

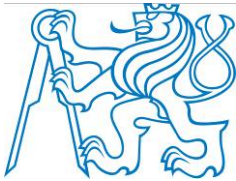
METODIKA HODNOCENÍ SPOLEHLIVOSTI A ŽIVOTNOSTI INDUSTRIÁLNÍCH STAVEB



Autoři:

doc. Ing. Miroslav Sýkora, Ph.D.
doc. Ing. Jana Marková, Ph.D.
Ing. Lukáš Balík, Ph.D.
prof. Ing. Milan Holický, DrSc.
Ing. Karel Jung, Ph.D.
doc. Ing. Karel Lorenz, Ph.D.
Ing. Martin Pospíšil, Ph.D.
prof. Ing. arch. Tomáš Šenberger
Ing. Miroslav Vokáč, Ph.D.

21. října 2015

	České vysoké učení technické v Praze Kloknerův ústav Šolínova 7 166 08 Praha 6	České vysoké učení technické v Praze Fakulta architektury Thákurova 9 166 34 Praha 6	České vysoké učení technické v Praze Fakulta stavební Thákurova 7 166 29 Praha 6
---	---	---	---

OBSAH

1	ÚVOD	3
1.1	<i>Rozsah platnosti.....</i>	3
1.2	<i>Význam metodiky.....</i>	3
2	POSTUP HODNOCENÍ.....	4
2.1	<i>Zásady hodnocení.....</i>	4
2.2	<i>Mezní stavy.....</i>	5
2.3	<i>Hodnocení na základě dřívější uspokojivé způsobilosti.....</i>	7
2.4	<i>Metody ověřování spolehlivosti.....</i>	7
2.5	<i>Metoda dílčích součinitelů.....</i>	8
3	PRŮZKUM A ZKUŠEBNÍ METODY	9
3.1	<i>Zásady.....</i>	9
3.2	<i>Odběry vzorků.....</i>	10
4	STANOVENÍ ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ.....	11
4.1	<i>Úvod.....</i>	11
4.2	<i>Charakteristické hodnoty.....</i>	11
4.2.1	<i>Stálá zatížení.....</i>	11
4.2.2	<i>Proměnná zatížení.....</i>	12
4.3	<i>Dílčí součinitele.....</i>	13
4.3.1	<i>Stálá zatížení.....</i>	13
4.3.2	<i>Proměnná zatížení.....</i>	14
4.3.3	<i>Dílčí součinitele pro omezenou životnost.....</i>	14
5	STANOVENÍ MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ.....	15
5.1	<i>Úvod.....</i>	15
5.2	<i>Nejistoty měření a interpretace výsledků.....</i>	15
5.3	<i>Stanovení charakteristické hodnoty na základě měření.....</i>	16
5.4	<i>Stanovení dílčího součinitele.....</i>	17
6	GEOMETRIE KONSTRUKCE	18
6.1	<i>Požadavky Eurokódů a ČSN ISO 13822.....</i>	18
6.2	<i>Návrhová hodnota.....</i>	18
7	ANALÝZA KONSTRUKCE.....	19
8	SMĚRNÁ ÚROVEŇ SPOLEHLIVOSTI	20
9	NÁVRH OPATŘENÍ.....	21
	BIBLIOGRAFIE.....	22

1 ÚVOD

1.1 Rozsah platnosti

Metodika uvádí postupy ověřování a hodnocení spolehlivosti a životnosti nosných konstrukcí staveb industriálního dědictví (dále zjednodušeně „industriální stavby“) se zaměřením na železobetonové, ocelové a litinové konstrukce; částečně také na zděné a dřevěné konstrukce. Úzce navazuje a doplňuje zásady Eurokódů pro navrhování konstrukcí, ČSN ISO 13822 pro hodnocení existujících konstrukcí, jejich národních příloh uvedených v ČSN 73 0038, ČSN ISO 13823 pro hodnocení trvanlivosti konstrukcí a národních příloh uvedených v ČSN 73 0043.

POZNÁMKA Metodika je výsledkem řešení projektu aplikovaného výzkumu DF12P01OVV040 Hodnocení bezpečnosti a životnosti staveb industriálního dědictví podporovaného Ministerstvem kultury ČR.

