

edice **stavitel**

Havárie, poruchy a rekonstrukce

Dřevěné a ocelové konstrukce

Milan Vašek



Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umísťování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.



Copyright © Grada Publishing, a.s.



Copyright © Grada Publishing, a.s.

Rád bych touto cestou ze srdce poděkoval svojí ženě Jitce za trvalou lásku a péči a za vytvoření spolehlivého zázemí, ve kterém jsem mohl tuto knížku napsat. Rovněž vřele děkuji všem přátelům a kolegům z oboru, kteří mi pomohli uskutečnit tento příspěvek k činnosti stavebních inženýrů.

Milan Vašek

Doc. Ing. Milan Vašek, CSc.

■ **Havárie, poruchy a rekonstrukce dřevěné a ocelové konstrukce**

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 234 264 401, fax: +420 234 264 400
jako svou 4257. publikaci

Odpovědná redaktorka Jitka Hrubá
Sazba Jan Šístek
Fotografie na obálce z archivu autora
Fotografie v knize z archivu autora
Počet stran 192
První vydání, Praha 2011
Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2011
Cover Design © Eva Hradiláková, 2011

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami
nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.*

ISBN 978-80-247-3526-9 (tištěná verze)
ISBN 978-80-247-7324-7 (elektronická verze ve formátu PDF)
© Grada Publishing, a.s. 2012

Obsah

Úvod	7
1 Problémy spolehlivosti ocelových a dřevěných konstrukcí	9
1.1 Objektivní nároky na konstrukce	9
1.2 Ocelové a dřevěné konstrukce a zjištění jejich vlastností v případě poruchy a havárie	12
1.3 Všeobecné zdroje a příčiny poruch a havárií	14
1.4 Metody navrhování a posuzování konstrukcí a zpracování statických výpočtů	16
2 Poruchy a havárie některých ocelových konstrukcí	19
2.1 Havárie průmyslové haly v roce 1965	19
2.2 Poruchy skladové haly v roce 1997	20
2.3 Havárie administrativní reprezentativní budovy v roce 1998	25
2.4 Náhlá havárie energetické haly v roce 2002, po padesáti letech provozu	29
2.5 Poruchy reprezentačního skleníku při výstavbě v roce 1998	35
2.6 Poruchy reprezentačního schodiště ve výzkumném ústavu při výstavbě v roce 2006	38
2.7 Vadné provádění dodatečné výtahové šachty při výstavbě v roce 2006	41
2.8 Havárie provozní ocelové haly od účinků požáru v roce 2005	43
2.9 Havárie fasády skladu účinkem větru v roce 2006	45
2.10 Skrytá koroze hlavních nosných sloupů skeletu v roce 2002 (po 30ti letech)	47
2.11 Poruchy provizoria otočného hlediště divadla fungujícího 17 let v roce 2001	49
2.12 Vážná porucha spřažených stropů budovy na hranici havárie v roce 2005	52
2.13 Havárie ocelových hal oceláren určených k demolici v roce 2006	55
2.14 Poruchy celoocelových plaveckých středisek po cca 30ti letech provozu, po roce 1990	58
2.15 Částečná havárie ocelové stropní konstrukce na litinových sloupech v roce 2000	60
2.16 Havárie ocelového stavebního věžového jeřábu v roce 2007	63
2.17 Poruchy ocelové prutové klenby skleníku roku 2001	64
2.18 Poruchy vojenského provizorního mostu stále užívaného na území nemocnice 2008	69
2.19 Poruchy příhradového mostu přes plavební kanál během cca 70ti let do roku 2002	72
2.20 Nadměrné deformace malé montážní ocelové haly v roce 2007	73
2.21 Havárie zemědělské ocelobetonové haly vystavené požáru v roce 2007	75
2.22 Vady návrhu příhradového nosníku zastřešení knihovny v roce 2009	81
2.23 Havárie prosklené pergoly (nebo snad skulptury?) v zimě 2009	84
3 Poruchy a havárie dřevěných konstrukcí	87
3.1 Poruchy dílenské haly postavené v roce 1921	87
3.2 Poruchy dřevěné haly rozpětí cca 50 m vybudované v roce 2003	90
3.3 Poruchy rodinných domů v tomto tisíciletí	94
3.4 Havárie lepené dřevěné střechy v roce 2006	97

3.5	Poruchy objektů supermarketů v roce 2006	100
3.6	Havárie haly ze sedmdesátých let minulého století po zatížení sněhem v roce 2006	103
3.7	Havárie lepené střechy nad halou bazénu roku 2000	106
3.8	Poruchy zastřešení aquaparků v letech 2003 až 2009	108
3.9	Havárie městské sportovní haly v roce 2006	113
3.10	Havárie výrobní haly při zatížení sněhem v roce 2006	116
3.11	Havárie zemědělské haly při běžném provozu v roce 2000	120
3.12	Poruchy pohledově exponovaného krovu v obytném podkroví v roce 2000 až 2010.	122
3.13	Lávka ve skleníku v roce 2008	123
3.14	Poruchy vestavěných dřevěných prvků v historickém objektu po povodních v roce 2003	125
3.15	Nadměrné průhyby dřevěné rozhledny v roce 2009	126
4	Jak nebezpečí poruch snižovat a předcházet jim	129
4.1	Zhodnocení zkušeností z předchozích kapitol o haváriích	129
4.2	Modelování konstrukcí a jejich detailů	130
4.3	Řešení složitých konstrukcí a nutnost vhodné koncepce konstrukce	131
4.4	Shrnutí.	133
5	Modernizace a přestavby ocelových a dřevěných konstrukcí	135
5.1	Životnost ocelových a dřevěných konstrukcí a jejich úpravy	135
5.2	Příprava přestavby	138
5.3	Prohlídka konstrukce, průzkum, návrh provedení přestavby	138
5.4	Způsoby přestavby a její provedení	143
6	Příklady přestaveb (rekonstrukcí) některých ocelových a dřevěných konstrukcí	161
6.1	Přestavba ocelobetonového stropu v roce 1999 v domě z roku 1895	161
6.2	Podepření železobetonového stropu z roku 1905 ocelovou příhradovou konstrukcí v roce 1990	164
6.3	Přestavba zříceného betonového stropu podepřeného ocelovou konstrukcí v roce 2000	171
6.4	Přestavba ocelového cukrovarnického mostu v roce 2005.	174
6.5	Přestavba lepených vazníků nad plaveckým bazénem v roce 2001	179
6.6	Přestavba hradu Karlštejn po roce 1997	181
6.7	Shrnutí hlavních zásad pro navrhování a provádění přestaveb ocelových a dřevěných konstrukcí	183
	Závěr.	185
	Související normy a literatura	187
	Rejstřík	189

