structure at chemical plants applying hot processes was analyzed. The conclusions concerning the determination of the conditions of the technological perheating can be extended to the fire conditions. The method of contraction differences was adapted to the digital analysis of the thermal and resistance problems.

RESUME

Dans cette étude nous avons analysé la structure mixte d'un établissement chimique utilisant des procédés thermiques. Les conclusions concernant la determination des conditions du chauffage technologique peuvent être appliquées par analogie aux conditions de l'incendie. Pour l'analyse numérique des problèmes thermiques et de résistance, on a appliqué la méthode des différences finies.