

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 440

ISSN 1213-418X

Monika Petříčková

KONSTRUKCE A ARCHITEKTURA

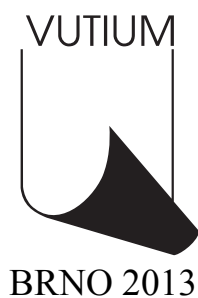
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ARCHITEKTURY
ÚSTAV STAVITELSTVÍ

Ing. Monika Petříčková, Ph.D.

KONSTRUKCE A ARCHITEKTURA

STRUCTURE AND ARCHITECTURE

Zkrácená verze habilitační práce



Klíčová slova

Architektura, nosná konstrukce, nosníky, sloupy, příhradové konstrukce, dimenzování, lanové konstrukce, obloukové konstrukce, rámové konstrukce

Key Words

Architecture, load-bearing structures, beams, columns, trusses, dimension, cable construction, arch constructions

Originál habilitační práce je uložen ve fakultní knihovně Fakulty architektury Vysokého učení technického v Brně, Poříčí 5, Brno

© Monika Petříčková, 2013

ISBN 978-80-214-4674-8

ISSN 1213-418X

Obsah

Představení autora	4
Úvod	5
Úloha konstrukce	6
Nosné konstrukce	8
Materiály	9
Konstrukční požadavky	11
Příhradoviny	13
Nosníky	14
Sloupy	16
Rámy	17
Oblouky	18
Lanové konstrukce	20
Závěr	22
Seznam použité literatury a fotografií	24
Abstrakt	27

Ing. Monika Petříčková, Ph.D.

osobní údaje

Datum narození: 21. 7. 1966
Místo narození: Brno
Bydliště: Brno
Stav: vdaná

údaje o dosaženém vzdělání

1981 – 1984 Gymnázium tř. kpt. Jaroše, Brno
1984 – 1989 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, obor Konstrukce a doprava, specializace Stavební mechanika
2000 udělen titul Ph.D. obor: Architektura, téma: Kovové struktury v architektuře, školitel: Doc. Ing. arch. Jaroslav Drápal, CSc.

profesní kariéra

1989 – 1990 Studijní pobyt na VUT FAST Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, výuka předmětu Prvky ocelových konstrukcí, Základy stavební mechaniky.
1990 – 1991 Projekce Dopravoprojekt Brno – ateliér betonových mostů.
1990 – 1991 Externí pedagožka na VUT FAST, předmět Základy stavební mechaniky,
1991 – 1993 VUT FAST, samostatná odborná referentka pro tvorbu databází rozvrhů a úvazků - programování v jazyce dBase a Fox Pro.
1991 – 1993 Externí pedagožka na VUT FAST, předmět Statika I.
1992 – 1993 Externí pedagožka na SPŠ stavební Brno, předmět Dopravní stavby.
1993 – dosud Odborná asistentka na VUT FA Ústav techniky staveb, Ústav teorie architektury, Ústav stavitelství, garance předmětů Stavební mechanika I, Stavební mechanika II, Nosné konstrukce I, Inženýrské stavby v architektuře, Basic Structure, Speciální konstrukce.
2008 – dosud Členka AS FA VUT Brno,
2010 – dosud Členka Rady studijního programu FA VUT,
2009 – dosud Členka Knihovny rady FA VUT,
2011 – 2012 Členka grantové komise FRVŠ /F1,
2012 – dosud Členka grantové komise FRVŠ /G1,
2010 – dosud Členka Hodnotícího panelu pro specifický výzkum,
2011 – dosud Školitelka studenta doktorského studia Ing. arch. Jana Vrbky na téma Superkonstrukce v architektuře na přelomu tisíciletí.

ÚVOD

Moje práce je vedena snahou porozumět chování konstrukci bez hlubší znalosti matematiky a fyziky. Cílem je vytvořit a zprostředkovat spojnici mezi intuicí o konstrukci a vlastním teoretickým řešením, opírající se o základ matematického předpisu a fyzikálního chování.

To ovšem neznamená, že výklad a vysvětlení není komplexní, neúplné či zcela zjednodušené. Vědní obory statika, stavební mechanika, pružnost a pevnost jsou disciplíny založené na matematickém a fyzikálním základě, „transformované“ do podoby numerických výpočtů jako nástroje k posouzení konstrukce, čímž se prokazuje její spolehlivost. Takto lze na konstrukci pohlížet z jistého jednostranného úhlu pohledu. Umět konstrukci spočítat nemusí ale nutně znamenat, že konstrukci rozumíme, že chápeme její podstatu, vhodnost použití, materiálovou volbu či možné alternativy variantního řešení.

Tyto uvedené skutečnosti a specifické podmínky výukového prostředí na fakultě architektury mě směřovaly a formovaly k jistému záměru úpravy výukového procesu konstrukčních předmětů ve smyslu „literární – technického“ charakteru. Nezříkám se numerických výpočtů, což není ani snad možné, ale snažím se najít cestu nasměrování studentů – budoucích architektů k intuitivnímu vidění, pochopení podstaty chování konstrukcí, jasnoživému prozření a snad jistému entuziasmu pro konstrukci. Architekt nemusí být odborníkem na statiku pro to, aby byl schopen pracovat s konstrukcí, musí ale pochopit podstatu. Protože to, jak konstrukce působí navenek, jaký má tvar a dimenze, zprostředkovaně vyjadřují síly, které v konstrukci působí – jejich velikost, druh a způsob rozložení.

Práce předkládá ucelený výklad základních principů chování stavebních konstrukcí. Obsahuje výklad teoretických základů jejich statického řešení, s cílem pochopení základních principů řešení a statického působení jak elementárních, tak i částečně složitějších typů konstrukcí. Je koncipována s ambicí logického řazení jednotlivých kapitol, respektujícíe tematický obsah běžného inženýrského oboru. Výklad je modifikován do formy zdůrazňující pochopení podstaty a principů působení stavebních konstrukcí, doložených konkrétními realizacemi existujících, architektonicky významných staveb.

Záměrem bylo proniknout k esenciální složce samotné nosné konstrukce jednoduchou cestou, cestou intuice, prozření a pochopení podstaty nosné konstrukce a proto je práce postavena na sérii barevně rozlišených obrázků, schémat a fotografií, které mají tento záměr zajistit a podpořit. Samotná statika – tedy nauka o výpočtu stavebních konstrukcí jako vědní obor, je složitou disciplínou vyžadující přiměřený matematický základ v podobě inženýrského - konstrukčního studia, které většinou zajišťují stavební fakulty. Práce se snaží od tohoto „břímě“ oprostít a volí cestu jednodušší formy, což ovšem neznamená, že výklad je nekomplexní. Pro vlastní architektonickou tvorbu, pro práci architekta je totiž naléhavě nezbytné pochopení samotné konstrukce ve smyslu poznání odhalení její prostorové a hmotové podstaty v podobě důsledného uvědomění si jednoznačné vazby: analýza statického působení – volba rozpětí – volba materiálu – průřezové rozměry.

Práce je koncipována v duchu postupného rozšiřování informací s důrazem na zajištění inovačního posunu interakce teoretických znalostí a konkrétní realizace. Jednotlivé kapitoly jsou řazeny s nezbytnou posloupností, seznamující nejprve s druhy nosných konstrukcí, materiály, zařazeny jsou základní principy dimenzování. Navazují kapitoly: příhradoviny, nosníky, sloupy, rámy, lana a oblouky.

V těchto úvahách a tezích je koncipována moje práce, kterou předkládám.

ÚLOHA KONSTRUKCE

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 postrádají často 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 stále vyvíjejí, nicméně za stále platné lze považovat tři základní komponenty architektury, které formuloval Vitruvius:

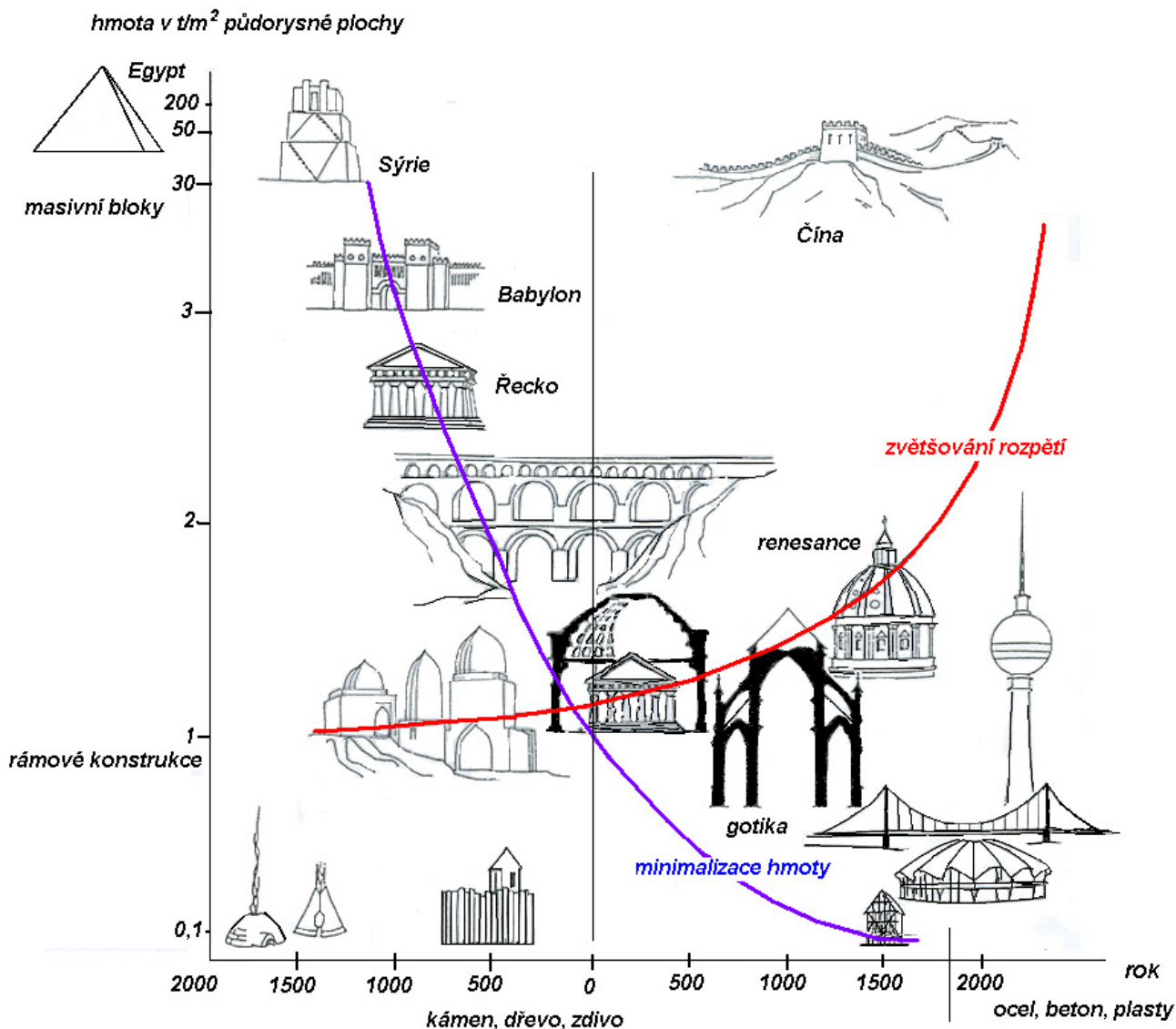
- firmitas – statická pevnost a stabilita stavby,
- utilitas – praktický cíl stavby,
- venustas – estetický cíl.