Úvod

Tématem této knihy je smutná etapa v existenci některých staveb, tzn. jejich porucha nebo havárie. Příčiny těchto situací jsou mnohdy zabudovány do konstrukcí již v době jejich vzniku, a proto se pokusíme tyto příčiny v dalším stanovit. Dále uvedeme některé příklady poruch a havárií vyvolaných hrubými technickými chybami různé povahy, které ale v pozadí mají společné kořeny plynoucí z chyb lidského chování. V běžné inženýrské praxi se takové situace vyskytují stále a mohou tedy sloužit jako varování a poučení všem dalším projektantům a stavebníkům.

Nosné konstrukce staveb se provádějí z různých materiálů, jejichž výběr vyplývá z hodnocení provedení na základě objektivních i subjektivních kritérií. Jedním z kritérií hojně používaným pro volbu materiálu, které je velmi často rozhodujícím, jsou architektonicko-estetická hlediska, opírající se většinou o subjektivní názory buď investora nebo příslušného projektanta, obvykle tedy osoby s architektonickým vzděláním. Kritéria sledující zejména materiálové vlastnosti vhodné pro řešenou konstrukci bývají někdy až na druhém místě, a to často vede k potížím, eventuálně ke zdražení stavby.

Neopomenutelnými materiály často užívanými a mnohdy nezastupitelnými pro nosné konstrukce jsou dřevo a ocel. Dřevo je vedle kamene materiálem používaným na stavby již v prehistorii. Ocel a zejména litina má již také několik století historie uplatnění ve stavebnictví za sebou. Oba tyto materiály se používají v hojné míře i v současném stavebnictví, mnohdy s řadou zlepšených materiálových vlastností.

Již při vzniku konstrukce jsou tak zakládány podmínky pro její opravu nebo rekonstrukci v pozdějších letech. Zdroje havárií a poruch staveb mohou mít širokou škálu příčin a důvodů. Konečnou příčinou je vždy porušení fyzikálních, statických a pružnostních zákonů.

Vyhledat důvody a příčiny nedodržení obecně platných přírodních zákonů je složitější proces a souvisí se všemi účastníky stavebního řízení a bývá předmětem soudních a arbitrážních jednání, která zkoumají, kdo, co a v jaké míře zavinil a kdo škodu uhradí.

Laická veřejnost žije v domněnku, že architekti nám navrhnou všechny konstrukce a že provádějí jejich podrobné statické i technologické návrhy a výpočty. Tento mýtus vzniká často na základě informací z veřejných sdělovacích prostředků, kde pojem inženýr statick je velmi málo známý a laici bez technického vzdělání si mnohdy pletou statické a statistické výpočty. V době hospodářských krizí převládá v povědomí veřejnosti dojem, že převážné množství inženýrů jsou ekonomové a odtud plyne zřejmě jejich informovanost o existenci statistických výpočtů. V době rozsáhlých havárií staveb, jako např. v období po povodních v roce 2002, se šíří mezi lidmi informace o potřebě statických a tento druh odborníků náhle vystupuje do popředí zájmu veřejnosti. V běžné praxi platí, že vzniknou-li na konstrukci poruchy nebo dojde-li k havárii nosné konstrukce, je na řadě statick, aby určil technické příčiny této skutečnosti, někdy ve spolupráci s ostatními specialisty dalších stavebních profesí. Profese ekonomů a architektů v procesu hledání příčin a zabezpečení havárií jsou až na jeho konci.

■ 1 Problémy spolehlivosti ocelových a dřevěných konstrukcí

■ 1.1 Objektivní nároky na konstrukce

Specifikujme požadované cíle a podmínky při výstavbě objektu. Platí stále skutečnost, že **každá budova nebo konstrukce musí spolehlivě odolávat vnějším silovým účinkům** od užitého zatížení a od klimatických jevů (sníh, námraza, vítr, teplota), dále od účinků poklesu základů nebo účinků zemětřesení, eventuálně požáru. **Tato podmínka je nutná a prioritní**, pokud není splněna, nemá smysl se dalšími požadavky na konstrukci zabývat. Budova, která bude sice splňovat funkční nároky a bude se líbit velké skupině lidí, ztrácí smysl, pokud se bude hroutit nebo bude mít soustavně statické poruchy a nebude sloužit svému účelu.

Druhou nezbytnou podmínkou je, aby **budova splňovala svoji funkci**, pro niž byla navržena a realizována. Nefunkční objekt, který hezky vypadá, může sloužit nejvýš jako socha nebo památník, ale to je tak všechno. Proto přístup k řešení budovy jako k návrhu sochy nebo památníku není nejšťastnějším, i když hodně architektů s velkými ambicemi se na budovy, které navrhují a jejichž náklady jsou kryty ze státních peněz (nebo spíš nejdou z jejich kapes), tak dívá.

