Theme III: Maintenance and flexibility of use of industry buildings

Objekttyp: **Group**

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

Band (Jahr): **20 (1975)**

PDF erstellt am: **25.05.2024**

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

Instandhaltung und Flexibilität der Nutzung von Industriebauten

Maintenance and Flexibility of Use of Industry Buildings

Entretien et souplesse de l'utilisation des bâtiments industriels

A. SCHINDLER
Prof. Ing. Dr. sc.
Technische Hochschule Prag
Prag, CSSR

Im Unterbewusstsein der Ingenieure und Betriebsfachleute wird die Problematik der Instandhaltung und Flexibilität der Nutzung beliebiger Baukonstruktionen öfters als ein technisches und seltener als ein ökonomisches Phänomen angesehen. Wir werden deshalb absichtlich in den folgenden Ausführungen mehr den ökonomischen als den rein technischen Ansichtspunkt betrachten, schon deshalb, weil der ökonomische Nutzen fast ausschliesslich für die Weiterentwicklung der Wirtschaft massgebend ist.

Wir erwarten, dass am Symposium genügend Beiträge als praktische Beispiele vorgetragen werden.

1. ALLGEMEINES

Unsere Betrachtungen müssen ungewollterweise auf einer ziemlich allgemeinen Ebene bleiben und sind somit für beliebige Baukonstruktionen zutreffend und gültig. Da sich Dr. Iyengar mit den Stockwerksbauten befasst, werden wir uns auf die Problematik der Industriebauten konzentrieren, da die einfacheren Fragen der Brückenbauten, verschiedener Ingenieurkonstruktionen, technologischer Einrichtungen usw. damit auch miterfasst werden.

Dabei sei noch ausdrücklich betont, dass wir unter dem Begriff "der Bau" nicht nur, wie manchmal angenommen wird, die tragende Hauptkonstruktion verstehen, sondern alle Bauteile und Baueinrichtungen, die wir in folgende Gruppen einteilen können:

A ... tragende Hauptkonstruktion, die zwar keine unendliche, jedoch bedeutend längere physische Nutzungsdauer aufweist, als es die moralische oder ökonomische Nutzungsdauer des gesamten Bauwerkes ist;

B ... Bauteile und Baueinrichtungen, deren einwandfreie Funktion durch regelmässige Instandhaltung bis zum Ableben des Gebäudes gewährleistet werden kann;

C ... Bauteile und Baueinrichtungen, deren physische Nutzungsdauer trotz der regelmässigen Instandhaltung kürzer als die moralische oder ökonomische Nutzungsdauer des Baues ist und die deshalb in bestimmten Zeitabschnitten ausgewechselt werden müssen.

Die Erfahrung zeigt, dass die unter A angeführte tragende Hauptkonstruktion meistens einen bedeutend kleineren Investionskostenanteil in Anspruch nimmt, als die unter B und C angeführten Bauteile.

Der Begriff der "physischen Nutzungsdauer" braucht hier nicht definiert zu werden. Die "moralische Nutzungsdauer" wird mit jenem Augenblick begrenzt, in welchem das Objekt nicht mehr den sich ändernden Ansprüchen gewachsen ist (z.B. eine Fertigungshalle ermöglicht nicht den Einsatz einer neueren und wirtschaftlicheren Technologie, ein Wohnungs- oder Gesellschaftsbau entspricht nicht mehr den Ansprüchen der sich entwickelnden Gesellschaft usw.).

Schliesslich bezeichnen wir als die "ökonomische Nutzungsdauer" jene Dauer, welche den Gesamtaufwand der Gesellschaft pro Einheit des Erzeugnisses oder Einheit der Zeit der Funktion des Bauwerks minimalisiert, wie im Kap. 3 gezeigt werden soll.

Bevor wir auf die Problematik der moralischen und ökonomischen Nutzungsdauer näher eingehen werden, sei erwähnt, dass es sich in den letzten Jahrzehnten ganz eindeutig zeigt, dass die Weiterentwicklung der Industrie dank der wissenschaftlich-technischen Revolution immer schneller wird und deshalb sich die Fertigungstechnologie in immer kürzer werdenden Zeitabschnitten ändert (z.B. in der Chemie oder Farbmetallurgie entwickeln sich durchschnittlich in 5 - 10 Jahren vollkommen neue Technologien). Aehnliche stürmische Entwicklungstendenzen zeigen sich nunmehr auch im Wohnungs- und Gesellschaftsbau. Die erfahrenen Architekten und Soziologen sagen voraus, dass sich der Lebensstil der Menschheit schon in den nächsten Jahrzehnten so grundlegend ändern wird, dass eine vollkommen neue Auffassung über die Funktion der Wohnungs- und Gesellschaftsbauten auftreten wird.

Somit werden sowohl die modernsten Fertigungshallen von heute als auch die Wohnungs- und Gesellschaftsbauten moralisch überaltert und den Ansprüchen nicht mehr gewachsen sein.

Durch diese Tatsachen werden unsere weiteren Ausführungen in gewissem Masse unsicher.

2. OEKONOMISCHE GRUNDBEGRIFFE

Die gesamten Kosten K , die während der ganzen Nutzungszeit eines industriellen Objektes entstehen, können wir in folgende Teilkosten gliedern:

I ... Investitionskosten (Entwurf, Material, Fertigung, Montage);

B ... Betriebskosten, die durch den Fertigungsprozess hervorgerufen, mit dem Objekt zusammenhängen und durch ihn in ihrer Höhe beeinflusst werden (z.B. Heizung, Lüftung), Beleuchtung u.ä.);

E ... Erhaltungskosten, die die Instandhaltung des Objektes gewährleisten; sie sind teilweise regelmässig, teilweise wiederholen sie sich in bestimmten oder unbestimmten Zeitabschnitten;

R ... Rekonstruktionskosten, die durch die geänderte Nutzung des Objektes erzwungen werden;

A ... Abbaukosten, die man nach dem Ableben des Objektes aufwenden muss, um das Grundstück frei zu machen (Demontage und Beseitigung, bzw. Aufwertung der Abbaumaterialien).

Wir müssen feststellen, dass sehr oft vorwiegend die Investitionskosten im Schwerpunkt der Interessen der Investoren und der Baufachleute sich befinden, ungeachtet dessen, dass die Betriebs- und Erhaltungskosten fast immer viel höher als die Investitionskosten sind und dass die einzelnen Teilkosten weniger oder mehr voneinander abhängig sind und sich gegenseitig beeinflussen. Einfache Beispiele dafür: Ein Mehraufwand auf eine Aussenwand der Fertigungshalle mit besserem Wärmeisolationsvermögen kann das vielfache an den Heizungskosten einsparen. Die Anwendung des korrosionsträgen Stahles (Cor-Ten) beseitigt fast völlig die Korrosionsschutzkosten. Eine grosszügigere Höhenführung einer Strasse ruft zwar höhere Baukosten hervor, erniedrigt jedoch auf die Dauer die Betriebskosten (Zeit-, Kraftstoff-, Reifen- und Fahrzeugsabnutzungsersparnis).

Die Rekonstruktion der tragenden Konstruktion aus Stahl ist verhältnismässig leicht und deshalb kostensparend, wogegen die Rekonstruktion eines Betonbaues umständig und deshalb kostenaufwendig ist, manchmal sogar unmöglich.

Auch die Abbaukosten sollten immer in die ökonomischen Betrachtungen eingezogen werden. Bei dem Abbruch von Massivbauten entstehen oft erhebliche Kosten und für den grössten Teil des Abfalles gibt es keine vernünftige Anwendungsmöglichkeit, wobei man Sorgen hat, wohin die anwachsenden Abfallmengen unterzubringen. Bei einem Stahlbau können dagegen die Abbaukosten sogar unter Umständen negativ werden, d.h. der Preis des gewonnenen Stahlschrottes kann höher als die gesamten Abbaukosten sein.

Es ist also leicht einzusehen, dass wir genauer das Zusammenspiel der Teilkosten während des ganzen Nutzungszeitraumes des untersuchten Bauwerkes betrachten müssen. Wir werden jedoch dabei feststellen, dass manche Teilfragen dabei schwerlich eindeutig zu beantworten sind.

3. ANALYSE DER TEILKOSTEN

Die nachstehenden Ausführungen werden auf den Gedanken von Krofta, J.-Haas, Š. (Studie über die Erhaltung und Betrieb des zum Rekonstruieren fähigen Wohnungsfonds (tschechisch), VÚVA, Praha 1960) aufgebaut.

Wenn wir von dem Einfluss der Zeit und vorläufig auch von den Rekonstruktions- und Abbaukosten absehen, sind die Gesamtkosten K durch einfache Beziehung

$$K = I + B + E \qquad (1)$$

gegeben. Wir können dabei annehmen, dass die Investitionskosten einmalig sind, die Betriebskosten regelmässig in gleicher Höhe anlaufen und somit pro Zeiteinheit konstant bleiben, wogegen sich die Erhaltungskosten mit dem Alter des Gebäudes wegen der Abnützung und dem Verschleiss pro Zeiteinheit vergrössern. In der Abb. 1 ist die Summe der Gesamtkosten K in der Abhängigkeit von der Zeit T veranschaulicht.