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 nutně musí 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 kostrou. Konstrukce je fundamentem.

Předmětem našeho zkoumání bude zajistit prioritně bezpečnost konstrukce. Bezpečností (spolehlivostí) konstrukce rozumíme schopnost v první řadě unést sebe sama a teprve pak zatížení, ke 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.

Nabízí se otázka, zda znalost chování konstrukcí je skutečně tak nezbytná. Musíme ovládat teorii výpočtu konstrukcí? Vždyť existují stavby, jejichž krása a stavitelskému umu se obdivujeme po staletí, snad i tisíciletí, a tyto stavby určitě nevznikaly za podpory hlubší znalosti teorie výpočtu konstrukcí. Tuto skutečnost je zapotřebí vysvětlit. Stavby tohoto typu byly navrženy a postaveny na základě zkušeností, empirie prověřené a vypořádané po staletí a formulované do podoby stavebních zákonů a předpisů, které byly ověřeny řadou stavitelů a získány mnohdy za cenu nejvyšší jako například zřícením stavby nebo se ztrátami na lidských životech. Zkušenosti stavitelů formulované do stavebních zákonů a pravidel nebyly v rozporu s obecně platnou teorií,

ale byly dostačující v dobách, kdy jediným stavebním materiálem byl kámen, cihly a dřevo. Po nástupu nových materiálů, jejichž technologie zpracování se expanzivně začala projevovat počátkem průmyslové revoluce, dosud používaná pravidla a zákony už byly nedostačující. Proto se postupně začala rozvíjet teorie výpočtu konstrukcí, kterou můžeme datovat do poloviny 19. století. Do té doby velcí stavitelé – architekti respektovali zákonitosti přírody, které nebyli schopni pojmenovat a spíše je tušili a ctili. Věděli, že jsou jimi limitováni, a ve svém návrhu uplatňovali cit vypěstovaný pro konstrukci, který dodržoval sounáležitost mezi zatížením a formou, tvarem konstrukce.



obr. 1 vývoj konstrukčních systémů ve vazbě na používané materiály – minimalizace hmoty a zvětšování rozpětí

Z historie víme, že proces stavění se od pradávna vyvíjel přes jednoduché stavby primitivních přístřešků až po úchvatné chrámy, obrovské shromažďovací prostory sakrální architektury. Každá taková stavba ztvárňovala jistou hmotu, určité její množství, musela odolávat účinku zatížení – unést sebe samu, vzdorovat větru, ohni, blesku či zemětřesení. Přitom měla být postavena tak, aby spotřebovala jisté množství materiálu, využila danou pracovní sílu, měla naplánovaný časový

harmonogram a musela být oku lahodící stavbou, která splňovala estetická kritéria – a ta byla přísná.

Proces vývoje stavebních konstrukcí a struktur byl určován řadou faktorů. V první řadě byl vývoj konstrukcí na jejím počátku omezován stavebním materiálem (kámen, cihla, dřevo), který diktoval a určoval konstrukční systém (nosník, sloup, oblouk). Za vrcholnou ve své době, lze považovat konstrukci gotické katedrály. Dalším faktorem byla masivnost (hmotnost) konstrukce vyplývající z podstaty používaného materiálu, který řadu staveb tohoto typu právě díky masivnosti předurčil k „dožití se vysokého věku“, při malé nebo skoro žádné údržbě, což je pro současné stavby nemyslitelné – bez permanentního přísunu elektrické energie nejsou vůbec životaschopné. Doba výstavby je další faktor korelující s tehdy používaným materiálem – gotické katedrály se stavěly po několik generací. Doba výstavby byla z dnešního pohledu neskutečná a prakticky nezaplacená. Jak je možné, že mohly být vůbec postaveny? Vznikaly v čase určitého společenského uskupení – otrokářského, feudálního řádu, který disponoval obrovským potenciálem levné pracovní síly – otroků, poddaných.

Nástupem průmyslové revoluce, která přináší a rozvíjí nové stavební materiály, se otevírá prostor pro rozvoj zcela nových struktur a forem, dochází k posunu hranice rozměrů staveb a překrývaného prostoru a nastávají kvalitativní změny v tradičních architektonických formách. Vznikají nové formy kupolí, kleneb, rozmanité plochy s dvojitou křivostí, lanové formy, objevuje se nové měřítko vertikály. Konstrukce prodělávají etapu odlehčení v podobě „odtučňovací kúry“ a starodávná masivní těžkopádnost je nahrazována subtilností nosných struktur inspirovaných v živé přírodě Světlo světa spatřují formy, o nichž architekti dříve jen snili. Ovšem tyto nové formy a nové materiály už nelze stavět jen na základě stavebních zákonů – otevírá se nový vědní obor – stavební mechanika, nauka o výpočtu konstrukcí – teorie výpočtu konstrukcí.

NOSNÉ KONSTRUKCE

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. 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. Členění na

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

Zatřídít typ konstrukce není vždy snadným úkolem, řada konstrukcí totiž využívá kombinování různých konstrukčních prvků obr. 2, 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. 3, anebo její příznání potlačit a schovat do fasády. Typickým příkladem nosné konstrukce ocelového skeletu „schovaného do

staromódního svrchníku“ je budova Flatiron v New Yorku, její vzhled nic nenapovídá o podstatě nosného konstrukčního systému obr. 4.



obr. 2 Terminál hromadné dopravy, Hradec Králové, 2008



obr. 3 Burza Ludwig-Erhard-Haus, Berlín, 1995



obr. 4 Flatiron Building, New York, 1902

MATERIÁLY

Tvary, které jsou vlastní konstrukčním prvkům, jsou ovlivňovány ve značné míře podstatou materiálů. Fyzikální vlastnosti materiálů určují typy vnitřních sil a namáhání, kterým mohou vzdorovat a tím pádem i určují vhodnost typů konstrukčních elementů. Proces výroby a uspořádání konstrukčních prvků rovněž předurčuje vhodnost tvarů elementů. Právě tyto aspekty – vliv materiálových vlastností na geometrii konstrukce a jejích prvků ve vztahu k základním materiálům – zdivo, dřevo, ocel a železový beton v kontextu vývoje konstrukčních prvků a systémů budou nyní předmětem našeho výkladu.

Zděné stavby – hlína, cihla a kámen stojí na počátku stavění. Charakteristickým rysem zdíva z kamene a cihel je spojování individuálních jednotek sparami do soudržné struktury, obvykle spojované maltou. Kámen byl natolik ceněný, že byl používán výlučně pro monumentální architekturu. Jako příklad lze uvést egyptské pyramidy nebo Stonehenge.

Kamenné klenby a oblouky umožňovaly překlenout značná rozpětí, jejich zavedení a propracování je připisováno Římanům, i když existují zmínky o kamenných klenbách, používaných Etrusky už v 5. st. př. n. l.. Pro obytná stavení bylo kamene používáno ve větší míře až ve 12. století. V tomto období nastupuje gotika, která v největší možné míře využila vlastností kamene v jeho dekorativní i strukturální podobě. Svoji podstatou přizpůsobila trojrozměrný kamenný prvek lineárnímu konstrukčnímu systému – skeletový rám kleneb a pilířů s téměř neexistujícími zdmi - kamenný rámeček pro sklo a sochy – gotické katedrály – konstrukční vrchol, kterého dosáhl kamenný materiál.

Období renesance přináší do architektury nové podněty. Renesanční Itálie dokončuje kolem roku 1445 ve Florencii katedrálu Santa Maria del Fiore ve Florencii – jedná se o dvouvrstvou zděnou kupoli, vyztuženou vnitřními žebry, která byla postavena bez bednění.

Fyzikální vlastnosti, které zdivo běžně vykazuje, jsou dobrá pevnost v tlaku (pevnost zdíva je závislá na pevnosti kamene, cihly, betonu s ohledem na pevnost malty), minimální odolnost vůči tahu a relativně velká objemová hmotnost. Právě minimální schopnost odolávat tahovým namáháním předurčuje užití zdíva k prvkům, které jsou výlučně namáhány na tlak tj. sloupky, stěny, oblouky, klenby a kupole či bání. Existují ale i výjimky jako příklad řeckých chrámů, kdy je na nosníkový vodorovný prvek použit kámen, ovšem za cenu masivnosti tohoto prvku a zmenšení rozponu nosníku hustým členěním řady sloupů a stěn, které jej vynášejí.