Až **další, třetí v pořadí** existenční důležitosti a funkčnosti objektu **je podmínka**, že budova nebo konstrukce má splňovat **architektonicko-estetické požadavky** kladené na ni v daném časovém období a v dané geografické lokalitě a pro danou sociální strukturu společnosti. Doufám, že je zřejmé, že poslední podmínka je **velmi široká, nejednoznačná a časově i subjektivně proměnná**.

Ekonomické nároky na výstavbu objektu musí respektovat přednostně dvě první existenční podmínky a nejsou cílem návrhu, ale pomocným ukazatelem možnosti realizace. Obvykle má ekonomická náročnost největší vliv na architektonicko-estetické vlastnosti budovy.

Návrh stavebního objektu musí splňovat tyto uvedené podmínky, které vyplývají z podrobných návrhů řady technických disciplín, jejichž požadavky jsou mnohdy protichůdné. Projektování je širokým dialogem jednotlivých profesí, jejichž požadavky je třeba skloubit tak, aby cílem byl objekt s vyhovující spolehlivostí, správnou funkcí a estetickými kvalitami, s ohledem na možné pozdější prodloužení životnosti objektu nebo jeho údržbu a opravy. Tento dialog obvykle vede zodpovědný projektant, což by měl být člověk se schopnostmi řídicími a s dostatečně objektivním přístupem k hodnocení požadavků jednotlivých profesí. Tento člověk by měl mít rovněž široké a dostatečně hluboké znalosti jednotlivých profesí. Zodpovědnost za jednotlivé návrhy připadá příslušným odborníkům v jednotlivých profesích.

Titul architekt není vždy zárukou těchto vlastností a objektivity v hodnocení významu jednotlivých profesí, a proto dochází mnohdy k vzniku problematických staveb s pozdějšími technickými problémy.

Navzdory prosté logice bývá často rozhodující pro realizaci stavby třetí podmínka architektonicko-estetická působivost bez ohledu na technické obtíže realizace (jde ruku v ruce se stoupajícími náklady) a rizikovost koncepce. Dochází tak někdy k tomu, že cílem výstavby se stane realizace objektu kvůli jeho navrhovanému vzhledu, což je zcela subjektivní hodnota, závislá na době realizace, společenské a ekonomické úrovni společnosti a zejména na názorech hodnotitelů plánované stavby. Prosazení takové stavby záleží obvykle na schopnostech architekta a jeho kontaktech s politiky nebo bohatými investory, nebo v lepším případě na výsledcích soutěží, kde však obvykle převládají hlavně architektonická hlediska. Velmi často je přecenění architektonic-

ko-estetických kritérií stavby zdrojem budoucích poruch eventuálně havárie realizované stavby. Hodnota takovýchto staveb je obvykle široce diskutována a hodnocení se mění podle diskutující obce a podle sociálně politické a ekonomické situace. Máme tak hodnocení budovy plná superlativů a současně máme pro stejný objekt úplná odsouzení a zatracení. Hodnocení statické funkce konstrukce bývá obvykle daleko střídlivější a neobsahuje většinou zásadní rozpory (pokud nejsou vynuceny architektonickými představami o provedení konstrukce). Pokud dojde k poruše nebo havárii takovýchto staveb, nastává problém nalézt viníka, což běžně bývá buď projektant technického řešení, nebo ten, kdo konstrukci realizoval, ale nebývá to autor scestného návrhu.

Ruku v ruce s těmito **třemi podmínkami účelně navržené stavby** jdou technologické možnosti a ekonomické nároky na vybudování požadované konstrukce. Ekonomické ukazatele nejsou cílem stavby. Cílem je stavba a její náklady mohou být velmi rozdílné v závislosti na čase, společnosti a geografické lokalitě.

Dojde-li při návrhu stavby k nesprávnému zhodnocení významu jednotlivých profesních požadavků a zejména dojde-li k hrubému potlačení objektivních statických a pružnostních zákonů jen proto, aby se upřednostnila subjektivní estetická nebo ekonomická hlediska, jsou řádně **připraveny** obecné **podmínky pro vznik havárie** nebo **poruchy stavby**. Je pravdou, že současná úroveň návrhových metod a metody navrhování a technologické možnosti jsou takové, že umožňují realizaci téměř jakékoliv staticky nevhodné konstrukce zcela absurdních tvarů z hlediska přenášení sil a přírodních zákonů. Je pouze otázkou peněz a úrovně inteligence a pozice příslušného investora, jakou konstrukci realizuje. Obvykle k havárii nebo poruše vede kumulace menších chyb při projektu či realizaci, nebo výskyt hrubé chyby, nebo vadná koncepce celého návrhu. Spolehlivost konstrukce, jinak též nazývaná bezpečnost konstrukce, pokrývá přirozené nejistoty v působícím zatížení a v kvalitě materiálu. Dílčí součinitele do jisté míry pokrývají i výskyt těchto hrubých a lidských chyb a zkušenosti ukazují, že současné součinitele spolehlivosti nejsou nikterak nadhodnocené.

Výskyt příčin poruch a havárií

Musíme si uvědomit, že na základě počtu pravděpodobnosti není možno hovořit o absolutně bezpečné konstrukci [11]. Spolehlivost konstrukcí je dána pouze pravděpodobností, že za určitých provozně technických podmínek v určitém časovém období nedojde k havárii nebo poruše. Pravděpodobnost spolehlivosti konstrukce lze vyjádřit rovnicí

$$R(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{m}{n}$$

kde $R(t)$ je spolehlivost konstrukce po dobu t její existence, m je počet konstrukcí po tuto dobu bez poruch provozovaných, n je počet všech konstrukcí zkoumaného typu.

S tím souvisí rovněž i stanovení doby životnosti konstrukce, které se obvykle opírá pouze o časové závislosti známých materiálových vlastností, ale nemůže postihnout celou škálu dalších dílčích, ale často rozhodujících skutečností.