Termíny, značky a definice, které jsou uvedeny v této metodice, vycházejí z ČSN EN 1990, ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038.

1.2 Význam metodiky

Řada průmyslových staveb, mostů a dalších inženýrských staveb postavených od počátku průmyslové revoluce (v ČR převážně v období 1870-1930) se považuje za industriální dědictví. Tyto stavby (cukrovary, pivovary, nádražní haly, železniční i silniční mosty atd.) mohou mít významnou architektonickou, historickou nebo technologickou hodnotu. Obvykle tvoří nedílnou součást městské zástavby a jsou významnými orientačními body v městských panoramatech. Často se však jedná o stavby, které pozbyly původní funkci a zůstávají opuštěné nebo nedostatečně využitě, a dochází tak k jejich chátrání nebo i vandalskému poškození. V důsledku restrukturalizace průmyslu, útlumových programů a střídání vlastníků se problematika industriálního dědictví stala v ČR aktuální zejména po roce 1990. Industriální stavby jsou vystaveny nepříznivým účinkům prostředí vedoucím k degradaci a postupné ztrátě spolehlivosti. Nedostatečná péče věnovaná rozpoznávání a systematické ochraně industriálního dědictví může vést k jeho vymizení a k nenahraditelné ztrátě kulturních a společenských hodnot.

Nedílnou součástí projektů pro nové využití staveb industriálního dědictví je ověření spolehlivosti a případný návrh opatření pro zajištění další životnosti a provozuschopnosti konstrukce i bezpečnosti uživatelů. Při ověřování prostřednictvím často konzervativních postupů pro navrhování podle současných norem (především Eurokódů) nespĺňuje mnoho industriálních staveb současné požadavky na spolehlivost. Přímé použití Eurokódů může naznačit nezbytnost nákladné rekonstrukce a související vysoké náklady mohou vést k neproveditelnosti projektů rekonverze. Rekonstrukce navíc mohou vést ke ztrátám kulturních hodnot (ztráta autenticity stavby a jejího historického významu).

Při hodnocení spolehlivosti konstrukcí industriálních staveb lze vycházet ze zásad ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038 pro hodnocení existujících konstrukcí. Pro takovéto hodnocení jsou však potřebné znalosti nad rámec běžných znalostí projektantů. Rozhodnutí o nákladných opatřeních by se mělo opírat o komplexní hodnocení spolehlivosti konstrukce s uvážením skutečných materiálových a geometrických vlastností, způsobu využití a vlivů okolního prostředí. ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038 umožňují využít znalosti o skutečném

stavu konstrukce a upravit hodnoty dílčích součinitelů na základě znalostí o industriální stavbě.

Tato metodika usnadňuje aplikaci obecných zásad ČSN při hodnocení industriálních staveb (pozemních a inženýrských staveb i mostů). Zohledňuje následující rozdíly mezi hodnocením industriálních památek a navrhováním nových konstrukcí:

- společenská a kulturní hlediska - ztráta kulturních hodnot a případná omezení provozu nebo uživatelů neovlivňují navrhování nových konstrukcí, a nejsou proto uvážena v předpisech pro navrhování,
- ekonomická hlediska - zvýšené náklady na zajištění spolehlivosti u existujících konstrukcí (náklady na zesilování jsou obvykle velmi vysoké),
- zásady trvale udržitelného rozvoje – potřeba sestavení plánu využití industriální stavby a snaha o uchování původních stavebních materiálů (a tím snížení vzniku odpadů) u rekonstrukce industriální stavby v porovnání s demolicí a novou výstavbou,
- nedostatek informací pro hodnocení konstrukce - stanovení skutečných materiálových vlastností je obvykle obtížné, nákladné, avšak také velmi důležité vzhledem k proměnlivosti vlastností a možným změnám během předchozího provozu v důsledku degradace, vad nebo poruch.