Od 7. století se ve středověké Francii a Anglii se používalo tvrdé dubové dřevo na stavbu tzv. pravých rámových konstrukcí. Tento typ konstrukce je tvořen rámem ve tvaru písmene A nebo skříňovým rámem krytým střechou, který otevíral vnitřní prostor na rozpon 5 – 10m. Typický hrázdný dům je tvořený rámem ze dřeva s rákosovou výplní či cihelným zdivem.

Konstrukční systémy dřevěných skeletů rozšiřuje Amerika o tzv. lehký skelet Balloon Frame System v podobě lehké rámové konstrukce s hřebíkovými spoji a se sloupky průběžnými přes dvě podlaží a Platform Frame System, který má sloup na jedno podlaží, ten je s úpravami používaný dodnes.

Z dnešního pohledu je dřevo materiálem perspektivním, protože je obnovitelným zdrojem a díky svému organickému původu splňuje i požadavek ekologické náročnosti při relativně nízké ceně.

Svoji podstatou rostlého materiálu je dřevo prvkem prutového charakteru, který je délkově omezený, používaný na sloupky, nosníky nebo vazné trámy, největší význam má pro konstrukci rámového charakteru. Vykazuje dobrou pevnost v tahu, tlaku i ohybu a tím pádem je možné jeho použití u konstrukčních prvků, vykazujících tento druh namáhání, což jsou konstrukce nosníkového typu, rámové skelety, příhradoviny, oblouky, kupole a rozmanité tvary skořepin.

Za začátek používání kovu v architektuře lze považovat stavbu litinového mostu přes řeku Severn v Coalbrookdale (1779 Anglie), který byl vytvořen pěti paralelními litinovými polokruhovými oblouky o rozponu 31 m, byla to první celokovová stavba.

První pokusy použití kovu v pozemních stavbách se upínaly k průmyslovým budovám. Pro nové továrny byly typické stropy z cihelných kleneb, rozpínajících se mezi železnými nosníky, které spočívaly na sloupech ve tvaru kříže. Na zastřešení budov s obdélníkovým půdorysem se

začaly používat ocelové příhradové rámy a oblouky. Jednou z největších staveb byla Galerie strojů na pařížské výstavě 1889 s rozponem 115m v podobě trojkloubových příhradových rámu.

Po počátečním uplatnění kovu v mostním stavitelství a průmyslových textilních stavbách nastupuje zhruba od poloviny 19. století kov v kombinaci se sklem do městské architektury. Stává se jejím novým prvkem, poskytujícím nové možnosti ve formě tzv. městských deštníků. Kov v kombinaci se sklem přináší, díky svým fyzikálně-mechanickým vlastnostem, možnost vytvoření velkých shromažďovacích prostorů, tedy konstrukcí na velká rozpětí, tzv. deštníků, bez použití vnitřních podpor, navozující atmosféru zprůhlednění vnitřních interiérů, díky subtilním stojkám ve srovnání s tradičními materiály a možnost přímého denního osvětlení interiéru, díky celoplošnému prosklení. Městská kultura 19. století je tak obohacena o zcela nové typy staveb – kov byl totiž stimulem pro vznik zcela nových prostředků estetického výrazu v architektuře: arkády, burzy, výstavní pavilony, skleníky, tržnice, obchodní domy, promenády, knihovny a obrovská prosklená nádraží. V polovině 20. století vznikají další konstrukční systémy z kovu – konstrukce z napnutých ohebných prvků. V roce 1952 byla postavena Raleigh aréna v USA zastřešená lanovou sítí.

Ocel je jedním z mála materiálů, kterému jeho pevnostní a technologické charakteristiky umožňují vnášet do konstrukcí formu, která maximálně odpovídá charakteru jejich působení. Základní vlastností oceli, která určuje charakter architektonické formy je jednorozměrnost až dvojrozměrnost konstrukčních prvků. Ocel díky vysoké pevnosti používá „štíhlých“ prvků, potlačuje hmotu a navozuje atmosféru transparentnosti – zprůhlednění vnitřního prostoru.

Beton má podobné vlastnosti jako kámen – malou tahovou únosnost a v prostém provedení není použitelný na vodorovné prvky. Proto možnost vyztužení betonu ocelovou výztuží, která přenese tahová namáhání, je objevem 19. století. Možnost vyztužení ocelovými pruty je dána shodnou tepelnou roztažností betonu i ocele.

Beton nalézá uplatnění převážně u rámových konstrukcí, díky své monolitičnosti. Plošné konstrukce deskového a skořepinového charakteru rozpracovává Švýcar R. Maillart. Jeho mostní stavby jsou považovány za potenciální vliv betonu v architektuře – jeho konstrukce jsou úsporné a elegantní. Maillart byl rovněž průkopníkem hřibového stropu. Konstrukce z tenkých betonových skořepin přináší volnost vnitřního prostoru použitím dvojího zakřivení, které těmto konstrukcím propůjčuje vyšší únosnost – pevnost zprostředkovaná formou. Zásadními schopnostmi betonu je možnost vyztužování ocelovými pruty s cílem dosáhnout dostatečné únosnosti v tahu, neomezené tvarování v rovině (deskové konstrukce) i v prostoru s dvojím zakřivením – skořepiny, které přináší rozmanitě zakřivené tvary tenkých skořepin při velkých rozponech a nakonec možnost procesem odlévání betonu do bednění vytvářet tuhé rámové spoje.

KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY

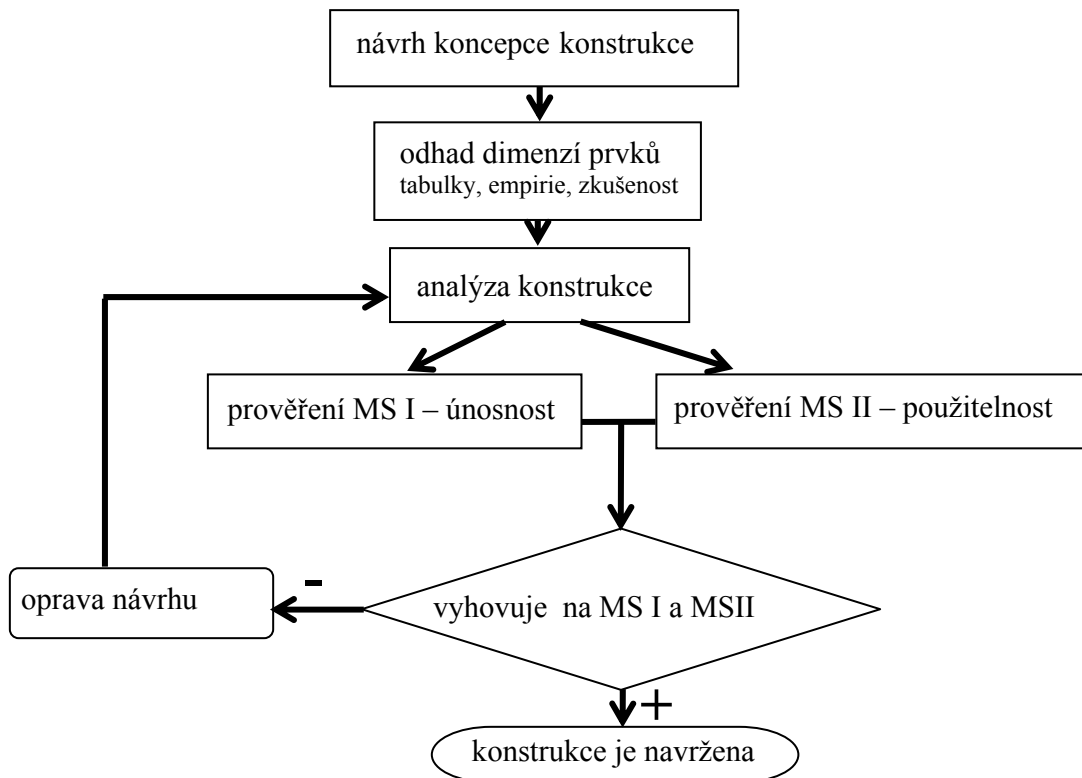
Stavební konstrukce pokud zkoumáme z pohledu schopnosti bezpečného přenosu zatížení, která má konstrukce přenést, musí konstrukce splnit následující kritéria – musí být schopna zabezpečit rovnovážný stav, musí být stabilní, musí mít dostatečnou pevnost a odpovídající tuhost.

Bezpečně navrhnout konstrukci, znamená podrobit konstrukci detailnímu zkoumání ve smyslu zjištění účinku zatížení. Účinky vnějších sil budeme idealizovat jako síly, vyvolávající vznik vnitřních sil v konstrukci. Síly, působící na konstrukci většinou nejsou osamocené, ale vytváří

určitá seskupení, útvary – silové soustavy, kterými lze idealizovat zatížení či vzájemné účinky jednotlivých konstrukčních prvků.

Jeden ze základních požadavků kladených na stavební konstrukce je ten, aby konstrukční systém jako celek i její jednotlivé části setrval v klidu tzn., že síly působící na konstrukci nemohou být příčinou pohybu – v žádném případě u konstrukce jako celku nesmí dojít k posunu ani pootáčení.