Pravděpodobnost výskytu havárie určité konstrukční soustavy nazýváme poruchovostí. Z hlediska uspořádání nosných částí konstrukce mluvíme o soustavách paralelních a sériových. Paralelní soustavy jsou takové, u nichž havárie nastane jen tehdy, když nastane havárie všech jejích prvků. Sériová soustava je taková, u níž selhání jednoho prvku vyvolá havárii celé soustavy.

Můžeme tedy říci, že pravděpodobnost havárie n paralelního systému PS složeného z n prvků s poruchovostí q_i , spojených paralelně se blíží k jedné, když poruchovost každého prvku se blíží k jedné. Takže poruchovost paralelního systému Q_{ps} lze zapsat jako

$$Q_{ps} = \prod_{i=1}^n q_i$$

Pro sériový systém **SS** platí, že pravděpodobnost Π havárie systému složeného z n prvků s poruchovostí q_i spojených sériově, dosáhne hodnoty jedna, když havaruje alespoň jeden prvek ($q=1$) nebo když prvků je dostatečně velké množství ($n \rightarrow \infty$). Poruchovost sériového systému Q_{ss} lze tedy vyjádřit jako

$$Q_{ss} = 1 - (1 - q)^n$$

Skutečné konstrukce jsou často kombinací sériových a paralelních soustav. Je zřejmé, že sériové systémy jsou náchylnější k havárii než paralelní soustavy a tuto informaci je třeba mít při návrhu soustavy na zřeteli.

Na havárii či poruchu mohou mít vliv i ostatní konstrukční soustavy, nejen statické nosné prvky. Pro ocelové a dřevěné konstrukce mohou mít zásadní vliv hydroizolační soustavy, topné a klimatizační soustavy a protipožární vodní rozvody, které mohou velmi nepříznivě ovlivnit materiálové vlastnosti ocelových i dřevěných konstrukcí.

To, že je pravděpodobný výskyt poruch a havárií, neznamená, že je možné fatalisticky připouštět vadná řešení a vědomě ponechávat chyby v konstrukčních návrzích.

Konečné, objektivní příčiny havárií spočívají vždy v porušení fyzikálních zákonů, resp. zákonů statiky, pružnosti a pevnosti. Porušení právních norem, ekonomických a estetických pravidel pouze někdy předchází skutečným příčinám havárie a souvisí s vyhodnocením viny a zodpovědnosti za škodu nebo zničené životy. V závislosti na právní legislativě v dané době a politickém systému státu a na míře a rozsahu vzniklé škody může být vina za havárii nebo poruchu a míra viny připsána různým subjektům, které se podílely na realizaci poškozené konstrukce.

V konečných důsledcích jsou za havárii nebo poruchu nosné konstrukce obvykle zodpovědní inženýři statici, kteří konstrukci navrhli, nebo odborníci, kteří ji provedli. Jen málokdy dojde k odsouzení těch, kteří stáli u zrodu návrhu konstrukce s chybnou koncepcí a svojí funkcí nebo politickou vahou v procesu projektování nebo ekonomickým vlivem a zájmy prosadili takové vadné řešení, jehož technické provedení záleží na příslušných technických odbornících.

Vyžaduje vždy značnou osobní odvahu takové koncepčně vadné řešení odmítnout a vykázat jeho prosazovatele do mezí daných obecně platnými přírodními zákony nebo zabezpečit, aby zodpovědnost za takové řešení plně ležela na jeho ideových iniciátorech (politici, investoři, architekti). Neznamená to ovšem navrhovat pouze zcela tuctové stavby bez využívání moderních technologií a metod. Jen je třeba plně respektovat materiálově a konstrukčně možné řešení a neznásilňovat je ve prospěch zdánlivé estetiky nebo ekonomické úspory.

Pokud se povede navrhnout odpovídající správné konstrukční řešení z vhodného materiálu, obvykle se výrazně sníží riziko havárie nebo poruchy dané konstrukce, protože iniciátoři příliš ambiciózních koncepcí často pod tíhou odpovědnosti za konečný výsledek od svých návrhů ustoupí. Ke snížení počtu poruch nebo havárií je třeba rovněž používat organizačně účinný systém kontrol.

Kontroly musí být na úrovni projekční, realizační a dále průběžné při provozu objektů, aby nedocházelo k zanedbání údržby konstrukcí. Kontroly musí provádět každý statik. Používání výpočetní techniky, která umožňuje rychlé výpočty, si vynucuje častější a poněkud jiný způsob kontroly než bylo zvykem při ručních způsobech výpočtu. Rychle vyvíjený inženýrský software není rovněž bezchybný a vyžaduje u nových verzí opatrný přístup statistiků. Opatrnost je na místě zejména při používání modulů pracujících s novými evropskými normami, které prošly dramatickým několikastupňovým vývojem. Je vhodné provádět jednoduché kontroly vhodnými postupy pocházejícími z doby ručních výpočtů. Velmi by prospěla instituce kontrolních inženýrů, známých z Německa jako „Prüf Ingenieur“. Pro usnadnění rekonstrukcí by bylo vhodné uchovávat kompletní projekční dokumentaci, zejména statickou včetně výpočtů, na stavebních úřadech na CD

nosičích. Usnadnilo by to kopírování dokumentace pro další použití a mohlo by pomoci zabránit ztracení dokumentace na úřadech.

■ 1.2 Ocelové a dřevěné konstrukce a zjištění jejich vlastností v případě poruchy a havárie

Odborník přistupující ke konstrukci, která vykazuje poruchy statické povahy, nebo ke konstrukci, která již havarovala, musí nejprve zjistit všechny dostupné informace o jejích vlastnostech, zejména těch, které se vztahují ke vzniklé poruše nebo k havárii. Veškeré prováděné průzkumy a měření jsou obdobná jako v případě záměrně chystané přestavby (rekonstrukce) objektu.