Metodika popisuje získávání potřebných informací o skutečných vlastnostech materiálů, geometrii a zatížení vyšetřované konstrukce. Významné nejistoty související s materiálovými vlastnostmi, chováním konstrukce i vlivy okolního prostředí se zohledňují s využitím pravděpodobnostních metod a uvádějí se postupy stanovení charakteristických a návrhových hodnot. Zvláštní zřetel se klade na vyhodnocení informací získaných na základě nedestruktivních a semi-destruktivních zkoušek.

Současně platné dokumenty EN a ISO uvádějí pouze indikativní směrné hodnoty pravděpodobnosti poruchy bez zřetele ke kulturním hodnotám existující stavby. Proto se část metodiky věnuje vlivu kulturních hodnot stavby na směrnou úroveň spolehlivosti.

2 POSTUP HODNOCENÍ

2.1 Zásady hodnocení

Spolehlivost konstrukce industriální stavby se musí ověřit, jestliže:

- se navrhuje oprava s vlivem na odolnost nebo se významně zvyšuje zatížení, nebo modernizace,
- nastane neočekávané porušení nebo rychlá degradace konstrukce, která byla zjištěná například při prohlídce,
- se plánuje změna v účelu používání nebo je potřebné prodloužit životnost konstrukce,
- existuje pochybnost o spolehlivosti konstrukce, například po mimořádné události jako povodeň, požár nebo náraz.

Při hodnocení industriálních staveb se vychází z těchto tří zásad:

1. Ověřování spolehlivosti konstrukcí se provádí na základě platných norem. Normy platné v době, kdy byla konstrukce navržena, se použijí pouze jako podkladové materiály.

2. Uvažují se skutečné materiálové a geometrické vlastnosti, zatížení a také skutečné působení konstrukce. Původní návrhová dokumentace včetně výkresů se používá pouze jako podkladový materiál.
3. Při návrhu opatření je snaha o zachování celistvosti konstrukce a zachování charakteristických prvků; s ohledem na kulturní hodnotu (viz kapitola 8) se volí vhodná konstrukční opatření.

První zásada se uplatňuje, aby se dosáhlo obdobné úrovně spolehlivosti jako v případech nově navržených konstrukcí. Druhá zásada by měla zamezit zanedbání jakékoli konstrukční podmínky, která může (příznivě, nebo nepříznivě) ovlivnit spolehlivost konstrukcí. Proto se musí provést vizuální prohlídka hodnocené konstrukce. Třetí zásada zdůrazňuje snahu o zachování industriální stavby včetně jejích charakteristických prvků (viz kapitola 8).

Při hodnocení spolehlivosti existující konstrukce se zpravidla neprovádí hodnocení částí, které nejsou ovlivněny konstrukčními změnami, jejich obnovou, opravou, nebo změnou v užívání, nejsou viditelně poškozeny, nebo se u nich neočekává nedostatečná spolehlivost. Pokud předběžné hodnocení ukáže, že je konstrukce spolehlivá pro účel jejího používání po dobu zbytkové životnosti, tak se nepožaduje podrobné hodnocení. Naopak v případě pochybností o spolehlivosti konstrukce mohou být nezbytná okamžitá opatření a podrobné hodnocení.

Je důležité uvažovat, že industriální stavby mají svou vlastní kulturní hodnotu a je potřebné je chránit. Během každého konstrukčního opatření se má proto dodržovat celistvost existující konstrukce. Příliš pečlivý přístup může vést ke zbytečným konstrukčním opatřením a ke ztrátám nebo k závažným změnám charakteristických prvků stavby s kulturní hodnotou. Nadměrná konstrukční opatření mohou vést ke zbytečným nákladům, ztížit realizovatelnost projektu obnovy a případně ohrozit samotnou existenci stavby.