Účinku zatížení vzdoruje hmota (materiál, ze kterého je konstrukce navržena), a ta musí být navržena tak, aby jí bylo v každém místě konstrukce dostatečné množství – velikost průřezu a aby byla tato hmota rozložena ekonomicky – tvar průřezu. Z toho plyne, že smyslem či cílem bude zjistit, kolik hmoty materiálu, jak rozložené a jakého druhu vložit do každého místa konstrukce, aby nedošlo k překročení vnitřních sil, které v konstrukci vznikají od daného zatížení – účinku zatížení vzdoruje hmota. Pokud by k tomuto překročení došlo, konstrukce by mohla vykazovat nadměrné deformace nebo by dokonce mohlo dojít k jejímu zřícení. Abychom mohli konstrukci bezpečně navrhnout, musíme uvažovat další vstupní údaje – vlastnost materiálu, tvar průřezu a opustit představu dokonale tuhé konstrukce – konstrukce se ve skutečnosti přetváří, deformuje, a proto zavedeme pojem poddajného tělesa.



obr. 5 postup návrhu stavební konstrukce – dimenzování

Každý stavební materiál má po zatížení svoji mezní hodnotu pevnosti, po jejímž překročení může dojít ke zničení konstrukce (zlomení, rozdrčení, prasknutí), nebo se konstrukce zdeformuje tak, že ji nebude možné použít – konstrukce nebude schopna plnit svoji funkci. Většina materiálů má takovou schopnost či vlastnost – pružnost, kterou lze chápat jako obnovu původního stavu po dočasném působení zatížení – tedy konstrukce je zatížena, zdeformuje se a pak se po odtížení vrací do původního stavu – chová se tedy pružně (poddajně).

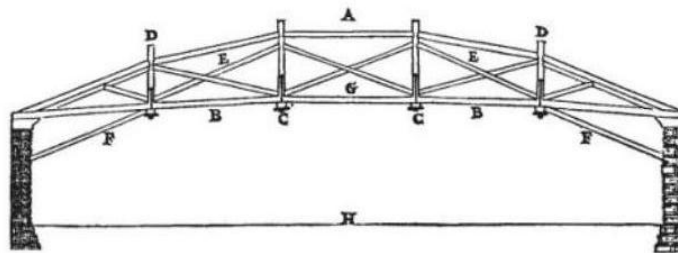
Výpočet vnitřních sil, napětí a deformací nosné stavební konstrukce není cílem, ale prostředkem k posouzení jejího správného návrhu. Kritéria a postupy posouzení bezpečnosti a funkčnosti nosných prvků se neustále vyvíjejí a mění. V současnosti je platná metodika tzv. mezních stavů zakotvená v evropských normativních předpisech Eurokódech. Nosná konstrukce musí být navržena tak, aby byla spolehlivá, tj. schopná po celou dobu své předpokládané životnosti sloužit požadovanému účelu s přijatelně malou pravděpodobností poruchy. Spolehlivá přestává být, pokud překročí některý z mezních stavů – mezní stav únosnosti – I. MS, mezní stav použitelnosti – II. MS.

Představu o postupu návrhu stavební konstrukce je možné znázornit na uvedeném vývojovém diagramu, který uvádí jednotlivé etapy dimenzování konstrukce. Z uvedeného je zřejmé, že tento postup má iterativní charakter a jeho princip je možné přirovnat k postupu metody pokus – omyl – oprava. Cílem dimenzování je hledání optimálního řešení.

PŘÍHRADOVINY



obr. 6 příhradová nosná konstrukce Sochy Svobody



obr. 7 návrh mostu podle Andrea Palladia

Příhradové konstrukce jsou zvláštním typem konstrukcí označovaných jako složené prutové konstrukce. Příhradoviny jsou schopny přenášet velká zatížení na velká rozpětí s relativně malou vlastní hmotností a deformací. Příhradová konstrukce totiž odlehčuje vlastní hmotu materiálu. Lze je navrhovat nejen jako nosníky, ale i jako vertikální konstrukce sloupů, stožárů či rozmanitá prostorová uspořádání – příhradové oblouky, desky, rošty, kde poskytují vysoce efektivní prostorově tuhé konstrukce. Světově proslulá je Eiffelova věž a Socha Svobody s nosnou příhradovou konstrukcí.

Nejjednodušší příhradovinu je možno sestavit ze tří prutů, tvořících trojúhelník – předpokládá se, že tyto pruty jsou spojeny kloubově. Při zatížení jsou šikmé pruty tlačeny (znaménko mínus), prut vodorovný je tažen (znaménko plus). Příhradovinu s větším počtem prutů lze pak vytvořit přidáním dalších prutů tak, že dodržujeme základní geometrický útvar, a to trojúhelník A proč trojúhelník? Trojúhelník je útvarem geometricky stabilním, tzn., že jeho tvar se bez změny délky prutů nemění.

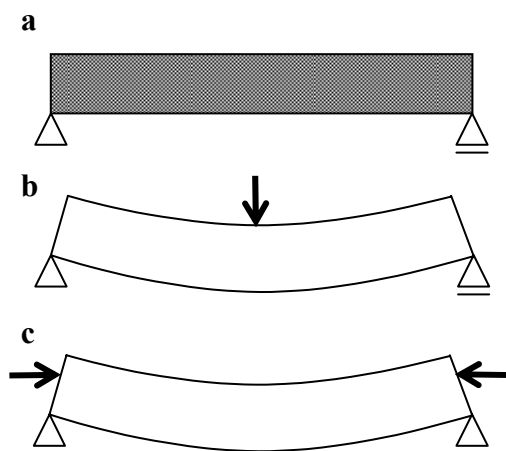
Příhradovina složená z prutů tvořících trojúhelníky je soustavou tvarově určitou, což je základní požadavek kladený na stavební konstrukce. Pokud budou všechna zatížení působit v uzlech, znamená to, že pruty budou osově tažené nebo tlačené. Tyto síly musíme znát, abychom mohli určit rozměr průřezů prutů. Při řešení vycházíme z následujících předpokladů: pruty jsou přímé, základní útvar je trojúhelník, pruty jsou spojeny kloubově, zatížení a reakce působí ve styčnicích, konstrukce je rovinná. Splněním uvedených předpokladů dochází k tomu, že pruty nejsou namáhané na ohyb.

Úvahu o namáhání příhradovin je možné objasnit ještě následujícím způsobem. Budeme uvažovat příhradovinu podepřenou jako nosník, z něhož kdybychom vyjmuli prut dolního pásu, vlivem zatížení se uzly od sebe oddálí, což znamená, že prut je tažen, a tedy i ostatní pruty dolního pásu jsou namáhány na tah. Analogicky u prutu horního pásu dojde k přiblížení uzlů, z čehož plyne, že pruty horního pásu jsou tlačené.

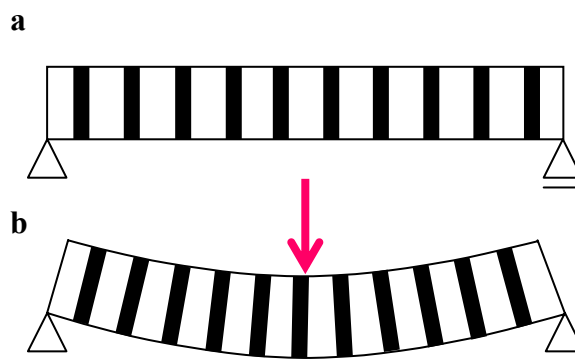
NOSNÍKY

Nosníky jsou nejrozšířenějším druhem konstrukcí v podobě prostých nosníků, konzol, nosníků s převislými konci či spojitých nosníků. Jsou používány pro případy přenosu převážně vertikálního zatížení. Pro jejich správný návrh je nutné prozkoumat jejich chování, což se odvíjí od účinků zatížení, které vyvolávají v nosnicích vnitřní síly. Pro správný návrh musíme znát, jakého typu jsou tyto síly a jak jsou velké. Abychom mohli navrhnout rozměr, tvar průřezu konstrukce a zajistit, aby hmoty materiálu bylo v každém řezu konstrukce dostatečné množství, musíme znát jaké vnitřní síly a jak veliké v konstrukci vznikají a na ně pak konstrukci navrhnout – nadimenzovat.

Budeme uvažovat nosník obr.8 prostě podepřený a zatížený svislou osamělou silou kolmou k ose nosníku obr.8b, která způsobí ohyb – nosník se prohne. Prohnutí a vyvození ohybu způsobí, ale i síly podélné, které nepůsobí v ose prutu, ale jsou odsunuty od osy prutu obr.8c.



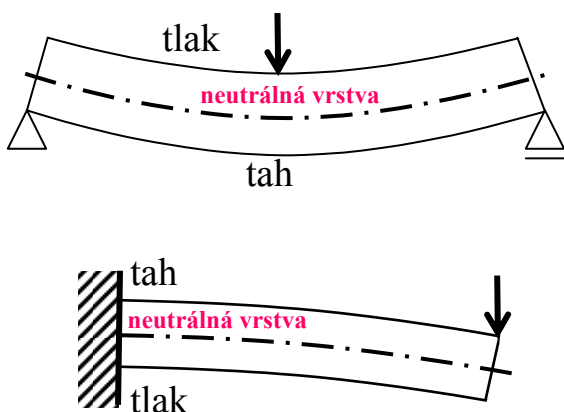
obr. 8 ohyb nosníku



obr. 9 rovinnost průřezů před a po deformaci

Z uvedeného plyne, že k ohybu nosníku může dojít:

- zatížením působícím kolmo k ose nosníku nebo
- excentrickým osovým zatížením.

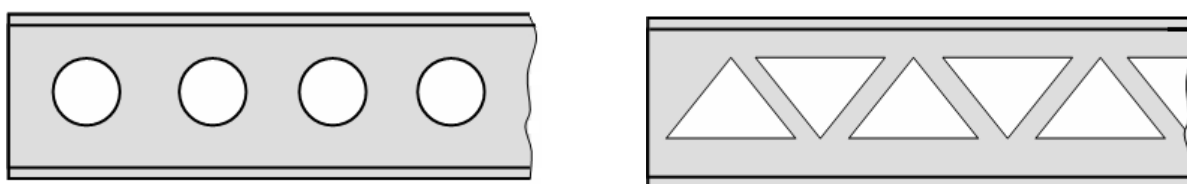


obr. 10 neutrálná osa

nosníku a konzole dochází k opačnému prohnutí – u nosníku jsou tažena spodní vlákna a u konzoly jsou tažena horní vlákna. V obou případech jsou tyto zóny oddělené vrstvou, která není ani tlačena, ani tažena a je označována jako vrstva neutrálná. Průsečnice neutrálné vrstvy s rovinou nosníku je pak neutrálnou osou s nulovou hodnotou napětí. Neutrálná vrstva rozděluje nosník na část, která je namáhána tahovým napětím a na část namáhanou tlakovým napětím. Znalost velikostí a průběhů těchto napětí je pro nás klíčovou informací, nezbytnou pro dimenzování.