Základní průzkumy se opírají zejména o dostupnou dokumentaci konstrukce. Potřebné jsou výkresy nosné konstrukce, statické eventuálně dynamické výpočty, technická zpráva k provedené konstrukci, výkresy kotvení konstrukce, doklady o kvalitě použitého materiálu, záznamy o dříve provedených opravách nebo změnách konstrukce, stavební a architektonické výkresy, stavební a montážní deníky, eventuálně účetní doklady k provedené konstrukci. Stanovení skutečného zatížení, které působilo na konstrukce v době vzniku poruch nebo havárie, je jednou z hlavních nezbytných informací.

Pokud rozhodující dokumentace není k dispozici, což je velmi častý případ, bývá nezbytné udělat sondy do konstrukce a zjistit tak potřebné údaje. Pokud došlo k havárii resp. zřícení konstrukce, není obvykle velkým technickým problémem odebrat potřebné vzorky materiálu a stanovit skladby působícího stálého zatížení. Pokud konstrukce nehavarovala, ale vykazuje pouze různé míry poruchy, není tento proces jednoduchý. Odebrání sond a provedení dalších nutných měření zasahuje do provozu objektu a vyžaduje mnohdy náročná bezpečnostní opatření.

Poruchy se projevují většinou nadměrnými deformacemi nebo trhlinami. Průhyby vodorovných nosníků jsou okem patrné již při hodnotách odpovídajících cca 1/100 ev. 1/150 rozpětí nosníku. Takovéto hodnoty nejsou pro většinu konstrukcí přijatelné, můžeme je připustit pouze tam, kde nevadí funkčně a opticky, tj. na příklad u ocelových nádrží nebo dřevěných oplocení či pomocných konstrukcí dočasného charakteru. Ocelové konstrukce mohou vykazat i značná přetvoření plastického charakteru a pak je třeba provést velmi podrobná šetření a výpočty, co tyto deformace způsobuje. Pokud dochází k poruchám izolačních systémů nebo dochází k zatékání do konstrukce, projevují se tyto závady na ocelových konstrukcích korozí a na dřevěných konstrukcích výskytem plísní nebo posléze hnilobou.

Jsou-li nosné konstrukce zabudovány do výplňových nebo dělicích konstrukcí ze zdiva, betonu nebo jsou zakryty sádkartonovými konstrukcemi, vyvolávají nadměrné průhyby nosných konstrukcí obvykle viditelné trhliny, které signalizují skutečnou skrytou vadu.

Dalším krokem průzkumu je třeba zjistit rozsah a míru poruch a pravděpodobnou příčinu těchto poruch. Ocelové a dřevěné konstrukce, které vykazují poruchy, mohou být velmi rozdílného stáří. Zejména dřevěné konstrukce mohou být staré i několik století, ocelové nebo litinové konstrukce jsou obvykle mladší, max. cca 300 let. Konstrukce vznikaly na základě velmi rozdílných podmínek. Ty nejstarší dřevěné konstrukce byly obvykle navrhovány resp. prováděny řemeslníky na základě rutinních postupů, a pokud existuje výkresová dokumentace, je možno mluvit o štěstí. Statické výpočty a technické zprávy resp. popisy konstrukcí přicházejí v úvahu až v pozdější době, zejména ve století dvacátém. U litinových resp. ocelových konstrukcí, které vznikaly v pozdějším období, již bývají statické výpočty dosažitelné, a jsou velmi často zpracované na základě grafických metod statiky [13].

Obecně je dostupnost dokumentace většinou malá. Přes platnost stavebních zákonů, které definují povinnost dokumentaci staveb uchovávat na příslušných úřadech, je skutečnost odlišná. Obvykle na stavebních úřadech jsou uloženy stavební a architektonické výkresy, pohledy na fasády; vesměs chybí výpočty, výkresy a technická zpráva k nosné konstrukci. Tento stav je paradoxní, jak je snad zřejmé z následujícího.

Fasády domů jsou obvykle přístupné, viditelné, rozměry budov jsou snadno zaměřitelné, ale zjištění rozměrů nosných prvků a provedení přípojných detailů vyžaduje poměrně náročné operace, bourací práce a není vždy zaručeno, že sondy a nezbytná rozměrová nebo materiálová měření je možno provést.

Někdy bývají zdrojem informací o materiálu a rozměrech nosné konstrukce účetní doklady, které si majitelé schovávají. Takovéto informace je třeba samosebou ověřit alespoň namátkově sondami; nelze předpokládat, že finanční podvody jsou vynálezem pouze posledního století v České republice.

Dostatečně zachovalá statická dokumentace bývá u konstrukcí z let před druhou světovou válkou. V této době se již prováděla řada náročných statických výpočtů, stanovení vnitřních sil v konstrukci bývalo prováděno mnohdy grafickými metodami a mnoho současných mladých statiků, kteří se spoléhají na výstupy z výpočetních programů, asi budou mít starosti, jak tyto statické výpočty rozluštit. U drobných staveb, rodinných i činžovních domů statická dokumentace většinou chybí, i když právě u těchto staveb se vyskytuje častý výskyt i poruch vážného charakteru. Příčinou bývá nemístná šetrnost soukromých drobných investorů, považujících statické a inženýrské návrhy jen za nutné zlo, které stojí neúměrné množství peněz ve srovnání s penězi za fyzicky provedenou konstrukci.

Dle názoru lokálních soukromých investorů takové konstrukce místní řemeslníci rutinně provádějí dlouhé roky, a proto je poměrně finančně náročný projekt nadbytečný. Tento předpoklad přestává fungovat zejména při provádění moderních konstrukcí s novými technologiemi a s náročným statickým působením.

Výstavba rozměrných a staticky náročných konstrukcí je téměř vždy spojena s důkladnou projekční přípravou různých stupňů a statická dokumentace bývá dostatečně propracovaná a prověřená. Přes tyto skutečnosti se vyskytují havárie a poruchy i význačných staveb a nelze tedy řádné statické řešení a provedení konstrukce podceňovat, i když na výsluní pozornosti laické veřejnosti je stále architektonické řešení.