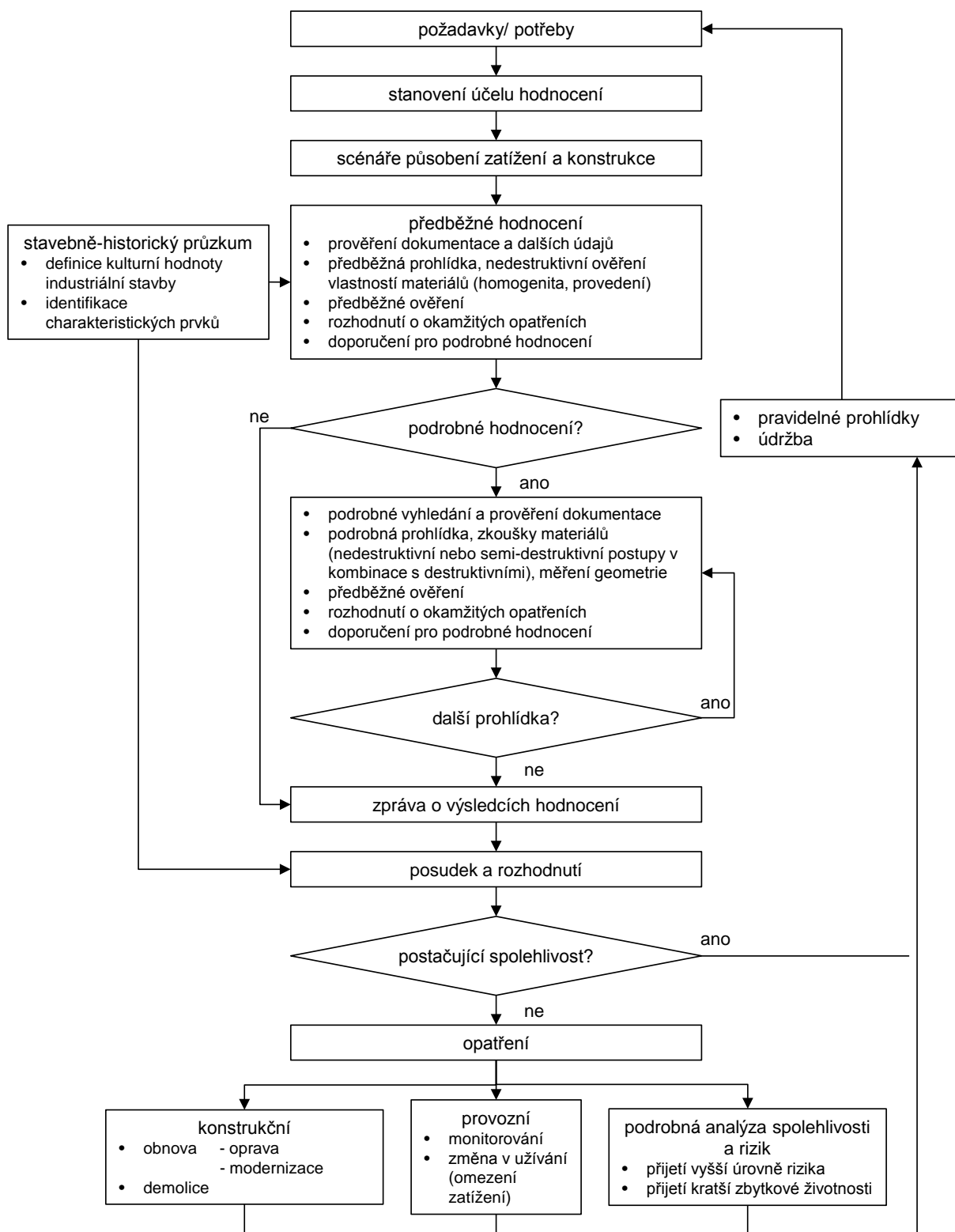
Hodnocení konstrukcí staveb s kulturně historickou hodnotou se obvykle provádí ve spolupráci multidisciplinárního týmu, který zahrnuje příslušné specialisty jako inženýry (statiky, geotechniky atd.), architekty, památkáře, specialisty na použité materiály a podle potřeby další odborníky. Statik zpracovává příslušnou zprávu o hodnocení konstrukce. Výsledky této zprávy a její dopady se pak projednávají a diskutují v týmu tak, aby se dosáhlo shody o navržených opatřeních.

Postup hodnocení závisí na jeho účelu a na specifických okolnostech (např. na dostupnosti projektové dokumentace, na zjištěných škodách, na způsobu využívání konstrukce, kulturní hodnotě stavby atd.). Před zahájením hodnocení se vždy doporučuje prohlídka konstrukce. Hodnocení se provádí s ohledem na současný stav konstrukce a postupuje se podle obr. 2.1. Další informace o etapách procesu hodnocení jsou uvedeny v ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038.