Na nosníku dle obr. 9 vykreslíme přímky jako proužky a nosník zatížíme, nosník se prohne obr. 8b. Zajímavá je skutečnost, že proužky se nezdeformují, zachovávají si přímost, a to znamená, že při ohybu se deformuje osa nosníku, zatímco příčné průřezy zůstávají rovinné, nedeformují se, pouze se natočí. Tuto skutečnost popisuje Navierova (Bernoulli) hypotéza (průřezy zůstávají rovinné před deformací i po ní) a tuto hypotézu lze i poměrně jednoduše experimentálně ověřit.

Vlivem namáhání na ohyb se osa prutu deformuje, část nosníku je tažena a část je tlačena (obr. 10) – případ deformovaného nosníku prostého a konzolového. Na obr. 10 vidíme, že na



obr. 11 nosník tvaru I vylehčený kruhovými tvory a trojúhelníky

Zatížení působící na nosník vyvozuje účinek ohybového momentu a posouvající síly, tedy dvou složek vnitřních sil – dochází k tzv. příčnému ohybu a vlivem těchto vnitřních sil vznikají v nosnících napětí normálová a smyková a deformace.

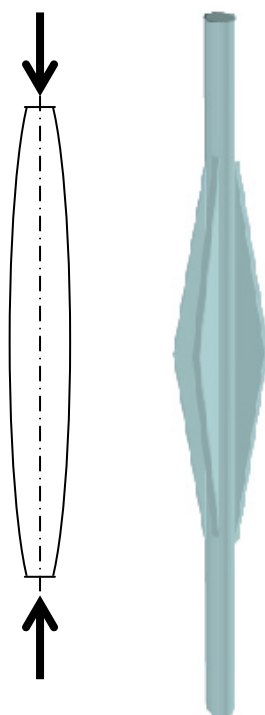
Průběh normálového napětí na nosníku je lineární, s maximální hodnotou v krajních vláknech. Z této skutečnosti je možné odvodit optimální tvar průřezu. Na neutrálné ose a v jejím blízkém okolí, kde je napětí nulové, je velké množství materiálu nevyužité, a proto je možné toto místo vylehčit otvory obr. 11. Zvětšováním otvorů se nosník postupně mění na příhradový. Pokud příhradový nosník považujeme za nosník s otvory, horní i dolní pás působí jako horní a dolní pásnice I průřezu. Jaký je tedy efektivní tvar průřezu prvku namáhaného na ohyb? Průřez tvaru I

má umístěno nejvíce hmoty materiálu v krajních vláknech, kde jsou i maxima napětí. Pokud potřebujeme zvětšit únosnost nosníku tak, aby byl schopen nést větší zatížení, jedna z možností je zvětšit výšku nosníku, čímž posuneme extrémy napětí dále od neutrálné osy. Vhodné tvary průřezů pro nosníky jsou obdélníky postavené na výšku, např. ze dřeva (tzv. hraněné průřezy nebo lepené profily), T průřezy, I průřezy z oceli a široký sortiment průřezů betonových atd.

SLOUPY

Vertikální prvky mají prvořadou úlohu přenést zatížení, vynést konstrukci střechy či stropní konstrukci – mají úkol statický, plní nosnou úlohu zajišťující bezpečnost. Dále pak vymezují a ohraničují daný prostor – architektonický prostor. Sloupy procházejí vnitřním prostorem a jsou nedílnou součástí interiéru. Umístění sloupů v půdoryse, jejich osové vzdálenosti, tvar, materiál a nosné schopnosti jsou důležitou etapou v návrhovém procesu, který musí být zvažován už v počátečním stadiu návrhu.

Jednoduché konstrukce staveb chránící před nepřízní počasí byly od pradávna stavěny jako jednoduché stavby nosných vertikálních prvků – sloupů či stěn vynášejících horizontální konstrukci střechy. Svým konstrukčním systémem byly tvořeny jako nejjednodušší rámová konstrukce sloupu a příčle (překlady). Tento původní konstrukční systém byl omezený materiálovými možnostmi – kámen, dřevo.



Z hlediska zatížení je překlád nosník vynášený sloupy nebo stěnami, namáhaný na ohyb a přenášející zatížení od konstrukce střechy a klimatických zatížení (sníh, vítr). Sloupy pak musí přenášet zatížení od reakcí nosníků, jsou tedy namáhány tlakem a navíc musí vzdorovat účinkům vodorovného zatížení např. tlaku větru, to znamená, že mohou být namáhány i na ohyb. Nezbytností pro přenos zatížení z nosníku na sloup je spojení vertikálního prvku s horizontálním. Zatížení ze sloupů se přenáší do základové půdy přes základovou konstrukci – základovou patku, základový pás apod.

obr. 12 účinné tvary sloupů, Dopravní terminál, Hradec Králové, 2008, proměnný tvar sloupu po délce ve tvaru trojúhelníkového příčného průřezu

Jak základové konstrukce, tak vertikální prvky jsou namáhány převládajícím účinkem tlakovým, nicméně obýbány mohou být rovněž a pak hovoříme o kombinovaném namáhání na tlak a na ohyb. To jak jsou pruty namáhány a jak se i deformují se odvíjí od toho jakým způsobem je sloup uložen a jak je proveden spoj sloupu s nosníkem. Obecně je možné namáhání sloupů v podobě tzv. vzpěrného tlaku nebo mimostředního tlaku

Sloupy mohou být porušeny buď tzv. ztrátou stability – namáháním na vzpěr nebo překročením meze pevnosti. Sloup krátký a tlustý je porušen drcením materiálu je to proto, že jeho průřezová plocha ku délce je velká a sloup není náchylný na vybočení. Příklad dlouhého tenkého prutu bude vykazovat vybočení, jako nestabilní stav způsobený štíhlostí prutu při osovém tlaku.

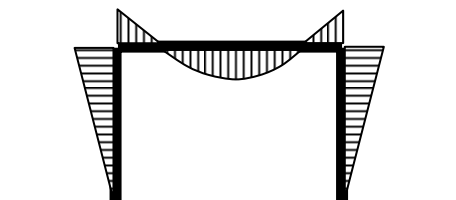
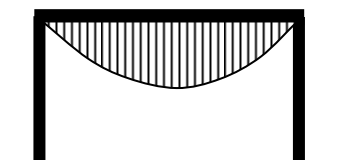
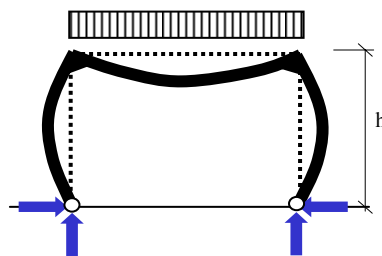
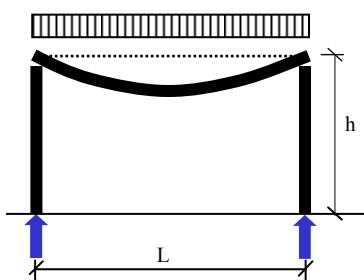
Kloubově uložené sloupy v obou koncích vykazují největší vybočení ve středové části a proto by zde mělo být nejvíce hmoty materiálu, efektivní tvar sloupu je pak znázorněn na obr.12. Maximální vybočení nosníku ve středové části kopíruje výsledný tvar – dvojnásobná hmota ve středové části, která ubývá směrem k podporám. Pro sloupy kruhového konstantního profilu, kde není možné provést rozšíření je možné zvýšit odolnost sloupu navařenými odstávajícími výztuhami, které budou zvyšovat odolnost prutu nebo systémem tenkých lan kopírujících účinný tvar.

RÁMY

Jednoduché propojení sloupu s trámem bude staticky působit jako nosník, který přenáší zatížení. Reakce nosníku bude přenášet sloup. Nosník je pak namáhán na ohyb a sloup na tlak. Působení celého systému, trám – sloup se podstatně změní, pokud místo, kde se protíná osa sloupu s nosníkem, spojíme tzv. tuze, neohebně, pak toto spojení bude schopno přenášet ohybové momenty. Podstatná je ta skutečnost, že pruty se deformují, zatímco styčníky rámu nikoli, pouze se mohou posunout nebo pootočit. Vzniká typ konstrukce – jednoduchý rám, který působí monoliticky a je schopen přenášet zatížení jak svislé tak i vodorovné. Podstatu tuhého spojení rámové konstrukce je možné vysvětlit na prostém nosníku, který zatížíme osamělým břemenem. Prostý nosník se deformuje tak, že se prohýbá směrem dolů. Pokud prodloužíme vyložení a konce zatížíme osamělými břemeny, nastane to, že vyložení vnitřnímu poli odlehčí – celá konstrukce bude tvořit jeden spolupůsobící celek. V místech podpor ohneme převislé konce do svislé polohy a vznikne rám. Jeho deformovaná osa se ztotožňuje s původním nosníkem s převislým koncem. Konstrukci musí být bráněno v podpoře ve vodorovném posunu a to podepřením, které bude konstrukci odebírat stupeň volnosti (možnost pohybu) ve vodorovném směru. V místě uložení vzniká vodorovná reakce. Kdyby nebylo v podpoře bráněno vodorovnému pohybu vlivem zatížení, rám by se v patě rozešel. Co je zajímavé a co jsme dosud u předcházejících konstrukčních typů postrádali je skutečnost, že u rámu i při svislém zatížení vzniká vodorovná reakce.

Efekt tuhého spojení příčle a rámu způsobuje, že – sloupy jsou namáhány na tlak vyvolaný zatížením od stropních konstrukcí a střechy a i na ohyb, – v důsledku spojitosti konstrukce, horizontální síla, v místě podepření zajišťuje rovnováhu rámu a způsobí to, že i rámová příčel je tlačena – podepření rámové konstrukce je takové, že rám je tužší a tedy schopný unést větší ohybové namáhání.