Pokud dojde k poruše nebo k havárii konstrukce, je vždy k zodpovědnosti povoláván statik. Pokud dochází k chvalozpěvu na provedené konstrukce, je vesměs vždy citován architekt stavby. To, že stavební dílo je dílem širokého, rovnoprávného dialogu a rovnocenné spolupráce řady odborníků, vymizelo v podmínkách honby za ekonomickým ziskem a z touhy po slávě. Tato psychologická příčina se mnohdy podepsala na řadě poruch a havárií konstrukcí.

Vzhledem k vývoji statiky a pružnosti, vývoji výpočetních metod a teorii spolehlivosti konstrukcí v minulých stoletích mohou být porušené nebo havarované konstrukce navrženy dle různých návrhových metod, s použitím různých výpočetních předpokladů a modelů a s různou spolehlivostí. Metoda dovolených namáhání stále ještě žije v povědomí pracovníků ekonomického nebo architektonického zaměření bez dostatečných statických vědomostí a znalostí. Pojmy z metodiky mezních stavů (statiky již mnoho let používané), jsou často u ostatních stavebních odborníků zaměňovány s pojmy patřícími do metodiky dovolených namáhání a dochází mnohdy k chybné interpretaci pojmů jako únosnost, pevnost atd.

■ 1.3 Všeobecné zdroje a příčiny poruch a havárií

Pokusme se uvést přehled možných zdrojů poruch konstrukcí v závislosti na procesu projektování a provádění. Nejprve si všimneme konstrukcí, které vznikaly před prvními normami pro navrhování, tj. vesměs před dvacátým stoletím. Hodně těchto konstrukcí bylo navrženo intuitivně, bez podrobných propočtů a bez detailních návrhů detailů a přípojí. Posuzujeme-li tyto konstrukce z hlediska současných znalostí, zjistíme, že některé prvky jsou předimenzované a jiné poddimenzované, takže nevyhovují současným nárokům na spolehlivost, ale konstrukce přes tyto skutečnosti stojí a fungují.

Řešení konstrukčních detailů je současnou praxí často opomíjeno, a tak je mnohdy počítána konstrukce se zcela odlišným chováním, než předpokládá výpočetní model. Vzhledem k tomu, že poruchy a havárie mohou nastat i u konstrukcí navrhovaných v současnosti, zmiňují se některé následující body o možných současných materiálech. Výběr druhů ocelí a dřeva a materiálů na bázi dřeva v minulých dobách byl výrazně nižší než nabízí současný průmysl nyní. Poruchy nebo i havárie se mohou vyskytnout buď v době stavby nebo až po delší době provozu, někdy i po mnoha desetiletích. Mohou vést ke snížení nebo ztrátě únosnosti dílčí části konstrukce nebo k nadměrným přetvořením. Může dojít k materiálové degradaci, způsobené fyzikálními a chemickými nebo biologickými vlivy; ocel koroduje, dřevo hnije nebo je napadáno biologickými škůdci. Dále je uveden výčet možných příčin poruch a havárií.

1) Nevhodné koncepční řešení konstrukce

Tato situace nastává, když není u původního investičního záměru zastoupen nebo není slyšen názor inženýra statika schopného pracovat se zvoleným materiálem konstrukce. V současnosti jsou normy pro navrhování ocelových, dřevěných konstrukcí a železobetonových konstrukcí tak rozsáhlé, že inženýři statici jsou ve značné míře specializovaní na jednotlivé materiály a nemusí tedy vhodně zvolit koncepci konstrukce z materiálu, s nímž obvykle nepracují. Návrh architekta musí vždy vycházet ze spolupráce se statikem.

2) Nevhodná volba materiálu

Tato skutečnost je v současnosti jednak základní na úrovni druhů materiálů a jednak detailní pro ocelové konstrukce, kdy podle účelu konstrukce a podmínek, pro něž je konstrukce navržena, volíme příslušnou speciální ocel. Pro dřevěné konstrukce je tato volba snazší, klasifikace druhu dřeva a jeho výběr je výrazně omezenější. Výběr je poměrně větší v materiálech na bázi dřeva a v možných sprážených konstrukcích.

3) Nevhodný konstrukční návrh vedoucí k nadměrným namáháním některých částí (dominující architektonické aspekty nerespektující zákony pružnosti a pevnosti nebo sledování nevhodných ekonomických úspor)

Základním pravidlem spolehlivých a ekonomických návrhů je převod sil působících na konstrukci co nejkratší cestou do základů. Výhodné je použít co nejvhodnější způsob namáhání materiálu, který využívá maximálně pevnost materiálu. Obecně to je nejprve tah, dále tlak (pokud nepřevažují stabilitní jevy) a potom ohyb. Kroucení prosté pro uzavřené tvary je výrazně vhodnější namáhání než kroucení vázané pro otevřené průřezy.

Mezi projektanty je známé pravidlo, že konstrukce navržena tak, aby odpovídala působení sil, splňuje estetické nároky většiny uživatelů.

4) Chybný model pro výpočet nebo chybný návrh konstrukce

Modelování konstrukcí provádějí odborníci navrhující stavby od té doby, co určují vnitřní síly v konstrukcích, aby bylo možno rozměry konstrukce spolehlivě a hospodárně navrhnout a konstrukci provést. Je omylem si myslet, že modelování je produktem věku počítačů. Modelováním nemyslíme tvorbu papírových architektonických modelů tvarů konstrukcí, které rozhodně nemají potřebnou vypovídací hodnotu pro stanovení chování konstrukcí vystavených silovým účinkům.

