

Současná doba je plná rozporů, střetů, hledání vlastní identity, bourání tradičních hodnot a až zběsilé rychlosti žití. Jsme soustavně zahlcováni informacemi z internetu a multimédií, svět jakoby ztrácel svoji přirozenost a smysl poznání tříštil do povrchní plytkosti, bez schopnosti proniknout k podstatě. Vše je určováno, vyhodnocováno, řízeno, propojeno a kontrolováno počítačovými sítěmi a softwarovými programy a obavy z jejich možného selhání jsou noční můrou. Je toto vše přirozené, pokrokové, anebo je to předzvěstí konce jedné etapy s příslibem něčeho „lepšího“? Odpověď neznáme, a máme-li existovat, musíme doufat, mít naději a radovat se z maličkostí, ze zdánlivých samozřejmostí každodenního života.

Počítače, multimédia, vizualizace – virtuální svět proniká do všech odvětví, vytlačuje klasické knihy, reálný svět, schopnost rukodělné práce, vlastní intuici, kreativitu. Tyto schopnosti jsou ale pro práci architekta životně důležité, přímo nezbytné. Novým fenoménem architektury jsou konstrukce tzv. volných tvarů a tekutá architektura, kterou produkují špičkové softwary. Problém je v tom, že tyto tvary často postrádají statickou funkci. Jejich realizace je možná aplikací tradičního nosného systému, na který se připevní tvarové opláštění. Prioritou je tvar bez statického opodstatnění, cílem je ohromit a upoutat, i když je konstrukce staticky nelogická. Je to ale přesto jedna z možných cest, jak stavět a tvořit, a zda je tou pravou, prověří čas a další vývoj.

Znalost konstrukce a porozumění jí je podstatným (esenciálním) poznáním, které nás vede k pochopení architektury. Architekturu nelze oddělit od konstrukce a neexistuje konstrukce bez architektury. Názory na cíle, směry a vývoj architektury se neustále vyvíjejí, nicméně za stále platné lze považovat tři základní komponenty architektury, které formuloval Vitruvius:

<b>firmitas</b>	– statická pevnost a stabilita stavby,
<b>utilitas</b>	– praktický cíl stavby,
<b>venustas</b>	– estetický cíl.

Za prvé je nutno přihlížet k firmitas, tj. statické pevnosti a stabilitě stavby, tento bod limitují technické znalosti doby a prostředí vzniku stavby. Druhým bodem je utilitas, tj. praktický cíl stavby, jemuž se stavební plány musí nutně přizpůsobit. Třetím bodem je pak venustas, tj. estetický cíl, který je zpravidla poplatný estetickým názorům doby vzniku. Tyto tři body se víceméně projevují na každé stavbě, přesto procento, kterým jsou jednotlivé body zastoupeny, je velice variabilní. Firmitas je základní vlastností, představuje schopnost budovy zajistit její fyzické zachování – „přežít“. Část, nebo části budovy, které zajišťují firmitas – stabilitu a pevnost stavby – jsou **konstrukcí – nosnou kóstrou**. Konstrukce je fundamentem. V současnosti lze tyto základní požadavky rozšířit o další kritéria, která jsou obsažena a popsána na obr. 1.1.