Skutečnost, že rámy vzdorují účinku zatížení mnohem efektivněji než systém sloup-trám, který je případem staticky určitým je patrné právě při působení vodorovných zatížení. Sloup zatížený horizontálním zatížením působí při přenosu zatížení jako konzola a příčel vůbec nespůsobí,



u jednoduchých staticky určitých případů. Velikosti ohybových momentů klesají na polovinu
obr. 13 vliv spojitosti rámu na průběh momentu s následným efektem tvarování prutu

veškeré vodorovné
 zatížení přeneše
 samotný sloup,
 působící jako
 vertikální konzola.
 Naproti tomu u

rámu díky
 spojitému spojení část
 zatížení přenáší
 i druhý sloup a navíc
 se bude deformovat
 i příčel. Je zřejmé, že
 čím vícenásobně je
 konstrukce staticky
 neurčitá, tím je větší
 spolupůsobení všech
 prutů a i rozložení
 namáhání na
 jednotlivé prvky
 rovnoměrnější, než
 a pak na třetinovou
 hodnotu v porovnání
 s SU.

Vodorovný posun rámu je i v případě vodorovného zatížení. K vodorovnému posunu dojde, ale i když je rám zatížený svisle a to nesymetricky. Pokud je rám vetknutý je omezován podepřením a vodorovný posun je výrazně menší.

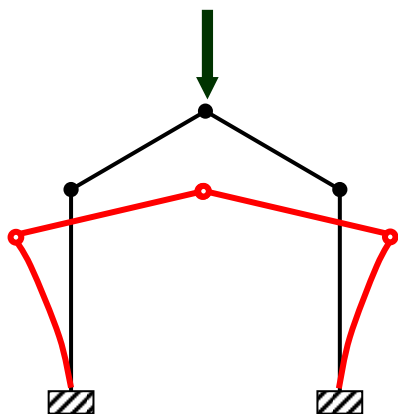
Rámové konstrukce působí jako jeden celek, se schopností přenosu normálové síly, posouvající síly a momentu. Je to proto, že rámy mohou být zatíženy jak ve styčnicích tak i mimo ně. Řešení rámových konstrukcí, které jsou většinou staticky neurčité směřuje k složitějším metodám řešení a těmi je metoda silová a deformační, kde sice pro konstrukci platí podmínky rovnováhy, ale pro řešení jsou nepostačující.

OBLOUKY

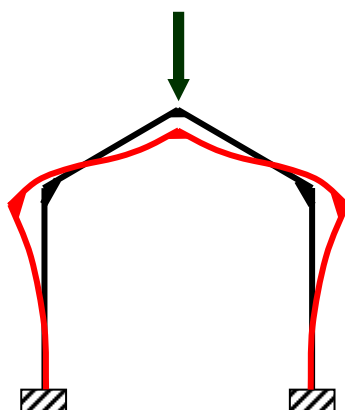
Oblouk je konstruktivní útvar o dvou podporách. Ze statického hlediska je oblouk zakřivený prut, podepřený tak, že je mu bráněno posunu ve směru spojnice koncových průřezů. Charakteristickou vlastností oblouku je ta skutečnost, že obě reakce při působení svislého zatížení mají vodorovnou složku.

Zkusme prozkoumat chování jednoduché rámové konstrukce na obr. 14a, jedná se o štítový rám zatížený vertikálním břemenem. Pokud budou pruty propojeny kloubově sloupy, budou namáhány na ohyb vyvozený od svislého břemene a navíc ještě tlačeny. Šikmé pruty se budou chovat jako tlačené pruty příhradové konstrukce. Když celou konstrukci zmonolitníme a zatížíme dle obr.14b,

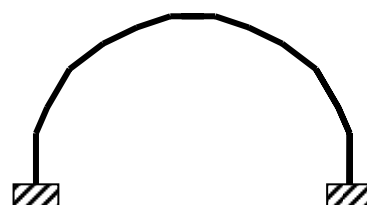
zajistíme tím konstrukci spojitost. Zmonolitněním konstrukce dochází k tomu, že celý rám přenáší zatížení kombinací tlaku a ohybu.



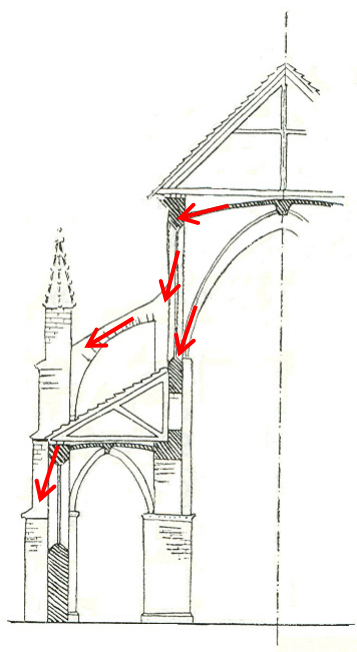
obr. 14a štitový rám s klouby



obr. 14b štitový rám s tuhými styčníky



obr. 14c polygonální rám - oblouk



obr. 15 řez gotickou katedrálou

Čím je vzepětí rámu větší, tím větší jsou tlaky a menší ohyb. Naši úvahu o podstatě chování rámu lze dále rozvinout takto: zkrátíme sloupy a vícenásobně zalomíme příčle, zvýšíme tak tlak a snížíme ohyb. V limitním případě, když se rám skládá z nekonečného počtu přímých úseků se stává obloukem obr.14c.

Oblouk představuje jednu z nejznámějších konstrukčních forem a jeho původ je doložen starověkými kulturami v oblasti Eufratu a Tigridu. Římané propracovávali a hojně používali oblouky v mostním stavitelství, geometricky se zaměřovali převážně na polokruhový oblouk.

Z historie je proslulý oblouk lomený tzv. gotický oblouk obr. 14. Gotika s převýšenými oblouky a opěrným klenebným systémem, který výlučně vzdoroval tlakovým namáháním, slavila vrcholných úspěchů architektury. Obrovské úchvatné konstrukce úctyhodných rozměrů, vybudované pouze z kamene – materiálu, který vzdoruje převážně tlakovému namáhání, byly schopné přenášet zatížení systémem opěrných oblouků do základů. Převýšené zalomené oblouky totiž snižují horizontální síly a odlehčují opěrnému systému ve tvaru polooblouků.

Gotická katedrála staticky pak působí jako sdružená rámová konstrukce s lomenou příčlí, namáhaná převládající tlakovou silou. Lomený oblouk umožňoval překlenout rozpony u gotických katedrál okolo 15m. Důležitou roli v návrhu představuje uplatnění se žebra – zesílená hrana klenby, která se objevuje v místě styku dvou různých ploch klenby. Celé schéma gotické katedrály je 3D quaziskeletovou zakřivenou konstrukcí. V italské renesanci je pak nahrazován celý mohutný systém opěrných polokleneb, stavěný k přenosu obrovských vodorovných sil jednoduchým ocelovým táhlem v patě oblouku.

Z historie architektury známe i oblouky tzv. arabské – formy oblouků typické pro islámskou architekturu s typickým cibulově – baňatým tvarováním, jejichž formy lze nalézt v palácové architektuře Benátek a ve Španělsku.

Tvary oblouků jsou formovány v podobě elipsy, kruhových segmentů či jejich částí různě spojovaných. V novodobém pojetí převládá oblouk parabolický.

Zakřivená osa – střednice oblouku je typickým znakem charakteristickým pro obloukové konstrukce. Je vyjádřením základní vlastnosti oblouků a tím je tlakové namáhání. Jak jsme už vysvětlili je právě pro tuto vlastnost předurčen oblouk materiálově pro kámen a zdivo jako jejich nejrozšířenější konstrukční forma.

Pro správné pochopení dané problematiky budeme uvažovat nejprve lano (např. ocelové, nebo si můžeme představit libovolný provázek, který není tuhý), které přenáší zatížení tahovým namáháním. Představme si, že lano je uprostřed zatížené a v místech podepření je držíme - ruční úchop. Pokud budeme lano na koncích táhnout, bude v laně vznikat pnutí. Čím větší bude zatížení, tím silněji budou ruce k sobě taženy. Nyní tuto uvažovanou konstrukci otočíme okolo vodorovné osy, aby si zachovala svůj tvar, pak už musí mít jistou tuhost. Otočením se změní způsob namáhání, konstrukce není tažena, ale tlačena a vodorovná síla vznikající v patě má charakter „rozejití“, působí jako rozpínací síla.

Oblouk ve tvaru řetězovky přenáší vlastní tíhu, pokud přidáme navíc zatížení rovnoměrné, zaujme tvar parabolického oblouku. Ve většině případů vlastní tíha tvoří zanedbatelnou složku zatížení a převládá zatížení rovnoměrné, kterému odpovídá tvar paraboly a ten nás bude zajímat. Pro rovnoměrné zatížení je parabolická forma oblouku mezním případem, kdy v oblouku vzniká pouze tlak, nedochází k ohybu.

LANA

Lano je konstrukční prvek, který plně využívá nosných tahových vlastností, tedy toho způsobu namáhání, které je tím nejvýhodnějším - maximálně využívá plochy příčného průřezu. Schopnost lana měnit tvar pod různým typem či druhem zatížení vyústila k nezbytným opatřením, zajišťujícím stabilitu a formu příslušné stavby.

Cesta rozvoje lanových konstrukcí byla dlouhá a spletitá. Začala před mnoha tisíci lety od vertikálního lanového provazu, přes visuté lávky spletené z lián, překlenující vodoteč či hlubokou propast, přes složitější stanové přístřešky, které chránily před vlivem povětrnosti a současně sloužily jako nosná konstrukce střechy, přes řetězové mosty až po současné smělé mostní stavby a velkorozponová lanová pokrytí. Jejich plnohodnotné uplatnění nastupuje v době, kdy konstrukce namáhané na tlak a ohyb slaví svůj vrchol. Důvody jsou prosté – nízká úroveň rozvoje stavebních materiálů, poskytujících nezbytnou pevnost na tah, a tak se po tisíciletí nosné konstrukce namáhané na tah prakticky nezdokonalovaly. Vyjimku snad tvoří stanová pokrytí římského Kolosea a divadla v Pompejích, zastřešená důmyslným systémem plátěných střech – velarium.