2.2 Mezní stavy

Pro zjednodušení hodnocení existujících konstrukcí včetně industriálních staveb se rozlišují dva základní typy mezních stavů:

- mezní stavy únosnosti;
- mezní stavy použitelnosti.



Obr. 2.1 Vývojový diagram obecného postupu hodnocení konstrukcí industriálních staveb (podle přílohy B ČSN ISO 13822, rozšířeno)

Mezní stavy únosnosti jsou spojeny se zřícením nebo jinými obdobnými způsoby selhání konstrukce. Mezní stavy použitelnosti odpovídají podmínkám, ve kterých se konstrukce běžně používá (hledisko průhybů, kmitání, trhlin atd.). Projekt modernizace by měl obecně zaručovat dostatečnou trvanlivost a spolehlivost z hlediska únosnosti i použitelnosti.

Při ověřování spolehlivosti se má uvažovat, že povaha mezních stavů únosnosti je zásadně odlišná od mezních stavů použitelnosti. Hlavní důvody tohoto rozlišení jsou:

- Překročení mezního stavu únosnosti vede zpravidla k celkové ztrátě celistvosti konstrukce a k jejímu následnému významnému porušení, kolapsu či k nutnosti zásadní opravy, zatímco překročení mezních stavů použitelnosti obvykle nevyvolává tak závažné následky. Po odstranění zatížení, která způsobila překročení mezních stavů použitelnosti, může být stavba obvykle opět používána.
- Zatímco kritéria mezního stavu únosnosti zahrnují pouze charakteristiky konstrukce a příslušná zatížení, kritéria mezních stavů použitelnosti závisí také na požadavcích zákazníků a uživatelů (někdy velmi subjektivních) a také na charakteristikách instalovaného zařízení a/ nebo nenosných prvků.

Rozdílnosti mezi mezními stavy únosnosti a použitelnosti vedou k oddělenému vyjádření podmínek spolehlivosti a také k rozdílným úrovním spolehlivosti uvažovaným pro ověřování obou typů mezních stavů. Ověření jednoho či obou mezních stavů lze vynechat v případě, že jsou k dispozici dostatečné informace o tom, že splněním požadavků jednoho mezního stavu jsou již také splněny požadavky druhého mezního stavu. Například u železobetonového nosníku, který vyhovuje meznímu stavu únosnosti, se nemusí ověřovat průhyb za předpokladu, že jsou splněny požadavky podle ČSN EN 1992-1-1, čl. 7.4.2.

2.3 Hodnocení na základě dřívější uspokojivé způsobilosti

Podle ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038 lze konstrukce navržené a provedené podle dříve platných norem, nebo když nebyly použity normy, navržené a provedené na základě osvědčených stavebních postupů, považovat za bezpečné a provozuschopné pro všechna zatížení kromě mimořádných (včetně seizmických) za předpokladu, že:

- pečlivá prohlídka neodhalí žádné známky významného poškození, přetížení nebo degradace indikované například trvalými deformacemi;
- se přezkoumá konstrukční systém včetně kritických detailů; přezkoumání zahrnuje prověření přenosu zatížení, kritických detailů, stavu a působení konstrukce, ověřovací výpočty přitom nemusí být nutné;
- konstrukce vykazuje uspokojivou způsobilost v průběhu dostatečně dlouhého časového období, ve kterém došlo v důsledku užívání a účinků prostředí k výskytu extrémně nepříznivých zatížení;
- predikovaná degradace s uvážením současného stavu a plánované údržby nemá vliv na trvanlivost; a
- po další plánovanou životnost konstrukce nenastanou změny, které by mohly významně zvýšit zatížení působící na konstrukci nebo ovlivnit její trvanlivost, a žádné takové změny nejsou očekávány.

Pokud je z prověření konstrukce zřejmé, že se nejedná o staticky závažnou poruchu, která vyžaduje podrobnou analýzu konstrukce, pak lze provést její opravu (například krycí vrstvy betonu, mechanického poškození, výrobních vad) a konstrukci považovat za bezpečnou a provozuschopnou.