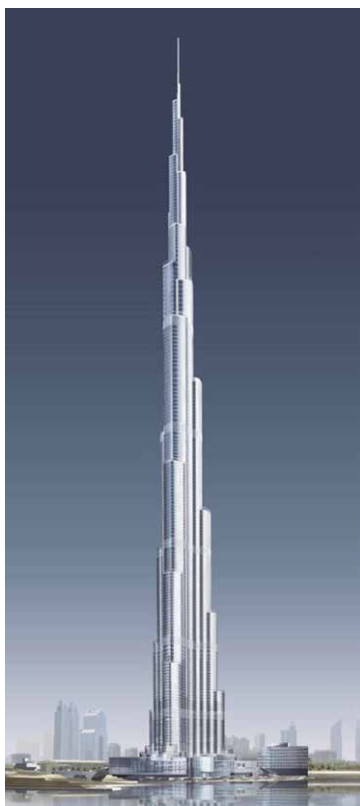
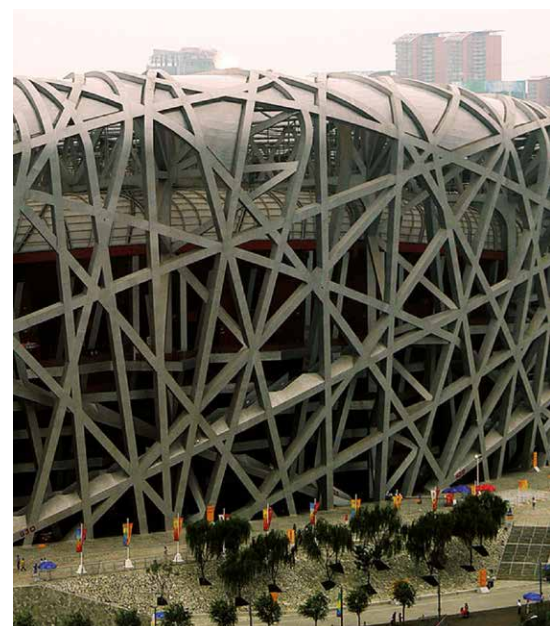


**obr. 1.1** Kritéria a požadavky kladené na konstrukce

◀ **stabilita a pevnost konstrukce**  
 Zřícení Twin Towers, WTC, New York 11. září 2001, teroristické útoky

**hospodárnost konstrukce** ▶  
 Národní stadion, Peking, 2003–2008

**estetika konstrukce**  
 Oceanárium, Valencie, 1997



**proveditelnost konstrukce**  
 Burdž Chalífa, Dubaj, 2004–2010



**použitelnost a funkčnost konstrukce**  
 Kalifornská akademie věd, San Francisco, 2008



Tato uvedená kritéria jsou neustále rozšiřována o nová, související s **užitečností stavby**. Zahrnují to, aby následný provoz byl co nejlevnější – **nízkoenergetické stavby**, a zároveň ekonomické požadavky na cenu stavby. Dalším požadavkem moderní doby je soulad s **ekologickými zásadami**. Při návrhu stavebního díla je nezbytné sladit do konečného optimálního řešení řadu požadavků, které se vzájemně ovlivňují, podmiňují a často se i vzájemně vylučují – viz obr. 1.1. Splnění požadavků kladených na konstrukci je tedy víceextremální úlohou vedoucí k vícekritériální optimalizaci.

## SÍLA

Síla je působení, účinek, vliv na objekt (konstrukci). Síla může vyvodit pohyb, např. zatížení větrem, které působí jako vodorovné horizontální zatížení, nebo provozem v podobě zatížení osob či vybavení zařízení jako vertikální zatížení svislé. Ve skutečnosti zatížení idealizujeme, snažíme se najít ten nejpřesnější model, který by vystihoval danou situaci.

## REAKCE

Vrátím se k obr. 1.2, reakce jsou vyznačeny červenými šipkami, jsou vyvolány zatížením (děvčátko na koloběžce) působícím na konstrukci – nosník. Reakce lze tedy chápat jako „odezvu“ na zatížení.

## NAPĚTÍ

Napětí je mírou intenzity vnitřních sil. Hodnotu velikosti napětí lze chápat množstvím vnitřních sil vztahených na jednotku plochy. Rozdíl lze pochopit z praktického příkladu. Automobil přenáší svoji váhu prostřednictvím relativně malé dotykové plochy kol na vozovku – ve vozovce vzniká napětí; větší napětí bude ve vozovce působit tehdy, pokud hmotnost automobilu zvětšíme a ponecháme stejnou dotykovou plochu kol.

## MOMENT

Moment lze chápat jako otáčivý účinek.