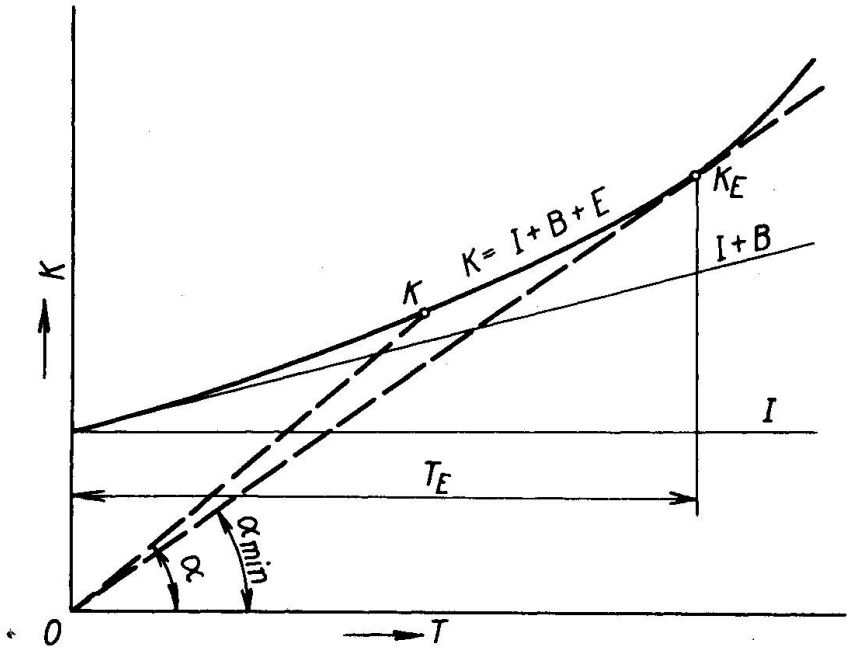

Abb. 1. Verhältnis der Gesamtkosten K zur Zeit T

I ... Investitionskosten
B ... Betriebskosten
E ... Erhaltungskosten

Der durchschnittliche Kostenanteil pro Zeit- oder Produktionseinheit im beliebigen Augenblick von der Inbetriebnahme

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{K}{T} \qquad (2)$$

ist durch eine Geradenschar dargestellt, wo jede Gerade den Koordinatenanfang O mit dem zuständigen Punkt der Summenkurve K verbindet. Den minimalen Kostenanteil $tg\alpha_{min}$ erreicht man für die Nutzungsdauer T_E, wo die Kostenanteilgerade OA die Tangente der Summenkurve K wird. Sollte die Nutzung des Gebäudes sich über die Zeit T_E erstrecken, wachsen die durchschnittlichen Kostenanteile pro Zeit- oder Produktionseinheit wieder an. Für die Gesamtwirtschaft ist es also am vorteilhaftesten, in dem Zeitpunkt T_E den alten Bau durch einen neuen zu ersetzen. Der Zeitpunkt T_E ist somit mit der früher definierten "ökonomischen Nutzungsdauer" identisch.

Man kann die ökonomische Nutzungsdauer T_E auch durch die Analyse der Teilkostenanteile bestimmen (Abb. 2). Der durchschnittliche Kostenanteil im beliebigen Zeitpunkt

$$\frac{K}{T} = \frac{I}{T} + \frac{B}{T} + \frac{E}{T} \qquad (1a)$$

ist durch die Entfernung der Punkte M, N festgelegt. Der minimale Wert $(K/T)_{min}$ wird wieder in dem Zeitpunkt T_E erreicht, in dem die Tangenten in den sich entsprechenden Punkten M_E, N_E parallel werden.

Den Graphen in den Abb. 1 und 2 kann man leicht entnehmen, wie sich die relativen Grössen von I, B und E auf die ökonomische Nutzungsdauer auswirken.

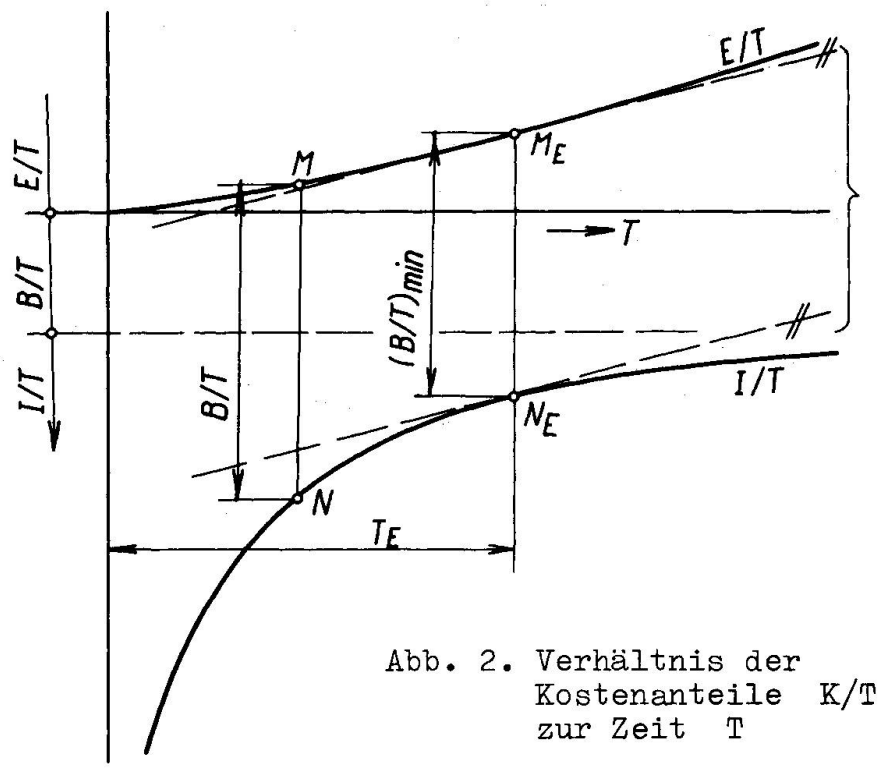

Abb. 2. Verhältnis der Kostenanteile K/T zur Zeit T

Die Abbaukosten, soweit sie in ihrer Grösse von der Nutzungsdauer unabhängig sind, respektiert man leicht, indem man in den Abb. 1 oder 2 die Investitions- und Abbaukosten addiert (Abb. 3), evtl. bei negativen Abbaukosten subtrahiert. Je grösser die Abbaukosten sind, umso mehr vergrössert sich die T_E; sind sie negativ, verkleinert sich der Wert der T_E. Sind die "Abbaukosten" von der Nutzungsdauer abhängig, also veränderlich (z.B. der erreichbare Verkaufspreis der auszureihenden alten Fertigungsmaschine, des PKW u.ä., der von der Abnutzung abhängt), subtrahiert man diesen Wert A von der Gesamtkurve $K = I + B + E$ (Abb. 4). Der Einfluss der Grösse des Verkaufspreises A auf die Verkürzung der ökonomischen Nutzungsdauer ist deutlich zu erkennen.

Wenn das Gebäude in dem Zeitpunkt T_1 nicht mehr den Anforderungen gewachsen ist, also moralisch veraltert ist, kann man dies entweder als das Ableben betrachten und die bisherigen Kostenanteile K_1/T_1 in Kauf nehmen, oder sich für eine Rekonstruktion entscheiden.

Die Rekonstruktion, durch welche die Anpassung des Gebäudes für geänderte Nutzung erreicht wird, ruft einmalige Kosten hervor, die ähnlichen Charakter wie die Investitionskosten haben. Da die Rekonstruktion meistens mit gründlichen Erhaltungsarbeiten verbunden ist, verurusacht sie meistens eine ähnliche Abminderung der nächsten Erhaltungskosten wie ein Neubau (Abb. 5). Man kann die Rekonstruktion als ökonomisch positiv bewerten, wenn die Gesamtkostenkurve in der Abb. 5 die Gerade OK_1 schneidet (Fall 1) und zum niedrigeren Verhältnis K_i/T_i führt, und als ökonomisch negativ, unvorteilhaft, wenn die durchschnittlichen Kostenanteile K_i/T_i immer höher als K_i/T_i bleiben (Fall 2).