První simulace a modely pocházejí již z doby navrhování kamenných kopulí a domů ve středověkých dobách. Vývoj teorií navrhování konstrukcí lze datovat od roku 1825 [13]. V současnosti je pojem modelování vázán na modely pro výpočetní programy počítající na základě metody konečných prvků nebo pro prutové konstrukce používající její diskrétní variantu tzv. přímou deformační metodu.

Klíčovou volbou je správná volba použitého prvku a jeho tvarových funkcí a správné stanovení okrajových podmínek tak, aby odpovídaly skutečnému chování provedených konstrukčních detailů a detailů v uložení. Tyto zásady platí i pro konstrukce provedené dříve s pomocí ručních výpočtů. Statik musí akceptovat skutečné provedení a chování konstrukčních detailů, konstrukce se rozhodně jeho úvahám nebude podřizovat. Klasickou větou je věta pana profesora Faltuse, nestora českých inženýrů navrhujících ocelové konstrukce, kterou je na místě citovat: „**Vaše teorie je zajímavá, pane inženýre, ale ví o ní ta vaše konstrukce?**“

5) Chybně zpracovaná výkresová a výpočetní dokumentace

Tyto chyby jsou zdánlivě zcela banální, jde o opominutí, špatné označení prvků, materiálu, špatné kóty atd., ale tyto chyby mohou vést k závažným chybám a jejich výskyt lze maximálně snížit systémem vhodné nezávislé kontroly projektu.

6) Vadné řešení konstrukčních detailů neodpovídající navrženému modelu

Tento bod doplňuje předchozí bod 4). Pokud jsou správné úvahy při návrhu konstrukce, je třeba detail zkonstruovat tak, aby jeho chování bylo takové, jak se ve výpočtu předpokládá (tj. správné posuny, pootočení styčniců nebo uložení atp.).

7) Vadné provedení konstrukce, eventuálně podcenění finančních zdrojů

Chyby při provádění konstrukcí, nedodržování technologických postupů, nevhodné improvizace, zdánlivě vhodné náhle navržené náhrady (jiný materiál, jiné spojovací prostředky, zdánlivě lepší = levnější, konstrukční detail) nebo to, že chybí peníze na vyprojektované řešení, jsou také častým zdrojem poruch konstrukcí.

8) Nedostatek údržby

Zanedbaná údržba vede obvykle ke zkorodování ocelových konstrukcí, k napadení dřevěných konstrukcí hnilobou nebo škůdci. Rovněž může dojít ke špatné funkci uložení, např. k zamezení předpokládaného posuvu podpory a tím k nepředpokládanému nárůstu sil v konstrukci.

9) Nadměrné zatížení oproti účinkům uvažovaným ve výpočtu

K těmto vadám dochází velmi často při špatném ukládání střešních nebo podlahových vrstev, nebo při nepředpokládaném opakovaném zatížení sněhem, který neodtává, ale naopak mrzne a hromadí se na střeše. Rovněž nedodržení technologických předpisů dodavatelů některých částí může vést k neuvažovanému přetížení konstrukce nebo jejích částí (provádění vyrovnávacích násypů).

10) Živelná katastrofa (např. povodeň, orkán, sních, požár) tj. zatížení vyšší než uvádějí platné normy

Zejména nyní v době možných a pravděpodobných změn klimatických podmínek se s těmito účinky můžeme setkat. Pravdou je, že dobře navržená konstrukce mající obvyklou spolehlivost snese přetížení poměrně značné, aniž dojde k její havárii.

Uvedené zdroje chyb a poruch konstrukcí mají většinou prapůvodní příčinu v „lidské stránce věci“. Zdrojem problémů může být odborná neznalost příslušných pracovníků, zhoubné působení politiků nebo pomalé nefunkční legislativy či osobní ekonomické zájmy, dále snaha po uspokojení osobních ješitností, nezdravé ctižádosti a pod.

V kapitolách uvádějících příklady různých poruch, havárií eventuálně špatných návrhů jsou stručně uvedeny a rozebrány důvody, které ke konkrétním poruchám či haváriím vedly.

■ 1.4 Metody navrhování a posuzování konstrukcí a zpracování statických výpočtů

Současné s technologickým pokrokem se rozvinuly předpisy a normy, které mají konstrukce splňovat, aby byla zaručena požadovaná spolehlivost konstrukce. Názor na spolehlivost konstrukcí se vyvíjel v průběhu uplynulého století [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Rozsah a obsah norem se zvýšil více než $5\times$ (obr. 1.1) v průběhu století. Současná metodika navrhování podle mezních stavů resp. posuzování konstrukcí vychází ze statistické pravděpodobnostní metody, která je v platných normách převedena na výpočet s pomocí tzv. dílčích součinitelů spolehlivosti. Součinitele jsou různé pro materiálové charakteristiky a pro zatížení konstrukcí.

Pro rekonstrukce dřívějších konstrukcí jsou zásadně používány normy současné, tj. od března 2010 jsou to evropské normy ČSN EN. Normy platné v době vzniku rekonstruované konstrukce slouží pouze k informaci, abychom věděli, kde jsou slabá nebo silná místa konstrukce, zejména s ohledem na spolehlivost konstrukce požadovanou v současnosti. Postup nezbytných činností při přestavbě (rekonstrukci) je uveden rovněž v [1] a také v příručkách [8] a [9] a v publikaci [15].

V současnosti je velmi vzácný případ návrhu nosné konstrukce bez využití výpočetních programů. Doba výpočtů na logaritmickém pravítku při použití silové nebo deformační metody již nenávratně minula (obr. 1.2). Od sedmdesátých let se používají pro výpočty vnitřních sil resp. napjatosti v konstrukci výpočetní programy na sálových počítačích založené na metodě konečných prvků. Od rozšíření osobních počítačů (tj. cca od roku 1990) se používají tyto programy zcela masově. Ve světě i u nás jsou v běžné inženýrské praxi používány převážně programy řešící konstrukce s materiálově lineárním chováním (např. FEAT, NEXIS, FIN, STRAP, STRUDL, SAP, RSTAB, SCIA ENGINEERING (dříve ESA), SPACE FRAME).