Předmětem našeho zkoumání bude zajistit prioritně bezpečnost konstrukce. Bezpečností (spolehlivostí) konstrukce rozumíme schopnost v první řadě unést sama a teprve pak zatížení, kterému bude pravděpodobně vystavena po dobu užívání v té nejnepříznivější předpokládané kombinaci zatížení, aniž by došlo k deformacím, které by znemožňovaly její užívání, estetickou nebo psychologickou funkci či havárii konstrukce. Tento požadavek je často považován za samozřejmost, ovšem příklady havárií jsou dostatečně výmluvné (obr. 1.3, 1.4).

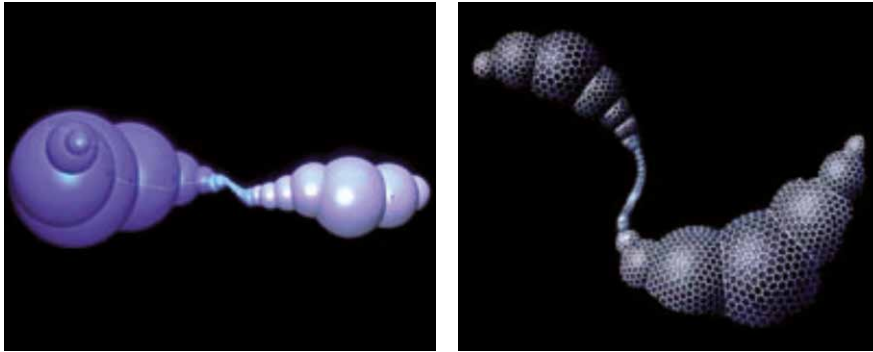


**obr. 1.3** Havárie terminálu odbavovací haly Letiště Charlese de Gaulla, Paříž, 2004, 4 mrtvých



**obr. 1.4** Havárie zavěšené lávky v atriu hotelu Hyatt Regency v Kansas City, Missouri, 1981, 114 mrtvých





**obr. 1.6** Počítačově generovaný obraz biomu. Přírodní inspirace a realizace biomů Eden Project, Cornwall, 1998–2000



Za zakladatele statiky je považován **Archimedes** (287 př. n. l. – 212 př. n. l.) – matematik a mechanik starověku, který formuloval zákon páky, což je v podstatě momentová věta. K rozvoji stavební mechaniky dochází až v období renesance. Znamé jsou čtyři knihy o architektuře z roku 1570 od **Andrey Palladia** (1508–1580). Palladio se zabýval otázkami, které souvisí s konstrukčním řešením na úrovni pouhé zkušenosti. Až úsměvně působí metoda určování únosnosti základové půdy: „Tvrdé a pevné půdy se nezachvějí při dopadu těžkého závaží, takže se nerozezní bubny postavené na zemi, ani se nezavlní voda v nádobách.“ Těžištěm jeho práce je navrhování mostních staveb, kamenných i dřevěných. Znamý je jeho Matematický most v Cambridge důmyslně navržený ze dřeva bez jediného spojovacího prostředku. Palladio navrhuje dřevěné systémy konstrukcí, které jsou předobrazy pozdějších příhradových konstrukcí.

**Galileo Galilei** (1564–1642) – *magnus parens* mechaniky, zastánce heliocentrické soustavy. Ve svých pracích rozpracoval teorii tahu, mezního břemene, zabýval se teorií ohybu konzoly. Některé jeho úvahy byly správné, některé mylné. Byl vynikajícím experimentátorem, bohužel mechanice se věnoval až na sklonku svého života, těžce nemocný a pronásledovaný za svoje názory, které církev považovala za kacířské.

**Robet Hooke** (1635–1703) – zájmy jeho bádání byly široké, jako první sestrojil funkční jednoduchý mikroskop. V oblasti mechaniky jako první popisuje přetvoření ohýbaných nosníků, všiml

si, že vlákna na vypuklé straně se prodlužují a na vydaté zkracují. Tento postřeh formuloval jako závislost o úměrnosti mezi silou a přetvořením – Hookův zákon. Tím položil základ celé teorii pružnosti.