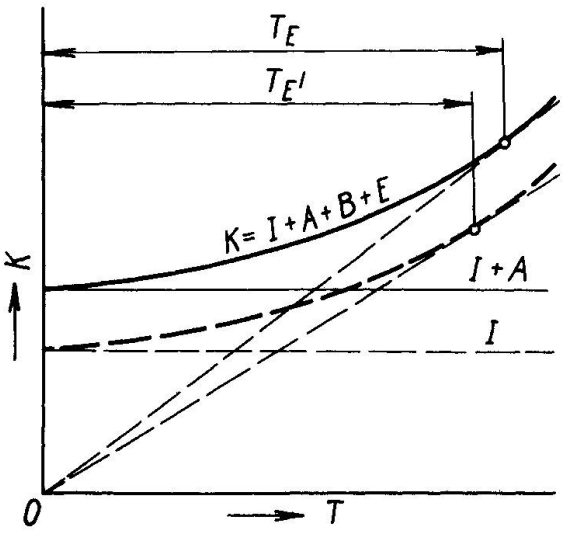

Abb. 3. Einfluss der konstanten Abbaukosten A auf die ökonomische Nutzungsdauer T_E

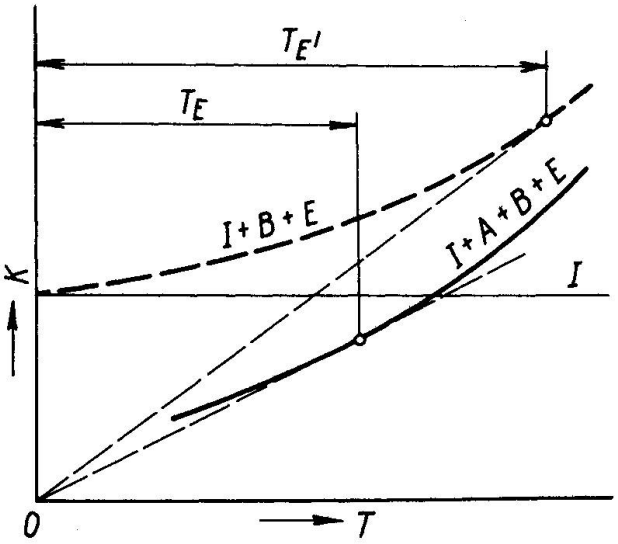

Abb. 4 Einfluss der veränderlichen Abbaukosten auf die ökonomische Nutzungsdauer T_E

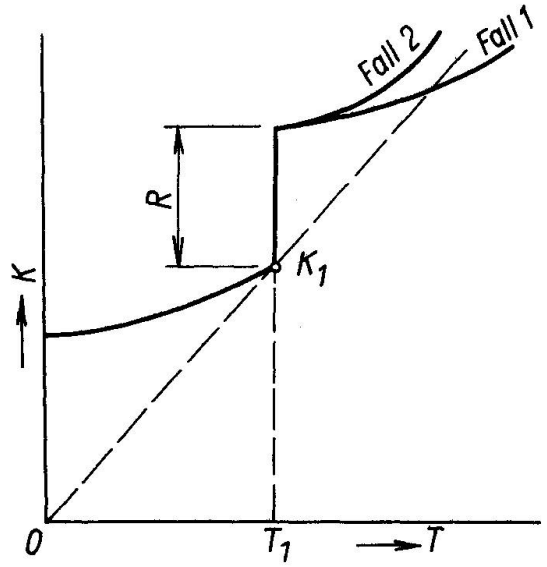

Abb. 5. Oekonomische Beurteilung einer Rekonstruktion
R...Rekonstruktionskosten

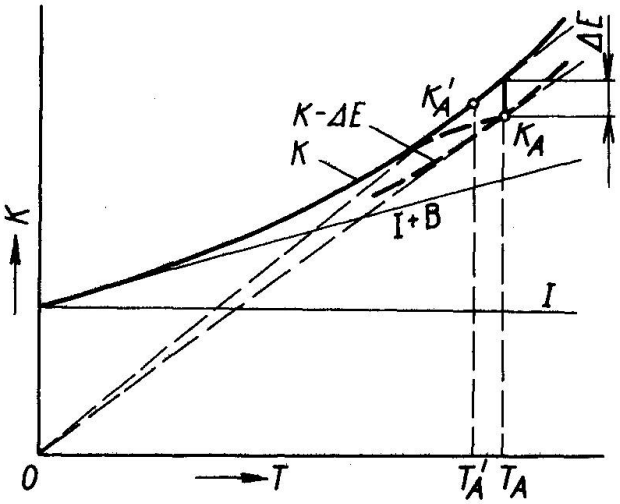

Abb.6. Oekonomischer Einfluss des Ersparnisses ΔE der Erhaltungskosten
T_A , T_A'... Zeitpunkt des Ablebens oder der Rekonstruktion

Die Erhaltungskosten können planmässig in dem letzten Zeitabschnitt vor dem Ableben oder vor der Rekonstruktion beschränkt werden (Abb. 6). Dieses Erhaltungskostenersparnis ΔE beeinflusst sowohl die ökonomische Nutzungsdauer, als auch die durchschnittlichen Kostenanteile, günstig.

$$T_A > T_{A'} \quad ; \quad tg\,\alpha < tg\,\alpha' .$$

4. EINFLUSS DES ZEITFAKTOREN

Die Ausführungen des vorigen Kapitels wurden ohne Rücksicht auf die Tatsache dargestellt, dass nur die Investitionskosten zeitlich konzentriert und somit gut vergleichbar sind. Die Betriebskosten erstrecken sich (angenommen) regelmässig über die ganze Nutzungsdauer des Baues, die Erhaltungskosten wickeln sich in einer mehr oder weniger unregelmässigen Weise ab, die Rekonstruktion kann man nur mit einem grossen Unsicherheitsfaktor bezüglich Zeitpunkt und Ausmass im voraus abschätzen.

Dadurch ergibt sich die Frage, wie man für ein bestimmtes Bauvorhaben die Teilkosten, die zu verschiedenen Zeitpunkten anfällig sind, verlässlich vergleichen kann. Die Diskontrechnung scheint dafür die geeigneteste Methode zu sein; jedoch wie hoch ist der passende Prozentsatz p einzusetzen, um den Verlust der Volkswirtschaft durch die blockierten Investitionsmittel und die Wichtigkeit der Ausgaben in der fernen Zukunft für den heutigen Vergleich und Entscheidung auszudrücken? In der nicht geplanten Wirtschaft wird dieser Prozentsatz p meistens identisch mit dem

Zinssatz der Investitionsbankanleihen sein, in der geplanten Wirtschaft scheint es angebracht zu sein, für diesen Prozentsatz p das durchschnittliche Mass der erweiterten Reproduktion des betreffenden Industriezweiges einzusetzen. Wenn man nur Investitions-, Betriebs- und Erhaltungskosten berücksichtigt, kann man in angenäherter Weise die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten auch mit Hilfe der einfachen Formel

$$\text{jährliche Vergleichskosten} = I \times p + \frac{B}{T} + \frac{E}{T} \qquad (3)$$

vergleichen.

Der ökonomische Vergleich verschiedener Varianten ist noch durch das stetig sich ändernde Verhältnis der Löhne zu den Materialpreisen beeinflusst - die Löhne steigen in der ganzen Welt schneller als die Materialpreise; wo wir früher oft materialsparende Variante wählten, suchen wir heute eher eine arbeitssparende Variante der Konstruktion aus.

Von den Materialkosten entfällt heute ein bedeutender Teil auf die Energiekosten. Können wir schon heute annehmen, dass dieser Anteil in absehbarer Zukunft dank der billigen Atomenergie weitgehend abnimmt?

Wir müssen also feststellen, dass ein verlässlicher ökonomischer Vergleich mehrerer Varianten des untersuchten Bauvorhabens mit verschiedenen Teilkosten äusserst schwierig ist.

Es besteht noch die Frage, ob man vom Standpunkt der ganzen Volkswirtschaft her, die Ausführungen des vorigen Kapitels auch ohne Rücksicht auf den Zeitfaktor anwenden könnte, ohne einen bedeutenden Fehler zu begehen. Es stehen nebeneinander gleichzeitig viele Bauten, die einen im Bau, die anderen im Betrieb, in der Rekonstruktion oder im Abbau. Durch die grosse Zahl der Fälle ist es statistisch wahrscheinlich, dass das Kostenbild eines Jahres dem Kostenbild der ganzen Nutzungsdauer der Summe aller Bauvorhaben ähnelt. Deshalb könnten wir umgekehrt annehmen, dass die Minimalisierung der Summe der Teilkosten eines jeden Bauvorhabens für die ganze Nutzungsdauer auch ohne Einfluss des Zeitfaktors in der Summe zum Minimum der Jahreskosten der ganzen Volkswirtschaft, und somit zum maximalen Gesamtnutzen, führen würde.