2.4 Metody ověřování spolehlivosti

Při ověřování spolehlivosti existujících konstrukcí se mají použít takové metody, aby se dosáhlo dostatečné přesnosti ověřování. Použijí se lineární, nebo nelineární metody, výstižné výpočetní modely a vhodné modely základních veličin. Zásady jsou uvedeny v ČSN EN 1990 a ČSN ISO 2394.

Obvykle se používají lineární metody v kombinaci s metodou dílčích součinitelů, která je základní metodou ověřování konstrukcí podle ČSN EN 1990. Charakteristické hodnoty základních veličin a dílčí součinitele lze aktualizovat na základě nových informací o industriální stavbě, popř. znalostí o zatíženích, která na konstrukci v minulosti působila nebo dosud působí, pokyny jsou uvedeny v ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038. Lze také použít nelineární přístup a stanovit globální součinitele spolehlivosti; základní postupy jsou uvedeny v ČSN EN 1990 a materiálově zaměřených ČSN EN (Eurokódech).

Nejpřesnější, avšak obvykle také nejnáročnější řešení na znalosti o existující konstrukci jsou pravděpodobnostní metody teorie spolehlivosti, jejichž zásady jsou uvedeny v ČSN EN 1990, ČSN ISO 13822 a ČSN ISO 2394. Podrobnější informace jsou dále uvedeny ve skriptech [Holický 2005], v technických zprávách evropské výzkumné organizace Joint Research Centre (JRC) a v dalších odborných publikacích.

2.5 Metoda dílčích součinitelů

Základní metodou pro ověřování spolehlivosti existujících konstrukcí, navrhování jejich zesilování nebo modernizací je stejně jako u nových konstrukcí metoda dílčích součinitelů. Tato metoda se proto v obvyklých případech použije pro ověření existující konstrukce ve všech návrhových situacích a pro všechny mezní stavy. Ve výpočetních modelech se uvažují příslušné návrhové hodnoty základních veličin pro zatížení, materiálové a geometrické vlastnosti. Návrhové hodnoty se stanoví z charakteristických hodnot a dílčích součinitelů.

Pro ověření konstrukce se určí příslušné návrhové situace a mezní stavy a pro rozhodující zatěžovací stavy se uvaží v kombinacích jednotlivé typy zatížení. Důležitým pravidlem je, že zatížení, která se nemohou vyskytovat současně, například z fyzikálních důvodů, se neuvažují společně v jedné kombinaci.

Ověření vychází z podmínky spolehlivosti pro návrhové hodnoty základních veličin, které byly zjištěny ze stavebně-technického průzkumu a na základě skutečných charakteristik materiálů konstrukce, její odolnosti a působících zatížení:

$$g(F_d, f_d, a_d, \theta_d, C) \geq 0 \quad (2.1)$$

kde g označuje funkci mezního stavu, F_d návrhovou hodnotu zatížení, f_d návrhovou hodnotu materiálových vlastností, a_d návrhovou hodnotu geometrických veličin, θ_d návrhovou hodnotu modelových nejistot a C je limitní hodnota pro mezní stav použitelnosti.

Pokud lze v běžných případech pro analýzu spolehlivosti konstrukce oddělit účinky zatížení E a odolnost konstrukce R , pak lze zapsat pro spolehlivý stav konstrukce podmínku:

$$E \leq R \quad (2.2)$$

Ve většině případů jsou obě veličiny E a R náhodné a platnost podmínky (2.2) nelze zaručit absolutně. Z praktického i ekonomického hlediska se proto připouští, že s určitou malou pravděpodobností může dojít k překročení mezního stavu a nastane porucha. Pro jednoduchou podmínku bezpečného stavu konstrukce (2.2) lze pravděpodobnost poruchy zapsat ve tvaru:

$$p_f = P(E > R) \quad (2.3)$$

Náhodné účinky zatížení E a odolnost R lze popsat vhodným typem rozdělení pravděpodobností, tj. distribučními funkcemi zatížení $F_E(x)$, odolnosti $F_R(x)$ a odpovídajícími hustotami pravděpodobnosti $f_E(x)$ a $f_R(x)$, kde x označuje obecný bod sledované veličiny X (například napětí, síla, ohybový moment), prostřednictvím které jsou veličiny E a R vyjádřeny. Rozdělení veličin E a R jsou dále závislá na příslušných parametrech, především na jejich průměrech μ_E a μ_R a variačních koeficientech V_E a V_R [Sýkora, Marková a kol. 2015].