**Isaac Newton** (1643–1727) – fyzik, matematik, astronom. Jeho publikace *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, vydaná v roce 1687, položila základy **klasické mechaniky** a dnes bývá řazena mezi nejdůležitější knihy v historii vědy. Newton v ní popisuje zákon všeobecné gravitace a tři zákony pohybu, které se na další tři staletí staly základem vědeckého pohledu na fyzický vesmír. V mechanice především dokázal, že fyzikální zákony platí nejen na Zemi, ale i ve vesmíru. Newtonovým nejznámějším objevem byly tři pohybové zákony:

- **zákon síly,**
- **zákon setrvačnosti,**
- **zákon akce a reakce.**

Dále objevil zákony všeobecné gravitace (Newtonův gravitační zákon). Klasická mechanika se dodnes opírá o jím zavedené pojmy **hmotnosti, setrvačnosti, síly a interakce.**

**Johann I. Bernoulli** (1667–1748) – formuloval princip virtuálních posunutí a pravděpodobně s pomocí svého bratra Jacoba i diferenciální rovnici řetězovky. Známa je Bernoulliova hypotéza o rovinnosti průřezů před deformací a po ní.

**Leonhard Euler** (1707–1783) – pokračovatel práce Bernoulliho. Zpracoval na 886 vědeckých prací a je tak považován za nejpłodnějšího matematika vůbec. Ve svých pracích se věnoval matematice, mechanice, hydraulice, optice, stavbě lodí i teorii hudby, jeho záběr je obrovský. Pro mechaniku jsou nejdůležitější práce pojednávající o ohybové čáře a jeho úvahy vztahující se k namáhání na vzpěrný tlak.

**Charles A. de Coulomb** (1736–1806) – reprezentant vrcholu statiky a pružnosti 18. století. Rozpracoval teorii zemního tlaku, zkoušel pevnost kamene v tahu, smyku a ohybu, zkoumal kroucení a předběhl svoji dobu v oblasti tření – tření je úměrné tlaku na podložku.

**Thomas Young** (1773–1829) – osobnost vynikající mimořádným nadáním, ve své vědecké práci se věnoval optice, akustice a pružnosti, dokonce se podílel na rozluštění hieroglyfického písma. Ve své knize z roku 1807 se věnuje řešení mimostředního tlaku, stabilitě tlačných prutů, plasticitě. Nejznámější je jeho objev modulu pružnosti v tahu a tlaku, spjatý s jeho jménem. Young tak zavedl charakteristiku, která popisuje schopnost materiálu deformovat se a přetvářet.

**Claude Louis M. H. Navier** (1785–1836) – zahájil svou profesní kariéru studiem visutých mostů se zaměřením na jejich stavebně-mechanickou teorii včetně kmitání, což byl záslužný počín, do té doby nezpracovaný. Roku 1826 vydává knihu, která je považována za základ statiky stavebních konstrukcí. Prosadil teorii, která v praxi usnadňovala výpočet konstrukcí, a to tak, že vycházel z představy zachování pružného stavu konstrukce vystavené provoznímu zatížení. Vyhodnotil řadu materiálových zkoušek, formuloval předpoklad rovinných průřezů, odvodil řešení pro normálová napětí a diferenciální rovnici ohybové čáry. Zasloužil se výrazně o rozvoj obecné metody pro řešení staticky neurčitých konstrukcí, jeho zásluhy jsou i v oblasti zdokonalení teorie oblouků.

V této kapitole se seznámíme se základním rozdělením typů konstrukčních systémů a jejich prvků. Toto rozdělení je nezbytné proto, abychom mohli přistoupit k řešení jednotlivých typů stavebních úloh.

Stavební konstrukce sestávají z částí, které plní různou funkci. Na naše dělení bude mít rozhodující vliv bezpečnost, a tu zajišťují ty prvky, které plní funkci statickou – závisí na nich bezpečnost konstrukce jako celku. Tyto konstrukce jsou konstrukcemi **nosnými** a budou předmětem našeho zkoumání. **Nosná konstrukce je kostrou**, plní funkci nosnou ve smyslu přenosu zatížení – **únosnost** a musí splňovat nezbytnou tvarovou stálost – **tuhost**.