5. EINFLUSS ANDERER FAKTOREN

Der Investor muss jedoch in der endgültigen Entscheidung zwischen mehreren Varianten noch manche andere Faktoren mitbeachten, die die Entscheidung oft bedeutend beeinflussen können. Es sind dies z.B.:

a) die Investitionsmittel, die zum gegebenen Zeitpunkt zur Verfügung stehen;

b) die bestehenden Kapazitäten der einzelnen Bauindustriezweigen;

c) der evtl. Mangel an Arbeitskräften auf den Baustellen, der die Entscheidung zu Gunsten einer teuereren Bauweise aus in Massen gefertigten Fertigteilen beeinflussen kann, wenn man dadurch die Inbetriebnahme schneller erzielen kann;

d) die Tatsache, dass der Bauprozess eines Neubaues schon im weiten industrialisiert, also arbeitssparend ist, dagegen die Erhaltungsarbeiten überwiegend handwerkmässig, also arbeitsaufwendig durchgeführt werden müssen;

e) die Feststellung, dass manche Rohstoffe in der ganzen Welt in den letzten Jahrzehnten knapp werden oder ihr Gewinnen mit schnell steigenden Kosten verbunden ist;

f) die wichtige Tatsache, dass manche Rohstoffe nach dem Ableben der Konstruktion fast vollkommen zurückgewonnen werden können und in einer Art des Kreislaufes wieder zur Verwendung kommen, sodass z.B. der Stahl in den Stahlkonstruktionen nach dem Ableben des Objektes wiederholt verwendet werden kann, dagegen ist die Stahlbewehrung im Beton nach dem Ableben des Baues für die weitere Verwendung so gut wie verloren.

6. PLANMAESSIGE INSTANDHALTUNG

Durch das Bestreben im Bauwesen, weitgehend die uneffektive arbeitsaufwendige handwerkliche Baustellenarbeit durch die fabrikmässige Massenfertigung von leicht montierten Bauteilen zu ersetzen, kommen der Stahl, die Leichtmetallegierungen und in letzter Zeit sogar die Farbmetalle immer mehr zur Geltung. Wo früher der Stahl vorwiegend für die tragende Hauptkonstruktion benützt wurde, begegnen wir heute dem Stahl und anderen Metallen in steigendem Mass auch in den Fassaden, Decken- und Dachkonstruktionen. Deshalb kommt es nunmehr nicht nur auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle an, sondern auch auf deren Oberflächenbeschaffenheit, physische Nutzungsdauer und gute ästhetische Wirkung.

Somit spielt der Schutz des Stahles und anderer Metalle gegen die Korrosion eine bedeutend wichtigere Rolle als früher. Viele neue Probleme tauchen hier auf. Besonders bei den Fassaden wäre es sehr vorteilhaft, solche Lösungen zu finden, die bei tragbaren Investitionskosten minimale oder gar keine Erhaltung während der Nutzungsdauer des Objektes benötigen. Werden uns rostfreie Stähle, Cor-Ten-Stähle, Brandemail- oder andere Ueberzüge eine solche Lösung bringen? Werden sich diese und ähnliche Lösungen auch in der chemisch aggressiven Atmosphäre mancher Industriegebiete bewähren? Wie wird sich die Nähe des Meeres dabei bemerkbar machen?

Von zwei Varianten der Stahlkonstruktion ist diejenige vorteilhafter, welche eine kleinere Anstrichsfläche aufweist.

Ein anderes Problem ist die Frage der verhältnissmässig kurzen Nutzungsdauer der Oberflächenausbildung von Dächern. Wie ist die Wasserisolation des Daches und deren Schutzschichten durchzuführen, um wirtschaftlichere Resultate zu bekommen?

Auch die Dachrinnen und Ableitungsrohre sind oft Quelle von manchen Bauschäden, besonders in den Gegenden mit Winterfrost. Auch wenn man einen Teil dieser Schwierigkeiten durch die Beheizung der Dachrinne beseitigen kann, ist doch zu befürchten, dass die Kurzlebigkeit dieser Bauteile bisher nicht befriedigend gelöst wurde.

Ein anderes Problem, das noch auf seine Lösung wartet, ist das Erblinden der Gebäudeverglasung, besonders in aggressiver Atmosphäre.

Auch die Instandsetzung der Fussböden spielt in den Gebäuden keine kleine Rolle. Die Beschaffenheit der Fussbodenoberfläche muss den Ansprüchen des Betriebes gewachsen sein. Die evtl. Schäden sind zweierlei - erstens die zu reparierende Beschädigung des eigenen Fussbodens, zweitens die Schäden, welche durch die wegen Fussbodenmängel verursachten Unfälle während des Betriebes, verursacht werden können.

7. ERKENNEN UND BESEITIGEN VON BAUSCHAEDEN

Es lohnt sich, eine regelmässige sachgemässe Ueberwachung des Baues und aller Einrichtungen durchzuführen, auch wenn daraus anscheinend Mehrkosten entstehen. Durch rechtzeitiges Erkennen von kleinen anfänglichen Schäden und deren Beseitigung, kann man oft später hohe Reparaturkosten ersparen.

Die entstehenden Bauschäden sind so mannigfaltig und verschieden, dass man sie nicht auf einen gemeinsamen Nenner bringen kann.

Der pregnanteste Fall davon sind verschiedene Havarien der technologischen Einrichtungen, z.B. Explosionen, die sowohl die Einrichtungen als auch den Bau unter Umständen sehr schwer beschädigen evtl. vernichten können.

In eine andere Gruppe von Bauschäden-Ursachen können wir zusammenfassen:

a) die zufälligen Fehler im Entwurf, in der Fertigung und Montage der tragenden Konstruktion, die der Kontrolle entgangen sind;

b) ganz zufällige Ueberlastung, die der Statiker nicht annehmen konnte;

c) planmässige Vergrösserung der Betriebsbelastung, ohne verantwortliche Ueberprüfung der bestehenden Konstruktion, ob diese für zusätzliche Belastung Tragreserven aufweist;

d) die Unterschätzung des wirklichen Belastungsregims, z.B. von Vibrationen, dynamischen und Stosswirkungen u.ä.;

e) zufällige Schwächung der tragenden Konstruktion, z.B. durch die Korrosion bei mangelhafter Erhaltung oder durch unsachgemässen Eingriff in die Konstruktion.

Diese Bauschäden können verschiedentlich signalisiert werden. Eine dauernde Durchbiegung macht auf die Ueberschreitung der Streckgrenze des Materials aufmerksam. Ein Sprödbruch kommt zwar ohne Vorwarnung, jedoch wird sein Vorkommen mit sich vertiefenden Kenntnissen der Materialeigenschaften seltener.

Auf dem Gebiet des Ermüdungsbruches ist noch viel zu erforschen. Es bleiben noch immer viele Fragen offen, z.B. Abhängigkeit der Zeitfestigkeit vom Belastungsregim, Einfluss der "Vortrainierung", wie einen beginnenden Ermüdungsbruch festzustellen, die Schnelligkeit seines Erweiterns zu bestimmen, seine Weiterentwicklung zu stoppen, u.ä. Einige Fragen davon werden in neuester Zeit durch die Bruchmechanik beantwortet, jedoch zur praktischen Anwendung dieser Erkenntnisse ist noch ein weiter Weg zu gehen.

Auch ungewähnliche Werte der äusseren Belastung können zu Bauschäden führen. Es ist vor allem die Schneelast, die manchmal bei gewisser Kumulation ungünstiger Faktoren (abwechselndes Schneien und Regnen bei niedrigen Temperaturen) mehrmals grösser werden können, als die Belastungsnormen es annehmen, besonders wenn auch Schneeverwehungen bei ungünstiger geometrischer Dachform entstehen können. Aehnliche ungünstige Wirkung kann auch die Mehrbelastung durch die Flugasche ausüben, besonders wenn in den Betrieben das Beiseitigen der Flugasche von den Dächern vernachlässigt wird. Es sind Fälle bekannt, wo Flugaschenbelastung mehrere tausend N/m^2 der Dachfläche ausmachte. Auch ein katastrophaler Windsturm kann unter Umständen, besonders bei der ungünstigen geometrischen Form, viel mehr als die angenommenen Normbestimmungen ausmachen und zum Einsturz der Konstruktionen führen. Die Fälle der aerodynamischen Instabilität bei einigen Masten, schlanken Brücken oder Brückenteilen sind allgemein bekannt, auch bei kleinen Windschnelligkeiten.

Ein ausgesprochener Sonderfall der äusseren Belastung ist die seismische Belastung. Die öknomische Wichtigkeit dieser Problematik führte zur Entwicklung einer selbständigen Wissenschaftsdisziplin, wie die Konstruktionen zu bemessen und deren Details zu entwerfen sind, damit sie den seismischen Einwirkungen widerstehen können.