Obrat ve vývoji událostí je vázán k roku 1834, kdy je datován vynález drátěného lana, charakterizované vysokým výpočtovým tahovým namáháním, malou hmotností, vysokou ohebností. Počáteční uplatnění je vázáno k mostnímu stavitelství a jeho konjunktura v pozemním stavitelství nastupuje až cca o 100 let později. Účelnost a efektivnost lanových konstrukcí potvrdila stavba Raleigh Arena (1952), která způsobila boom v konstrukčních systémech.

Najednou měli v rukou architekti nástroj prostřednictvím kterého mohli realizovat formy o nichž snili a které se dosud rodily pouze na papíře v podobě antiklastických ploch – sedlové tvary s dvojitou křivostí (hyperbolické paraboloidy).

Raleigh Arena je právem považována za první lanovou stavbu dokazující tušené možnosti tažených konstrukcí. Tuto střechu sedlového tvaru navrhl Matthew Nowicki a Fred Severud v North Carolina v roce 1952. Je tvořena dvěma železobetonovými protisměrnými oblouky, do nichž je kotvena lanová síť ve tvaru hyperbolického paraboloidu. Stavba se potýkala s několika problémy: lehký střešní plášť i samotná nosná konstrukce střechy způsobovaly kmitání (flutter), což bylo eliminováno tlumícími prvky. Samotné kotvící oblouky bylo nutné vynášet dodatečně vloženými obvodovými sloupy. I přes tyto problémy je považována za nesmírně inovační.

S rozvojem nových systémů je spjat další z řad architektů Eero Saarinen tvůrce jednoduše zakřivené lanové střechy se závěsy v různých úrovních – Dulles airport, Washington DC, 1958. Stabilizace je provedena těžkým střešním pláštěm – betonovými prvky v nichž jsou lana skryta. V Evropě k značnému rozkvětu v oblasti tažených konstrukcí přispěl Frei Otto, který se zasloužil o vytvoření originálních stanových konstrukcí, které přicházely na svět ve výrobnách v Berlíně. Rozpracoval myšlenky stanových pokrytí originálními realizacemi Pávilon Expo 68 v Montrealu, tvořený lanovou sítí vynášenou sloupy. Spolupodílel se na návrhu Olympijského stadionu v Mnichově obr.16. Lanové konstrukce lze považovat za ojedinělý konstrukční systém vhodný k překlenutí extrémních rozponů řádově v kilometrech.

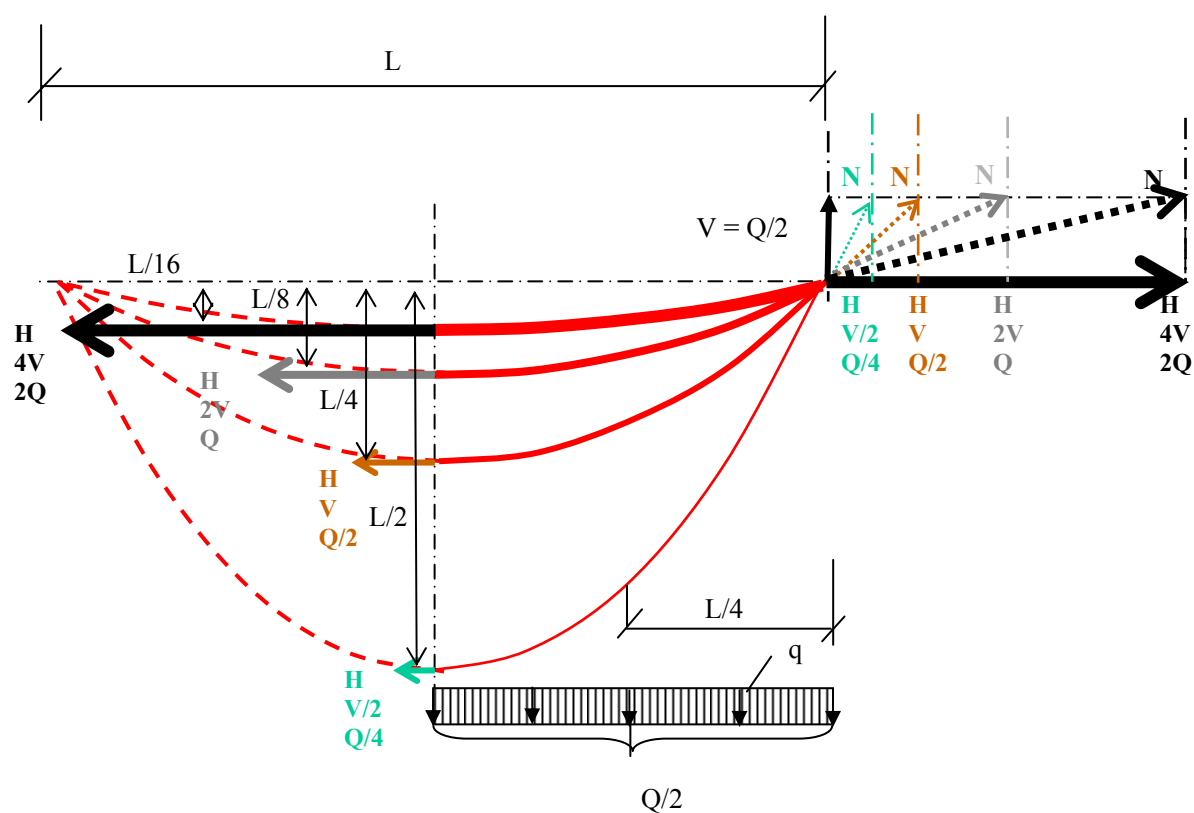


obr. 16 Olympijský stadion, Mnichov.

Pro pochopení chování lana - jeho schopnost nést zatížení, budeme uvažovat lano zavěšené mezi dvěma body a ve středu zatížené břemenem. Vlivem zatížení se původní tvar lana změní na dva trojúhelníky symetrického tvaru, zatížení je neseno závěsy tahovým působením. Každý závěs přenáší polovinu daného zatížení do každého ze závěsů.

Tvar trojúhelníka, který lano zaujme vlivem zatížení je označován jako průvės, který představuje vertikální vzdálenost mezi bodem závěsu a nejnižším bodem lana. Pokud by nedošlo ke vzniku průvěsu, nemohlo by dojít k přenosu zatížení. Vysvětlení je prosté, pokud by nedošlo k průvěsu, lano by bylo vodorovné a žádná vodorovná síla nemůže být v rovnováze s vertikální silou – zatížením F . V místech zavěšení je možné sílu v laně rozložit do dvou složek - vertikální a vodorovné síly tahové, tyto musí být přeneseny dostatečným ukotvením – musí jim být bráněno v pohybu.

Zkusme nyní měnit průvės lana při zachování stejného zatížení. Zmenšením průvěsu roste síla v šikmých laněch a i horizontální tah v místech ukotvení. Tahové namáhání v laně je nepřímo úměrné velikosti průvěsu.



obr. 17 naznačení stanovení velikosti síly v laně, vliv průvěsu na velikost horizontální síly a normálové síly

ZÁVĚR

Teorie konstrukcí představovaná jako statika, stavební mechanika, pružnost a pevnost - vědní disciplíny na první pohled evokující exaktní představy spojené s numerickým výpočtem, který vychází z matematicko – fyzikálního předpisu. Vyvolávají obavy, ostych a strach z nepochopení a možná právem, vždyť jde pouze o výpočty, vzorce a čísla. Statika a její interpretace, ale nemusí být vždy transformována do pouhopouhých čísel. Statika jako teorie výpočtu konstrukcí, může být pojata i „odlehčenou“ formou, která vychází z elementárních zásad a pravidel intuitivního

charakteru, grafického a názorného zobrazení. Její znalost a principy působení mají trvalé místo v procesu vzdělání studentů - budoucích architektů a jsou její nedílnou součástí.

Teorie musí nalézt v intuici sílu, být schopná vzorce oživit, odlehčit jejich smysl, polidštit jejich vnímání, odhalit podstatu přepsanou do vzorce a naučit se pochopit jejich použití, význam, smysl a praktický dopad v podobě konkrétní realizace. Tento přístup pak vytěsňuje neosobní technickou odtažitost. V tomto duchu a s tímto cílem jsem se snažila zpracovat předkládanou práci. Ve smyslu naplnění jednoty podstaty tvůrčí činnosti a technicistní části stavby.