Rozdělení konstrukcí či konstrukčních elementů provedeme dle **geometrického tvaru**, protože ten nejlépe vypovídá o konkrétním tvaru konstrukce. Konstrukce tedy členíme na:

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>prutové</b>          | – převládající rozměr je délka – nosníky, sloupky, rámy, příhradoviny, lanové konstrukce, oblouky, |
| <b>plošné</b>           | – tloušťka je vzhledem k ostatním rozměrům velmi malá – desky, stěny, skořepiny,                   |
| <b>masivní (tělesa)</b> | – všechny tři rozměry jsou přibližně stejné – základy, přehradní hráze, opěrné zdi.                |



**obr. 2.1** Terminál hromadné dopravy, Hradec Králové, 2006–2008

**obr. 2.3** Flatiron Building, New York, 1902

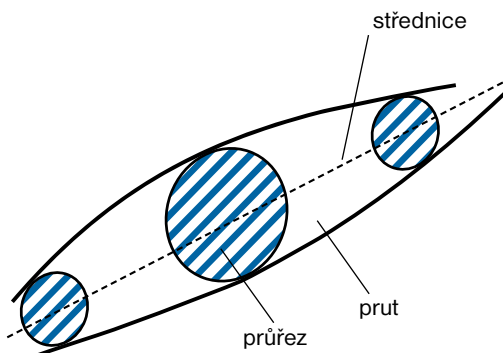


**obr. 2.2** Burza Ludwig Eberhard Haus, Berlín, 1994–1997





Zatřídit typ konstrukce není vždy snadným úkolem, řada konstrukcí totiž využívá kombinování různých konstrukčních prvků (obr. 2.1), ať už z důvodů ryze účelových, či hledání nových forem estetického výrazu. Přesné rozpoznání typu konstrukce je dáno i formou zvoleného pojetí nosné konstrukce, která může zcela odhalit svoji nosnou kostru (obr. 2.2), anebo její přiznání potlačit a schovat do fasády. Typickým příkladem nosné konstrukce ocelového skeletu „schovaného do staromódního svrchníku“ je budova Flatiron v New Yorku, jejíž vzhled nic nenapovídá o podstatě nosného konstrukčního systému (obr. 2.3).



obr. 2.4 Interpretace prutu

obr. 2.5 Železniční most přes řeku Havel, Berlín, 1998; vlnový průběh horní příruby hlavního nosníku mostní konstrukce je ukázkovým příkladem spojitě změny průřezu

obr. 2.6 Viadukt Monestier-de-Clermont, Francie, 2007; příklad možného řešení proměnnosti průřezu nad podporou

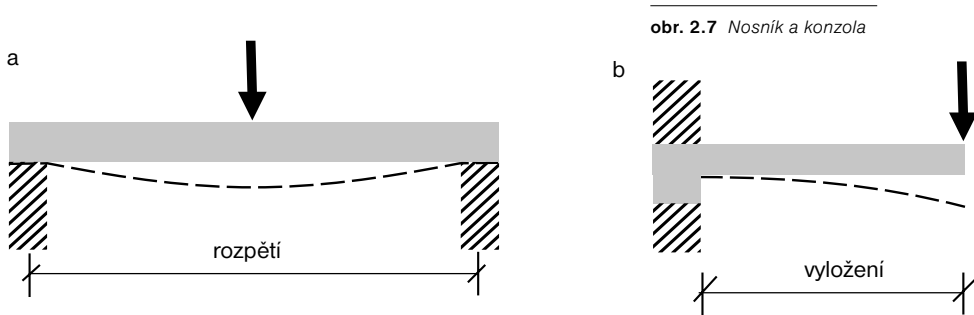
Tvar prutu je předepsán tvarem střednice, ta může být přímá, lomená, zakřivená – oblouky, prostorová, konstantního průřezu nebo proměnného průřezu.