Eine weitere Gruppe der Bauschäden kann durch ungleichmässige Fundamentensetzung, besonders in den Bergbaugebieten, verursacht werden. Schon kleine Werte dieser Setzungen können bei den Fertigungshallen zum Ecken der Brückenkräne führen, wodurch, wenn nichts schlimmeres, vergrösserte dynamische Einwirkungen entstehen. Bei grösseren Setzungen kann der Kranbetrieb sogar unmöglich gemacht werden und es können auch Bauschäden vor allem in den nichttragenden Bauteilen, aber auch in der Hauptkonstruktion auftreten. Das rechtzeitige Erkennen der Setzungen kann durch die im voraus eingebauten Fixpunkte für die Nivellation erleichtert werden, das Beseitigen durch die Rektifikation der Stützen ist nur dann ökonomisch möglich, wenn man darauf schon beim Entwurf und Konstruieren des Stützenfusses gedacht und den evtl. nötigen Mehraufwand an Kosten im voraus in Kauf genommen hat.

Eine selbständige Gruppe von Bauschäden wird durch die trotz der planmässigen Instandhaltung unerwartet auftretenden Schäden an den verschiedensten Installationsleitungen (Wasser-, Abwasser-Dampf-, Oel- und andere Leitungen) verursacht. Entsteht der Schadenfall in den Räumen des Gebäudes, ist sein Erkennen und Beseitigen viel leichter und schneller, als wenn sich die Leitung in der Erde unter dem Objekt befindet. Die Kontrollen und Reparaturen dieser Leitungen können bedeutend erleichtert und dadurch die Erhaltungskosten gesenkt werden, durch das Verlegen dieser Leitungen in begehbare Kanäle, selbstverständlich mit den erhöhten Investitionskosten gegenüber dem Verlegen in die Erde.

Unter bestimmten Bedingungen können wir noch mit anderen Ursachen den Bauschäden begegnen. Während sich der Creep vorwiegend bei technologischen Einrichtungen, die in hohen Temperaturen und Spannungen arbeiten, ungünstig auswirkt, und nicht bei Gebäuden, kann uns die unerwartet schnelle Korrosion der unterirdischen Stahlleitungen durch irrende Ströme unangenehm überraschen. Die Konstruktion und verschiedene Konstruktionsteile können auch durch aggressive Abgase beschädigt werden.

8. ANPASSUNG BEI AENDERUNG DER NUTZUNG

Wenn wir in den Kap. 3 und 4 die Investitions-, Betriebs-, Erhaltungs- und Abbaukosten in voller, oder verschiedentlich durch den Zeiteinfluss verzerrten Grösse vergleichen konnten, ist diese Problematik bei den Rekonstruktionskosten viel komplizierter und undurchsichtig. Für den Kostenvergleich in der Zeit der Bauentscheidung sind die Ansprüche für evtl. nötige Rekonstruktionen sehr unsicher, und zwar bezüglich des Zeitpunktes und des Ausmasses. Die Entwicklung der Technologie und der daraus resultierenden Forderungen ändert sich sprunghaft und überraschend, sodass die Prognostik unzuverlässig ist, und es ist kaum abzuschätzen, welche Innovationen uns in den nächsten Jahrzehnten vor ganz neue Aufgaben stellen können.

Die ökonomischen Vergleiche sind noch durch die sich ändernden Verhältnisse zwischen den Löhnen und Materialpreisen und zwischen den Massenfertigungspreisen des Neubaus und Handwerkarbeitspreisen bei der Rekonstruktion und Erhaltungsarbeiten erschwert.

Deshalb scheint es ökonomisch vorteilhaft zu sein, wenn der Projektant die neuen Objekte so auslegt, dass sie auch andere Nutzungsweisen als die vorgesehenen ermöglichen, obwohl es eine bestimmte Kostenerhöhung bedingt.

Beim Vergleichen mehrerer Rekonstruktionsvarianten muss man auch den evtl. Ausfall der Fertigung, bzw. die Mehrkosten, die durch die Störung des Betriebes entstehen, mitbeachten.

Bei Industriehallen sind es vor allem grosse Spannweiten und Stützenentfernungen, damit sich die zukünftige beliebige Technologie frei entwickeln kann. Oft ist es vorteilhaft, bei der Bemessung der Dachkonstruktion auf die zukünftige Belastung durch leichte Laufkräne zu denken. Man soll bei der Konstruktion der Details der tragenden Konstruktion eine mögliche zukünftige Erweiterung voraussehend berücksichtigen.

Vom Standpunkt der Adaptabilität aus spielen die Stahlkonstruktionen eine ausserordentlich wichtige Rolle, da sie weitgehendst ermöglichen:

a) eine ziemlich freie Entwicklung der zukünftigen Technologie durch grosse Spannweiten,

b) ein leichtes Verstärken der bestehenden Konstruktion für vergrösserte Belastung,

c) eine Verstärkungsmöglichkeit oft ohne Störung des Betriebs,

d) ein ziemlich leichtes Anbauen, Zubauen, Erweitern usw.,

e) einen grundsätzlichen Umbau der Konstruktion für eine ganz andere Nutzung,

f) ein Demontieren der ganzen Konstruktion und deren Wiederverwendung an einer anderen Baustelle für dieselbe oder für eine andere Nutzung.

Wir erwarten, dass am Symposium über erfolgreiche grosse Rekonstruktionen berichtet wird.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Instandhaltung und Flexibilität der Baukonstruktionen ist nicht nur ein technisches, sondern auch ein wichtiges wirtschaftliches Phänomen. Die Investitions-, Betriebs-, Erhaltungs-, Rekonstruktions- und Abbruchkosten beeinflussen sich gegenseitig und sollen deshalb in abgewogenem Verhältnis stehen, wobei auch der Zeitfaktor mitzubeachten ist. In Anbetracht der steigenden Löhne ist es vorteilhaft, die arbeitsaufwendigen Erhaltungsarbeiten so weit als möglich zu reduzieren, auch wenn dadurch die Investitionskosten erhöht werden sollten.

SUMMARY

Maintenance and flexibility of structures are not only a technical but an important economical problem as well. The costs for construction, operation, maintenance, reconstruction and demolition influence each other and therefore should be in a suitable mutual relationship, taking into account also the time factor. Considering the increasing wages it is advisable to reduce the maintenance work as much as possible, even to the debit of the investment costs.

RESUME

L'entretien et la souplesse de l'utilisation des constructions représentent un phénomène tant technique qu'économique. Les frais d'investissement, d'exploitation, d'entretien, de transformation et de démolition sont interdépendants et il est nécessaire de tenir compte de leurs influences réciproques, en considérant aussi le facteur temps. Il est judicieux de réduire le plus possible les travaux d'entretien qui nécessitent une main d'oeuvre toujours plus coûteuse, même si cela devait avoir pour conséquence des frais de construction plus élevés.

Leere Seite
Blank page
Page vide

III

Maintenance and Flexibility of Use of Multistory Buildings

Entretien et souplesse de l'utilisation des bâtiments à étages

Instandhaltung und Flexibilität der Nutzung von Stockwerkbauten

Hal IYENGAR
Associate Partner
Skidmore, Owings & Merrill
Chicago, Illinois, USA

1. Introduction

Adaptation to change in use of a building is directly related to functional changes during the life of a building and as such, to the integration of design criteria for multi-functional use. This particular report is developed with respect to high-rise steel and composite structural systems and incorporates some design considerations for multi-functional occupancy and flexibility for structural changes. It is obvious that in order to evolve a suitable structural system which incorporates some of the criteria for change in usage, one must necessarily explore the architectural requirements for the different types of space. Some of the inter-dependent architectural-structural criteria are examined briefly. In any planned, functional change, the inevitable question relates to economy in terms of first cost versus return on the investment. Some types of high-rise structural systems which inherently offer flexibility without inducing significant structural premiums are also examined.

2. Design Parameters That Affect Flexibility

The types of occupancies that could be reasonably grouped or that could coexist in a multi-function building consist of offices, apartments, hotel, car park, commercial and public spaces. Some of the planning and loading constraints are discussed for each occupancy only insofar as they affect structural planning of these systems.

a. Offices

It is desirable that multi-tenant office spaces be prime space which will fetch prime rental. Generally, prime space could be defined by the

distance between the exterior glass line to the core of the building. A distance of 35 to 45 ft. is generally accepted in the United States as being most desirable for office planning. Deeper spaces will effect space quality in that some interior spaces without access to windows will fetch lower rental. For office buildings in urban centers where large corporate offices are likely to be located, a blend of different floor shapes and areas are desirable. The floor-to-floor height in the office building is controlled by the ceiling height from the floor as well as the depth of the floor-ceiling sandwich space. Ceiling heights vary from 8.5 ft. to 9.0 ft. and the sandwich space from 3 ft. to 4 ft. for a floor-to-floor height range of 11.5 ft. to 13.0 ft. A false ceiling is generally provided to cover all mechanical and electrical distribution systems. Electric power distribution to offices is provided either in a cellular floor metal deck or in the floor-ceiling sandwich space and punched through where outlets are needed. The superposed floor live loading generally ranges from 50 to 80 psf with a 20 psf allowance for the partition loading. Heating and ventilation systems are centralized and located on isolated mechanical levels.