POUŽITÁ LITERATURA

- ALLEN, E. a J. IANO. *The Architect's Studio Companion*. New York: John Willey, 1995.
- ALLEN, Edward a W. ZALEWSKI. *Form and forces: designing efficient, expressive structures*. 2010. vyd. Hoboken, N.J.: John Wiley, 2010, 620 s. ISBN 978-0-470-17465-4.
- AMBROSE, J. *Design of Building Trusses*. New York: John Willey, 1994.
- BÍLEK, Vladimír. *Dřevostavby: navrhování dřevěných vícepodlažních budov*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 251 s. ISBN 80-010-3159-4.
- BILINGTON, David P. *The tower and the bridge : the new art of structural engineering*. Princeton: Princeton University Press, 1985, 306 s. Princeton Paperbacks.
- BJUTTNER, O. a E. CHAMPE. *Sooruzenie – Nesuščaja konstrukcija – Nesuščaja struktura*. Moskva: Strojizdat, 1983.
- BÜTTNER, O. a E. HAMPE. *Bauwerk Tragwerk Tragstruktur*. 1. vyd. Berlin: VEB, 1977, 476 s.
- CAIS, S. *Statika stavebních konstrukcí: Dějiny stavební mechaniky*. Praha: ČVUT, 1991.
- CRAWLEY, Stanley. *Steel Buildings: Analysis and Design*. 2. vyd. New York: J. Wiley, 1977, 519 s. ISBN 04-711-8552-3.
- CRHA, ŠMIRÁK a DOČKAL. *Pružnost a plasticita I*. Brno: VUT, 1991.
- CRHA, Miloslav. *Pružnost a pevnost*. Brno: SNTL, VUT, 1974.
- EL HAFEZ, M.B. a G.H. POWELL. *Journal of the Structural Division*. 1974, č. 9.
- EL HAFEZ, M.B. a G.H. POWELL. Preliminary Plastic Design of Tall Steel Frames. *Journal of the Structural Division*. 1974, č. 9, 1837 - 1850.
- ENGEL, Heino. *Tragsysteme Structure Systems*. 1st Ed. Stuttgart: Deutsche Verlags – Anstalt, 1967, 352 s. ISBN 37-757-0706-9.
- FREY, François. *Analyse des structures et milieux continus: statique appliquée*. 1. éd. Lausanne: Presses polytechniques romandes, 1990. ISBN 28-807-4174-2.
- GARRISON, Philip. *Basic structures for engineers and architects*. Oxford: Blackwell Publishing, 2005, 278 s. ISBN 14-051-2053-3.
- HÁJEK, Petr. *Konstrukce pozemních staveb 10: nosné konstrukce I*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997, 259 s.
- HEINLE, Erwin. *Kuppeln aller Zeiten - aller Kulturen*. 1. vyd. Stuttgart: Deutsche Verlags Anstalt, 1996, 243 s. ISBN 34-210-3062-6.
- HOFMANN, P., G. HÜNERSENG, E. FRITZSCHE a L. SCHEIDER. *Stahlbau*. Berlin: VEB, 1985. ISBN 0038-9145.

- HOLLINGSWORTH, M. *Architektura 20. století*. Bratislava: Columbus, 1993.
- HOŘEJŠÍ, Jiří a Šafka J. *Statické tabulky*. 1. vyd. Praha: SNTL/ALFA, 1987, 683 s.
- JIROUŠEK, J. a M. PTÁČEK. *Statika stavebních konstrukcí*. Praha: SNTL, 1961.
- KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí: základy stavební mechaniky, staticky určité prutové konstrukce*. 3. vyd. Brno: VUTIUM, 2010, 349 s. ISBN 978-80-214-3419-6.
- KOLÁŘ, V. a J. SOBOTA. *Stavební mechanika: Díl II.B*. Praha: SNTL/SVTL, 1984.
- KOLENDOVWICZ, T. *Stavební mechanika pro architekty*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 290 s.
- KUČERA, Václav. *Architektura mostů*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2002, 194 s. ISBN 80-010-2517-9.
- KYLIÁN, Jindřich. *Stavební mechanika a statika I*. 3. vyd. Brno: VUT, 1991, 139 s.
- KYLIÁN, Jindřich. *Stavební mechanika a statika IIa*. 3. vyd. Brno: Nakladatelství VUT, 1991, 100 s. ISBN 80-214-0303-9.
- LEDERER, Ferdinand. *Ocelové konstrukce pozemních staveb*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971, 462 s.
- LEDERER, Ferdinand. *Priestorove ocelové konštrukcie*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1981, 388 s.
- LORENZ, K., J. KALOUSEK a M. VÍTOVÁ. *Navrhování nosných konstrukcí: Pomůcka pro architekty*. Praha: ČVUT, 1993. Skriptum.
- LORENZ, Karel. *Navrhování nosných konstrukcí*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1996, 154 s.
- MACDONALD, Angus J. *Structure and architecture*. 2. vyd. Oxford: Architectural Press, 2001, 151 s. ISBN 07-506-4793-0.
- MARDER, Abram. *Kov v architektúre*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 287 s. ISBN 80-050-0127-4.
- MIGNOT, Claude. *Architecture of the 19th Century*. 1. vyd. Köln: Benedikt Taschen, 1994, 322 s. ISBN 38-228-9032-4.
- NILOV, A.A., V.A. PERMJAKOV a A.J. PRICKER. *Stalnyje konstrukcii proizvodstvenych zdanij*. Kyjev: Budivelnik, 1986.
- PARKER, H. *Simplified Engineering for Architects and Builders*. New York: John Willey, 1983.
- PETŘÍČKOVÁ, Monika. *Ocelové nosné konstrukce: předběžný návrh pro architekty*. Brno: CERM, 2001, 145 s. ISBN 80-720-4186-X.
- PIJOAN, José. *Dějiny umění: Díl 9*. Vyd. 1. V Praze: Odeon, 1991, 303 s. ISBN 80-242-0720-6.
- PLACE, Wayne. *Architectural Structures*. Hoboken NJ: John Wiley, 2007, 627 s. ISBN 978-0-471-72551-0.
- PŠENIČKA, F. *Konstrukce pozemního stavitelství – nosné konstrukce zastřešení*. Praha: ČVUT, 1983. Skriptum.
- RAEBURN, Michael et al. *Dějiny architektury*. 1. vyd. Praha: Odeon, 1993, 317 s. ISBN 80-207-0185-0.

RICE, Peter. *The engineer's contribution to contemporary architecture*. 1st ed. London: Thomas Telford, 2001, 187 s. ISBN 07-277-2770-2.

RÜHLE, Herrmann. *Priestorové strešné konštrukcie: oceľ a plastické hmoty*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1976, 216 s.

SALVADORI, M. *Why Buildings Stand Up*. New York: W.W Norton and company, 2002.

SALVADORI, Mario G. *Konštrukcia v architektúre*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1971, 219 s.

SALVADORI, Mario G a R. HELLER. *Konštrukcia v architektúre*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1971, 219 s.

SANDAKEN, B.N. a A.P. EGGEN. *Die konstruktiven Prinzipien der Architektur*. Berlin: Birkhäuser Verlag, 1994.

STRÁSKÝ, J. Félix Candela – stavitel, inženýr, umělec. In: [online]. [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <http://earch.cz/clanek/4063-felix-candela-stavitel-inzenyr-umelec.aspx>

STUDNIČKA, Jiří, J. MACHÁČEK a L. VOTLUČKA. *Ocelové konstrukce 20: pozemní stavby*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1998, 269 s. Skriptum.

ŠMIŘÁK, Svatopluk. *Pružnost a plasticita I: pro distanční studium*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1995, 210 s. ISBN 80-214-0739-5.

ŠPÁNEK, Pavel a A. NAVRÁTIL. *Vzpěra, lano a membrána v architektuře*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 2000, 114 s. ISBN 80-010-2122-X.

TEMNOV, V.I. *Konstruktivnyje sistemy v prirode i strojitelnoj technike*. Leningrad: Strojizdat, 1987.

TROFIMOV, V.I. a G.B. BEGUN. *Strukturnyje konstrukcii*. Moskva: SI, 1972.

obr. 2: <http://www.earch.cz/clanek/4196-terminal-hromadne-dopravy-v-hradci-kralove-rekonstrukce-riegerova-namesti-v-hradci-kralove.aspx?galleryID=6453#fotogalerie>

obr. 3: <http://www.archiweb.cz/buildings.php?type=16&action=show&id=53>, foto Petr Šmídek, 2006

obr. 4: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edificio_Fuller_%28Flatiron%29.jpg

obr.7:http://www.google.cz/url?q=http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Mathematical_Bridge_Cam_bridge.jpg&ust=1357826933045451&usg=AFQjCNGjvpUGYfxYYBA1PUKPziP7Hdf8jg

obr.12: foto A.Čermáková

obr.16: <http://www.archiweb.cz/buildings.php?&action=show&id=138>, foto archiv redakce

ABSTRACT

This publication acquaints readers with the basic principles governing the behaviour of building structures. It contains a presentation of the theoretical basis of their design from the point of view of statics. The aim is to help readers understand the fundamentals of the design and statics behaviour of both elementary and more complex types of structure. Conceptually, the individual chapters are arranged in a logical manner respecting the thematic content of this standard field of engineering. The content of this book is designed to emphasise the understanding of the essence and principles of the behaviour of building structures. To this end the core content is supported by a series of numerical examples and also by details regarding the execution of specific contemporary structures primarily from the architectural perspective.

The aim of the publication was to break through to the basic essence of the load-bearing structure itself in a simple way, via intuition, by opening one's eyes and grasping the fundamentals of load-bearing structures. The heart of this book is therefore a series of colour-coded pictures, diagrams and photographs that support and fulfil this aim. Statics itself, i.e. the scientific field concerned with the calculation of the characteristics of building structures, is a complex discipline requiring an adequate grounding in mathematics gained from structural engineering courses provided mostly by civil engineering faculties. This publication is trying to free itself from this "burden" and so follows a simpler path, though of course this doesn't mean that the material presented within is not complex. As far as the work of architects is concerned – the design of their own architectural creations - it is critical to understand the essence of a structure in the sense of understanding its spatial and material basis by thoroughly grasping the unambiguous connection: analysis of static behaviour – selection of span – selection of material – cross-section dimensions.

The book is structured in such a way that it gradually extends the boundaries of the presented information with an emphasis on facilitating an innovative shift in the interaction of theoretical knowledge and specific execution. The individual chapters are arranged in the necessary sequence, beginning with the acquaintance of the reader with types of load-bearing structures, materials, forms of load, the statics of force system, cross-section characteristics, truss constructions, beams, and basic information about the science of elasticity – the basis for dimensioning. These sections are then followed by chapters regarding: columns, frame structures, cables, arches and approximate span values.

Understanding the fundamentals of structures and subsequently their expression in numerical form is an amazing and adventurous path to knowledge at the end of which one is able to express what is happening within the structure as a numerical value – the force acting within it, and its magnitude - and to reliably determine the structural dimensions and corresponding kind of material for this force.

Understanding the behaviour of structures is an essential tool for the creation of an architectural vision.