V našich dalších úvahách a rozborech se budou nejvíce uplatňovat konstrukce prutové, a z toho důvodu detailněji popíšeme tento konstrukční prvek. **Prut** je konstrukční prvek, jehož jeden rozměr – délka – je značně větší v poměru k šířce a výšce. Prut budeme znázorňovat střednicí (obr. 2.4), kterou lze chápat jako myšlenou spojnicí těžišť dílčích průřezů, často označovanou jako osa prutu. Prut si lze představit jako příčný průřez pohybující se po střednici svým těžištěm. Pokud se tvar průřezu nemění, pak je prut stálého průřezu, může se ale měnit skokem, změna může být i spojitá podle přímky, nebo křivky (obr. 2.5, 2.6).



## NOSNÍKY

Nosníky jsou nejčastěji se vyskytující konstrukční prvek. Nosníky se vyskytují v podobě prostého nosníku, spojitého nosníku a konzoly. Jejich působení a statická funkce jsou závislé na typu podepření a zatížení, převládající namáhání je ohybové. Materiálově lze nosníky navrhovat ze dřeva, oceli, betonu nebo předepnuté.



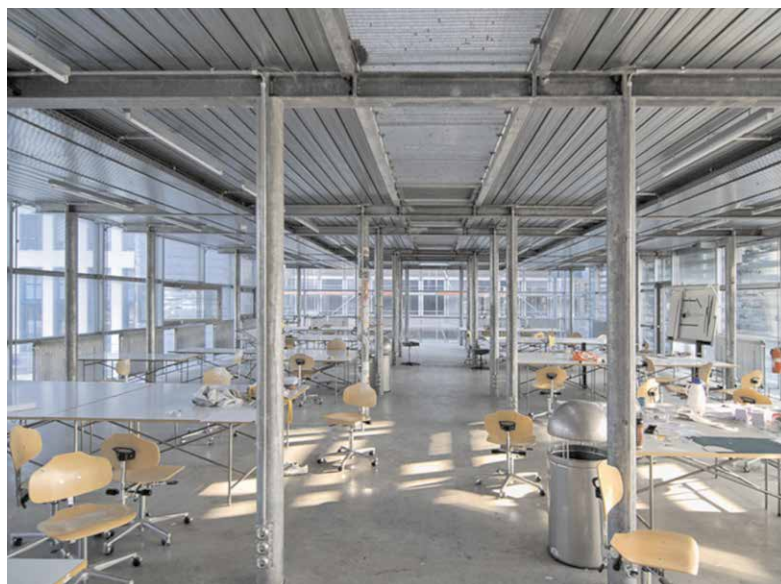
obr. 2.7 Nosník a konzola

**Prostý nosník** (obr. 2.7a) lze považovat za nejstarší a nejčastěji se vyskytující konstrukční prvek. Je to prvek podepřený ve dvou bodech, zatížený kolmo nebo šikmo k ose prutu. Vzdálenost podpor je označována jako rozpětí. Charakteristickou vlastností nosníku je **průhyb** – deformovaná osa nosníku v důsledku zatížení. Jak se dozvíme dále, působením zatížení je hmota materiálu nosníku pod osou prodlužována – dochází k tahu spodních vláken, a část nad osou je stlačována – dochází k tlaku horních vláken. Tento případ je pak nosníkem prostě podepřeným. Nosník lze opatřit i krajním vyloženíím buď jednostranným, nebo oboustranným a pak se jedná o nosník s převislými konci. Nosníky jsou namáhány na **ohyb**. Nosník prostý s lomenou střednicí je typickým případem nosné konstrukce schodiště (obr. 2.8).



obr. 2.8 Odbavovací hala Letiště Václava Havla, Praha-Ruzyně

obr. 2.9 Přístavba fakulty architektury RWTH, Cächy, 2000; ocelové nosníky tvaru I, vynášené ocelovými sloupy





**Konzola** je jednostranně podepřený nosník (obr. 2.7b). V porovnání s prostým nosníkem má deformovaná osa konzoly největší průhyb na volném konci, horní vlákna nosníku jsou tažena, spodní tlačena. Konzola nemusí působit jako horizontální prvek, ale i jako vertikální prvek horizontálně zatížený – typický příklad je Eiffelova věž v Paříži. Z uvedených příkladů je zřejmá proměnnost hmoty materiálu (obr. 2.10, 2.11, 2.12).