b. Apartments and Hotels

Apartment and hotel spaces are more strongly controlled by the requirement of depth from the exterior glass line to the core or corridor. Apartments or rooms located totally inside without window space for viewing appear to be generally unacceptable. The depth for efficient planning ranges from 25 ft. to 35 ft. The floor-to-ceiling height is about 8 ft. and in most instances, a flat surface such as that of a concrete flat plate structure is desired which could be merely plastered and used as a finished ceiling. In most instances, individualized air conditioning and heating units are provided for each apartment which eliminate the need for a false ceiling. A floor live loading of 40 psf is used in apartment and room spaces. The partition loading is higher and ranges from 20 to 40 psf depending on the type of partition materials. Most hotels are planned with ancillary spaces suitable for restaurants, assembly rooms, meeting rooms, ballrooms, health club, swimming pool, etc.

c. Commercial Spaces

Commercial spaces consist of shops, stores, restaurants and similar kinds of occupancies. A higher ceiling height from 9 ft. to 11 ft. is generally desired. The superposed live load requirement ranges from 100 to 125 psf. Proximity to the windows is not generally required.

d. Parking Spaces

Parking spaces are controlled by size and orientation of the parking slot, vehicular circulation lanes, inter-floor ramping and entrance and exiting from the facility. The floor loading is about 50 psf and the clearance or head room from the floor to the structure is 7 ft. to 8 ft.

3. Structural Design For Flexibility

Because of the varied requirements of different occupancies, it would be ideal if changes in occupancies could be predetermined and, therefore, incorporated during the preliminary design stages. For instance, if a high-rise structure is to be planned so that it would initially be an office building which would later be converted in part or totally to an apartment building, the following initial criteria could be used. The building volume would be evolved in such a way as to keep the distance from the glass line to the core suitable for both occupancies. Typical office and apartment layouts would be tested so that reasonable space efficiency is obtained for both. Elevator capacities would be based on office population and the larger floor-to-floor height required for the office would be used for all floors. The higher superposed live and partition loading would be used in the design of the floor system. The type of floor framing would be selected in such a way that vertical shafts for plumbing services could be provided in the slab for future apartments.

A more typical situation is encountered when changes in occupancies cannot be established during the design phase. What structural systems and subsystems are available which afford some degree of flexibility for changes and remodeling? The following is a brief discussion relative to various structural systems and subsystems.

a. Floor Loading

The superposed design loading (live load) affects flexibility directly. These loads are specified by codes and standards for various occupancies and represent the minimum load capacity required. An average value of 50 psf is typically used for office occupancy. It is left to the design engineer to evaluate if the desired degree of flexibility could be satisfied by the code specified live load or if it should be increased. The minimum live loading covers a normal office with desks, chairs, other normal office equipment and people loading. It is not uncommon for modern offices to have libraries, computerized data processing equipment, and floor-to-ceiling file cabinets for papers, which will need additional loading capacities. This could be accomplished by several different methods.

(i) A floor strip of a certain width at the ends of the span of the floor beams could be designated for heavier occupancies such as libraries, computerized equipment, storage and so on. This would only require shear capacities of beam connections increased without substantially increasing the bending moment requirement.

(ii) A higher live loading can be assumed for the design of the floor elements while a minimum live load could be used for column design. This is based on the premise that a localized higher load affects the floor framing directly while the increase in column load is negligible, because it carries the load from several floors. The advantage of this dual load criteria is that only the floor elements need be designed for higher loading.

(iii) A higher live loading assumed for the design of both columns and floor framing elements would obviously increase the load capacity for the full office space in lieu of just localized areas. It should be remembered that the proportion of the live load to the total load is of the order of 30 to 40 percent and that a 30 percent increase in live load would only have a 10 to 15 percent increase of the total load. A 30 percent increase in live load would obviously increase the floor capability quite significantly.

In terms of increasing overall flexibility, an 80 psf live load for instance, would not only offer complete flexibility for office occupancy, but this loading would also be suitable for commercial, classrooms and assembly rooms, etc. Obviously, the cost premium for such capability would be quite justifiable in multi-purpose, megastructures which will have to be designed for maximum flexibility.

b. Floor Framing Systems

Floor framing refers to all horizontal beam and slab elements which transfer applied gravity loads to columns or vertical compression elements. The degree of flexibility and the extent to which a floor system can be remodeled are directly related to the type of framing as well as to their structural material.

Some of the issues of flexibility have to do with the removal of components, reinforcing for higher capacity and the ability to provide shafts and penetrations through the floor system. The economic feasibility of remodeling to a large extent, depends on the ease with which this could be accomplished or to the labor cost of remodeling.

In general, maximum flexibility for changes is obtained by:

(i) Floor elements which are connected to the supporting structure by bolting or by a seated connection, thus facilitating their easy removal.

(ii) Floor systems which consist of widely spaced beam elements which support relatively thin slabs whereby shafts and openings between floors can be provided in the slabs without remodeling the beam elements.

(iii) Beam elements which are capable of being reinforced to increase their load carrying capacity.

Fig. 1 shows some of the typical floor systems. Concrete framing systems where the concrete is poured in-situ monolithically with vertical supporting elements offer the least flexibility. Examples of this type are the flat slab, flat plate, one-way joist and the waffle joist or two-way joist systems. Additional load carrying capacities are not easily obtainable in these systems by adding concrete to an existing system. Therefore, consideration should be given to designing for a larger live load initially.

In the joist system, joists should be spaced as far apart as possible so that floor penetrations and shafts could be provided in the slab areas.

The extreme rigidity of the poured-in-place concrete floor system can be improved upon by precast systems. Two versions are shown in Fig. 1. The precast beam, if connected to the supporting system by a seated connection, could be easily dismantled and replaced. The slab could be either on a corrugated deck or precast planks, thus facilitating their removal if required.

Structural steel framings offer maximum flexibility for remodeling. Steel beams are generally connected to supporting members either by bolting or by a seated connection which could be removed. Steel beams could be spaced farther apart and the slab (reinforced concrete or metal deck) could be cut between beams. If additional loading capacity is needed, bending resistance of the beam could be increased by adding steel plates to the top and bottom flanges. Further, subframings between beams could be provided by welding secondary beams to existing main beams.

c. Overall Structural Systems

A required characteristic of a high-rise building is its resistance to lateral load of wind and earthquake. As the building height increases, the structural system is increasingly dominated by lateral load design. Several structural systems in concrete and in steel have been evolved over the years which offer varying degrees of flexibility in terms of adaptation to changes. The following is a brief review.

Frame buildings rely on the bending resistance of beams and columns arranged in a planar Vierendeel truss form in two directions for their lateral load resistance as shown in Fig. 2 (A). The beam elements on the frame lines are attached to columns by means of rigid or semi-rigid moment connections and as such, cannot be removed or relocated. Flexibility toward changes and modifications will, therefore, have to be constrained to within a bay area. If the frame building is conceived in a concrete flat plate or joist system, the available flexibility is further reduced since the slab over at least 50 percent of the width of the bay is used as a frame beam and cannot therefore be modified.

Shear wall building systems either partially or fully rely on the concrete walls usually provided around the building core for their lateral resistance. The floor system is generally designed only for gravity load. If proper selection of the floor system is made, this will allow some flexibility in removal or remodeling of the floor at isolated locations. For instance, structural steel framing for the floor outside of the shear wall can be used which would increase the amount of flexibility available. Systems of this type have been quite popularly used in the United States and in Europe.

Exterior tubular systems use the facade framing to develop an

equivalent cantilever structure and offer maximum potential for adaptation to change. This is because the interior of the building is free of any lateral load resistance as long as some requirements of the floor diaphragm are met for the development of the overall cantilever system. One obvious advantage is that the interior can be adjusted to meet the requirements of multiple occupancy as well. The 100 story John Hancock Building in Chicago uses a diagonalized exterior with interior steel framing. This arrangement was extremely conducive to meet the requirements of commercial, parking, offices, apartments and television transmission facilities, all in one building. Fig. 3 shows a cross-section through the building. The floor beam spacings for various apartment groups were different since the beams were required to correspond to partition locations. The taper is generated to satisfy the minimum depth requirements of the apartments as contrasted to that of offices.

The advantages of planning flexibility offered by steel framing could be combined with structural rigidity of a reinforced exterior concrete tube for lateral loads, to evolve a type of composite system, where concrete and steel can be used to their maximum advantage. This was the basis of design of the 52 story One Shell Square Building in New Orleans. The building under construction is shown in Fig. 4 which reveals the closely spaced columns and deep spandrel beams of the exterior tube of reinforced concrete. The floor system consists of steel beams spanning between exterior composite columns of the concrete tube and interior steel columns. The floor slab consists of concrete topping on metal deck.