Obr. 1.1 Normy navrhování ocelových konstrukcí 1929–1998



Obr. 1.2 Osobní výpočetní technika:

a) logaritmické pravítko (1850 Francouz Amedee Mannheim)

b) elektronické kalkulatory (sedmdesátá léta)

c) sálové a osobní počítače (~1980 – dosud)

Základem těchto programů je obvykle prostorový prutový rám doplněný o základní plošné prvky (obvykle o obecný čtyřúhelník).

Řešení geometricky nelineárního chování je běžným vybavením většiny těchto programů. Vliv geometricky nelineárních výpočtů je významný pro konstrukce větších rozpětí nebo výšky (cca od 30ti m).

Programy umožňují stanovit vnitřní síly a přetvoření konstrukcí působících v prostoru, což umožňuje navrhování konstrukcí zvláštních neobvyklých tvarů, bohužel někdy zcela proti smyslu působících sil. Výpočetní programy vesměs dosud neobsahují prověřené a bezchybné subroutine pro návrh a posuzování styků ocelových a dřevěných konstrukcí. Materiálově nelineární chování, tj. zejména plastické chování podle Van Misesova diagramu je obsaženo vesměs jen v rozsáhlých systémech, které se běžně ve statické praxi nepoužívají (ANSYS, ADINA, ABACUS, NASTRAN, PATRAN, NONSAP, DIANA, FINALGE atd.). Výkresová dokumentace je většinou zpracovávána pomocí výpočetních programů do různé míry automatizovaných.

Vzhledem ke zvýšení rychlosti a numerické přesnosti statických výpočtů zpracovaných pomocí výpočetních programů stoupl rovněž tlak od investorů na termíny zhotovení dokumentace až do neúnosné míry. Je třeba si uvědomit, že zástupci investora jsou obvykle lidé s minimálními znalostmi o staticce, funkci konstrukcí a též o projektování. Vesměs se soustřeďují na ekonomickou nebo nejvýše funkční a architektonickou stránku projektu a spolehlivost konstrukce je pro ně obvykle nejasným pojmem.

Můžeme tedy úvodem říci, že máme výrazně lepší pomůcky pro navrhování konstrukcí a nástroje pro zpracování výkresové dokumentace. Dále jsou k dispozici velmi podrobné normy, které jsou oprávněni používat pouze pracovníci s vysokou specializací, máme vysoce kvalitní technologie na zpracování materiálu a výrobu konstrukcí a je výrazně vyšší počet inženýrů staticků, než jich bylo před cca 70ti lety.

Přes tyto skutečnosti dochází stále k poruchám a haváriím konstrukcí, a to nejen konstrukcí již letitých, ale i zcela nových. Tato publikace se zabývá některými poruchami ocelových a dřevěných konstrukcí [11], [12], [18], [19], [20], [23], [24], [25]. Snaží se nalézt příčiny uvedených poruch, obdobné příčiny lze ale specifikovat i u konstrukcí železobetonových eventuálně zděných.

■ 2 Poruchy a havárie některých ocelových konstrukcí

V dalších podkapitolách jsou uvedeny havárie a poruchy ocelových staveb v různých časových obdobích a s odlišnými příčinami, které jsou vždy uvedeny včetně širších souvislostí. Příklady jsou řazeny podle subjektivního názoru autora publikace na jejich význam a důležitost.

■ 2.1 Havárie průmyslové haly v roce 1965

Stav konstrukce a její poruchy

Tovární hala s rámovým světlíkem s táhlem navržená a provedená cca v roce 1965 se zřítila krátce po otevření při zasklívání světlíku. Jako nosná vazba byl navržen a proveden staticky neurčitý ocelový rám tvaru podle *obrázku 2.1*. Konstrukce haly nevykazovala při zběžném pohledu žádná význačná přetvoření a nevarovala, že část konstrukce má výrazně sníženou spolehlivost.

Pracovník stál na plošině uložené mezi táhly dvou sousedních vazeb. Došlo k protažení táhla, porušení šroubových přípojů a táhlo přestalo plnit svoji funkci. Táhlo i plošina s pracovníkem se zřítily dolů, rám haly se deformoval a probořil dovnitř haly.

Příčiny havárie

Výpočty ocelových konstrukcí byly v té době prováděny ručně na logaritmickém pravítku s přesností cca 3 %, což stále ještě plně postačuje pro většinu konstrukcí. Jako metoda řešení vnitřních sil se pro ocelové konstrukce používala většinou silová metoda, vzhledem k obvykle nízkému stupni statické neurčitosti. Pro železobetonové konstrukce se naopak většinou užívala deformační metoda, vzhledem k většímu stupni neurčitosti tuhých rámových železobetonových konstrukcí. Pokud byla použita deformační metoda, mohlo dojít při zanedbání některých přetvoření (s cílem snížení počtu neznámých) a při event. další konstrukční chybě i k havárii konstrukce. Statik, který navrhoval obvykle železobetonové konstrukce, použil deformační metodu i pro výpočet ocelové rámové vazby, zanedbal natočení sloupku styčnicku a navrhl 3 šrouby pro přípoj táhla ze dvou úhelníků. Tento přípoj detailně nezakreslil a nezapsal, že uvažuje únosnost **dvojstřížných šroubů**. Statický výpočet sloužil jako podklad pro konstruktéra ke zpracování prováděcích výkresů. Konstruktér navrhl 4 šrouby jednostřížné (místo statikem uvažovaných dvojstřížných šroubů) s přesvědčením, že provedl návrh dostatečně bezpečný. Ve skutečnosti byl výsledný přípoj schopný přenést pouze 2/3 vypočtené síly v táhle (*obr. 2.1*).



Obr. 2.1 Schéma přípoje havarované haly