obr. 2.10 Železniční stanice Oriente, Lisabon, 1998; mohutné vyložení konzol



obr. 2.12 Kostel sv. Mořice, Olomouc, 1412–1492; dekorativně tesané konzoly



obr. 2.11 Akátová věž Výhon, Židlochovice, 2009; používá konzoly pro vynesení točitého schodiště



obr. 2.13 Viaduc de la Meuse, Lacroix-sur-Meuse, Francie, 2003–2005

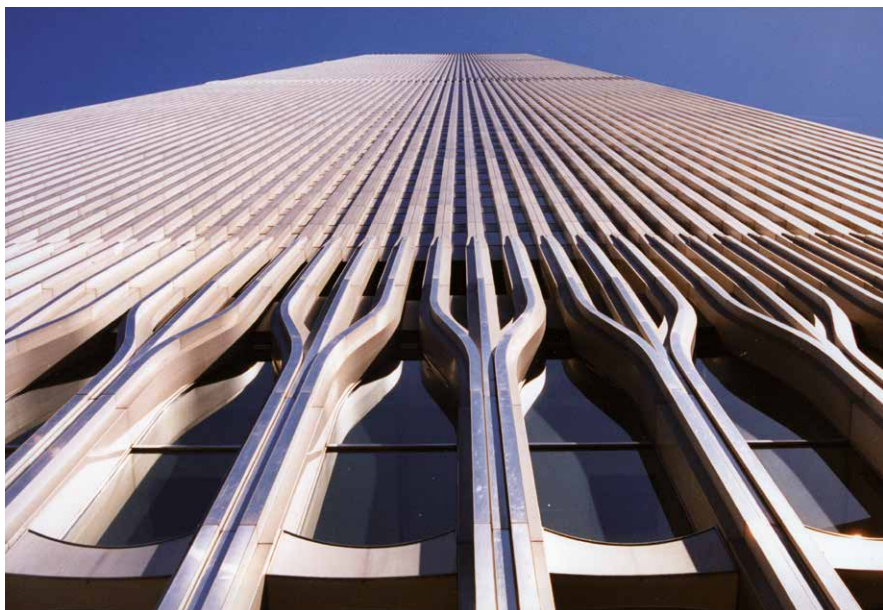
**Spojité nosník** je už vyšším konstrukčním typem tzv. složené prutové soustavy. Vzdálenost mezi podporami je označována jako pole. Spojitý nosník je konstrukcí spočívající na více než dvou podporách, která není nad podporou rozříznuta (obr. 2.13). Uvedený příklad (obr. 2.14) je spojitým nosníkem o třech polích. Efekt chování tohoto konstrukčního působení je vidět na obrázku, který porovnává

obr. 2.17 *Rozhledna Killesberg, Stuttgart, 2001; subtilní středový tlačný sloup*

obr. 2.18 *Mediatéka, Sendaj, Japonsko, 1997–2001; „průhledné“ sloupy*



obr. 2.19 *WTC, New York, 1966–1973; výrazná proměnnost tvaru průřezu nosných sloupů, dnes už neexistujících mrakodrapů „dvojčat“*



## OBLOUKY

Oblouk je konstrukcí se **zakřivenou střednicí** – tvar může být kruhový, parabolický, eliptický atd. Z historie známe oblouk románský, gotický zalomený oblouk a arabský oblouk. Oblouk lze považovat za konstrukční prvek, který umožnil překlenout značné rozpory, a tak ve své době znamenal revoluci v architektuře. Oblouky jsou konstrukcemi s převládajícím namáháním na tlak, proto bylo možné stavět první oblouky z kamene, který tlaku dobře vzdoruje. U oblouků vzniká v patě vertikální reakce a **horizontální rozpínací síla**, která směřuje dovnitř oblouku a má tendenci oblouk v podpoře „rozejít“, z tohoto důvodu je nezbytné oblouky opatřit masivními základy nebo táhly. Oblouky lze navrhovat betonové, kamenné, ocelové i dřevěné.