Fig. 2D shows a bundled tubular system formed out of four smaller size tubes or cells. In addition to offering the advantages of a tubular system previously stated, the bundled form is also suitable for modularion of floor area. Different floor shapes and sizes could be evolved by termination of different tubes at different heights to suit various functional needs.

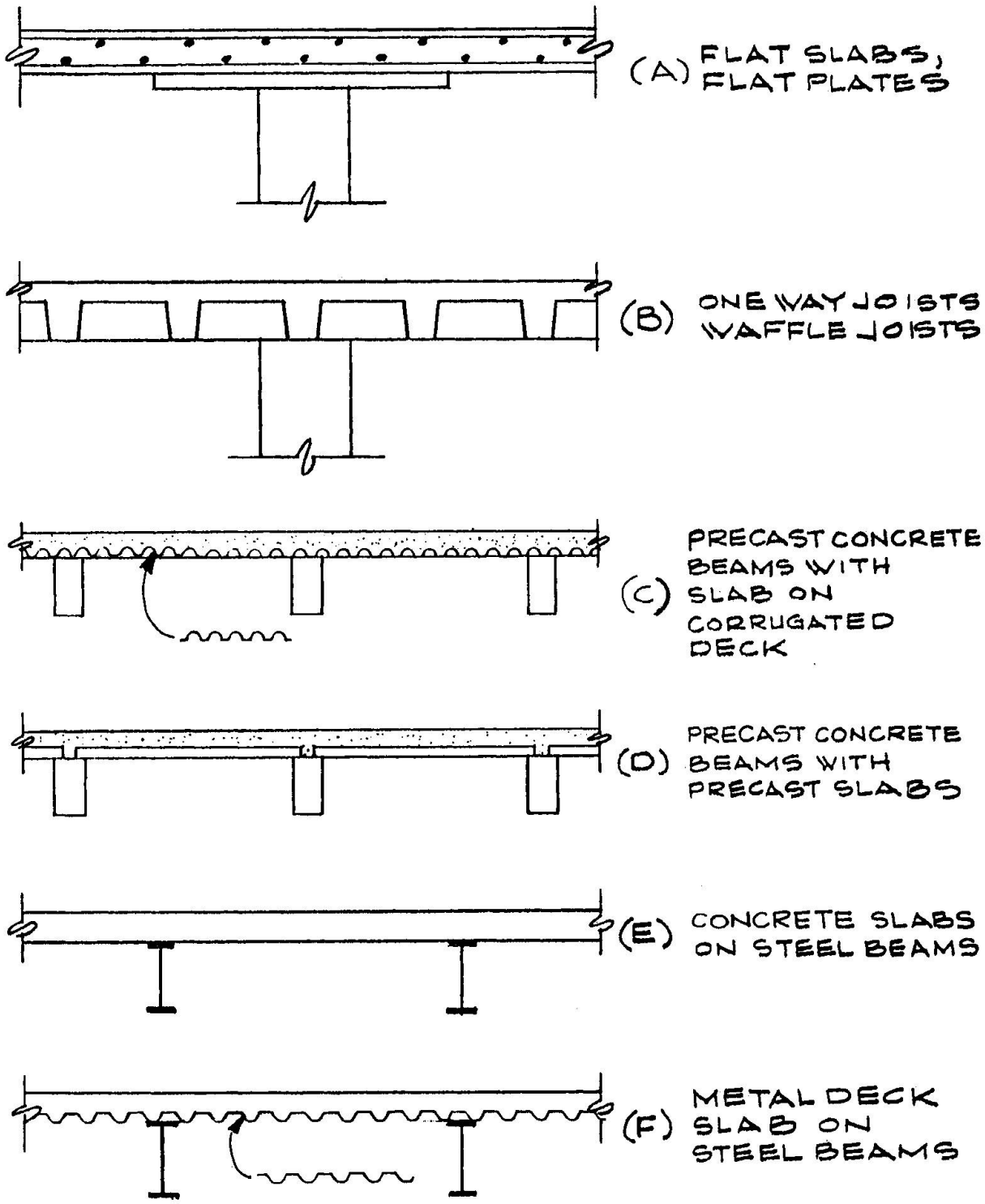

FIG. 1 FLOOR FRAMING SYSTEMS

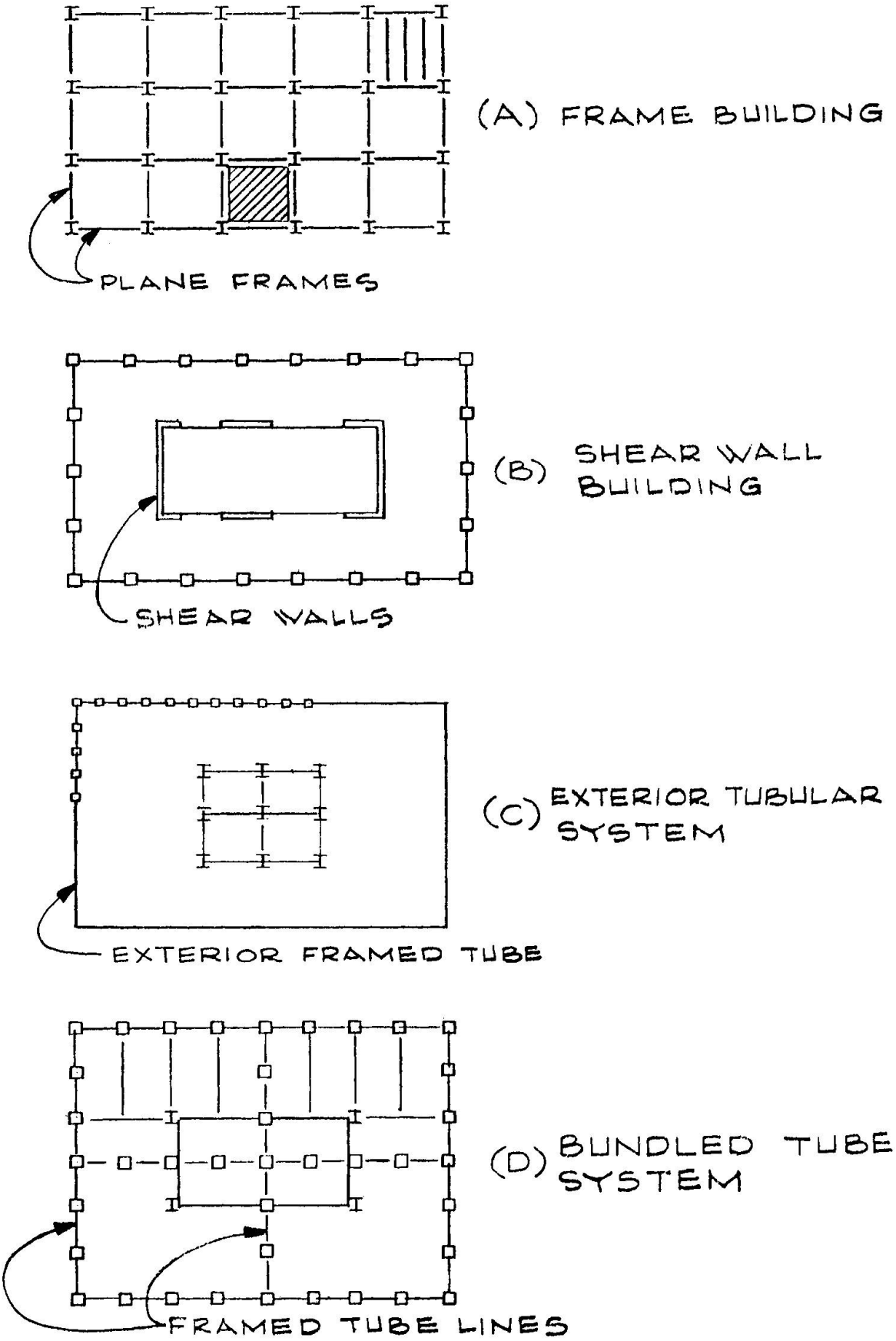

FIG. 2
STRUCTURAL SYSTEMS

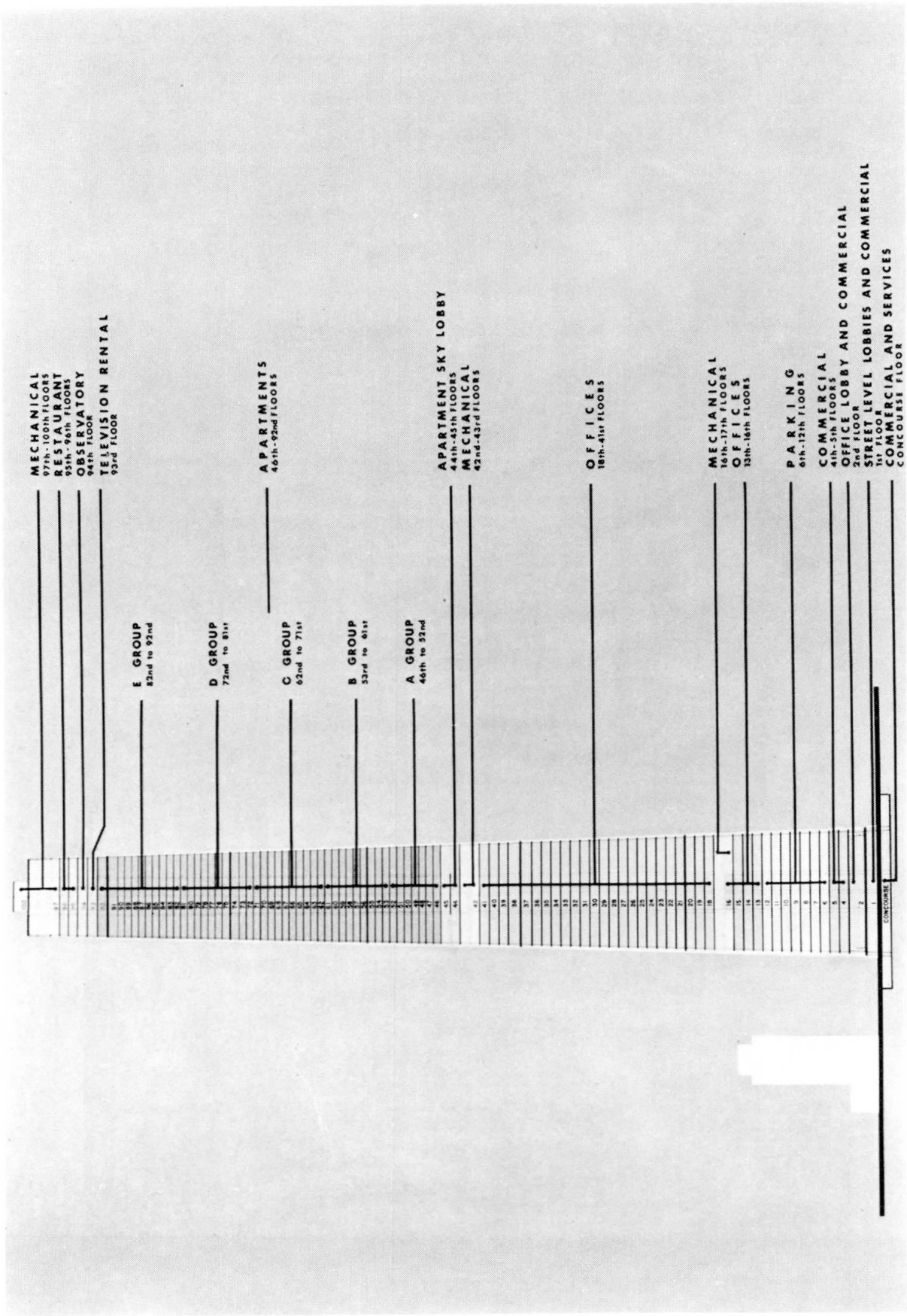

FIG. 3 MULTIPLE FUNCTION OF JOHN HANCOCK CENTER, CHICAGO

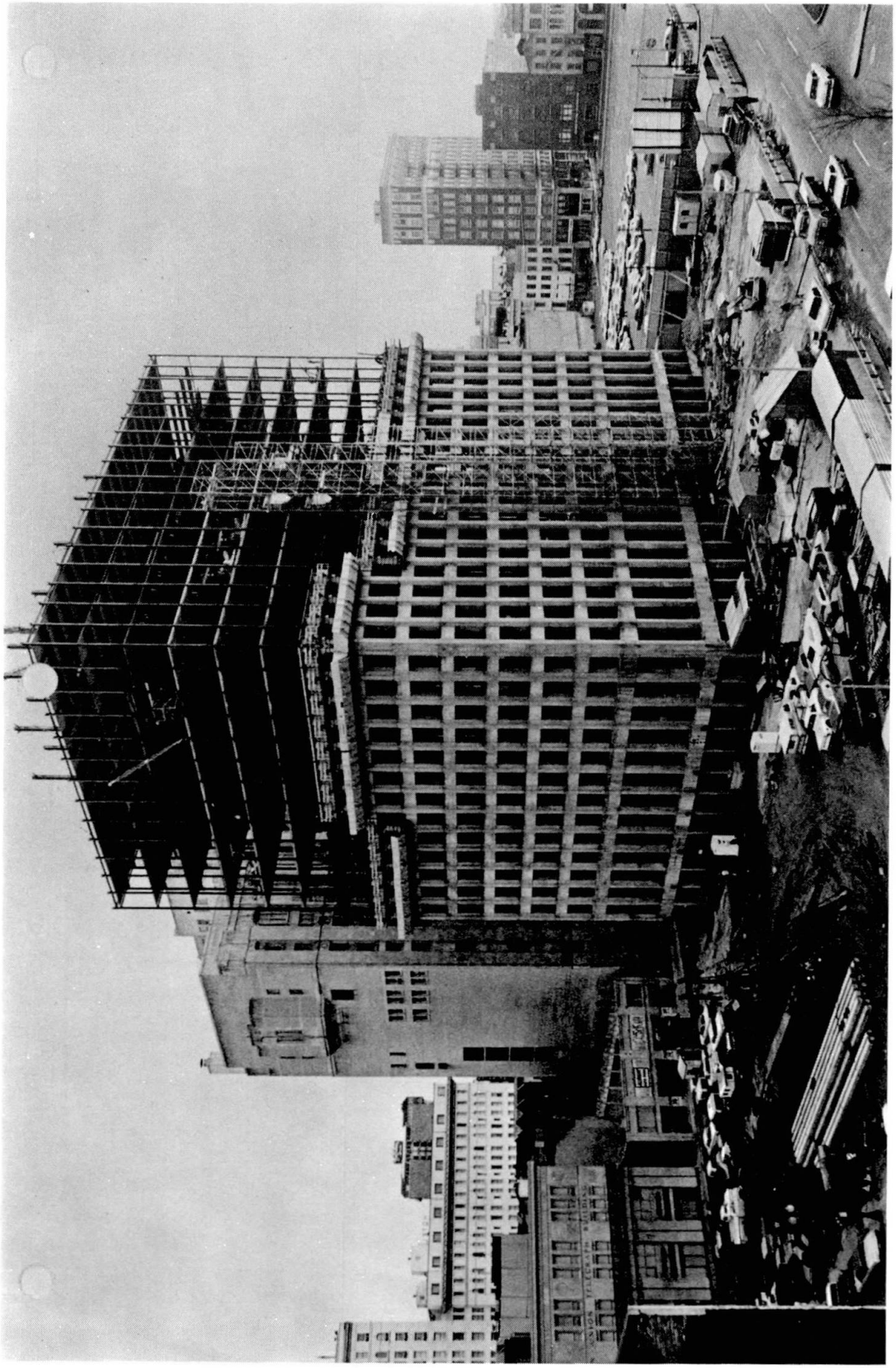

FIG. 4 COMPOSITE SYSTEM WITH EXTERIOR CONCRETE TUBE

SUMMARY

This report presents some general considerations for the design of the floor systems and overall systems which offer some flexibility toward multiple occupancy and for adaptation to changes in occupancy, as applied to high-rise steel and composite structures. Flexibility considerations will play a major role in future megastructures which must necessarily involve multiple functions. It is obvious that total flexibility will not become a reality until modularization and standardization concepts are used for all building components so that they are truly replaceable and interchangeable.

RESUME

Ce rapport présente quelques considérations générales sur le système de planchers et le système global d'une construction devant offrir une certaine souplesse d'utilisation et d'adaptation, telles qu'ils sont appliqués dans les maisons hautes en acier ou en construction mixte. Les considérations relatives à la souplesse d'utilisation joueront un rôle déterminant dans les futures mégastructures devant remplir nécessairement plusieurs fonctions. Il est évident qu'une souplesse totale ne deviendra réalité que lorsque le concept d'éléments modulaires et normalisés sera employé pour tous les composants du bâtiment, permettant alors réellement un remplacement ou un changement.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Bericht vermittelt einige allgemeine Ueberlegungen zum Entwurf von Stockwerksystemen sowie von allgemein anwendbaren Systemen eines Bauwerks, das eine gewisse Flexibilität in der Nutzungsdauer aufweisen muss und sich den wechselnden Anforderungen anpasst, wie dies bei Stahl- und Verbundhochhäusern der Fall ist. Die Ueberlegungen hinsichtlich Flexibilität werden in den zukünftigen Hochhäusern eine grössere Rolle spielen, die notwendigerweise mehrere Funktionen zu erfüllen haben. Es ist offensichtlich, dass vollkommene Flexibilität erst dann erreicht ist, wenn das Konzept der Baukasten- und Normungselemente für alle Bauteile angewendet wird, damit diese auch tatsächlich ersetzt und untereinander ausgetauscht werden können.

Leere Seite
Blank page
Page vide