V souladu se zásadami ČSN EN 1990 se dílčí součinitele spolehlivosti γ_X u základní veličiny X s nepříznivým vlivem na pravděpodobnost poruchy p_f (a tedy s hodnotou součinitele citlivosti $\alpha_X < 0$, obvykle veličiny zatížení), stanoví ze vztahu:

$$\gamma_X = x_d / x_k \quad (2.4)$$

kde x_k značí charakteristickou hodnotu a x_d návrhovou hodnotu. U veličin s příznivým vlivem na p_f ($\alpha_X > 0$ – obvykle veličiny odolnosti) platí:

$$\gamma_X = x_k / x_d \quad (2.5)$$

Takto definované dílčí součinitele spolehlivosti γ_X jsou pro mezní stavy únosnosti zpravidla větší než 1.

Metoda dílčích součinitelů je základní metodou pro ověřování existujících konstrukcí, která je podrobně popsána v ČSN EN 1990 a doplněna o pokyny uvedené v ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038. Pro existující stavby je možné v případě znalosti informací o skutečném stavu konstrukcí zpřesnit charakteristické hodnoty základních veličin, nebo také upravit příslušné dílčí součinitele. V následujícím textu jsou uvedeny doplňující pokyny pro možnost úpravy dílčích součinitelů pro materiály a zatížení konstrukcí industriálních staveb. Pokud nejsou k dispozici dostatečné informace pro úpravu dílčích součinitelů s ohledem na skutečný stav konstrukce, použijí se hodnoty dílčích součinitelů uvedené v normách pro navrhování.

3 PRŮZKUM A ZKUŠEBNÍ METODY

3.1 Zásady

Informace o industriální stavbě zpravidla nejsou pro účely ověřování spolehlivosti dostatečné a je potřebné získat doplňující informace o:

- stavebně-technickém stavu stavby a její nosné konstrukci,
- aktuálních podmínkách konstrukce a jejím uspořádání,
- rozsahu památkově hodnotných částí stavby,
- vývoji stavby z hlediska úprav konstrukčního uspořádání a užití.

Teprve po získání všech potřebných a co možná nejúplnějších informací o objektu je možné odpovědně vyhodnotit jeho celkový stav i stav jeho dílčích částí či prvků. Kvalita projektového řešení je u často složitých, komplexních a před započítáním projektování nedokonalě známých objektů jako industriální stavby závislá na získání dostatečného množství informací o objektu. K tomuto účelu slouží řada standardizovaných metod pro zaměřování, dokumentaci a průzkumy památek.

Projekt obnovy konstrukcí s kulturní hodnotou, jako jsou některé industriální stavby, je tedy závislý na výsledcích průzkumů, které jsou často časově náročné a které bývají vzájemně

závislé (výsledky jednoho průzkumu ovlivňují postup jiného průzkumu). Koordinace průzkumů a návrhu obnovy proto patří k organizačně nejnáročnější součásti při přípravě obnovy industriální stavby. Doporučuje se, aby se projektant podílel na zadání průzkumů.

Průzkumy industriálních staveb se dělí do následujících základních skupin:

- průzkumy diagnostické analyzující stavebně-technický stav, míru poškození, případně možná ohrožení stavby (základní stavebně-technický průzkum a speciální průzkumy – biotické napadení, vlhkostní zasažení, vliv klimatických poměrů, geologický, hydrogeologický atd.),
- průzkumy stavebně-historické analyzující strukturu stavby a její vývoj,
- méně častěji pak průzkumy restaurátorské, analyzující umělecká a uměleckořemeslná díla, případně takové vrstvy stavby, jejichž ošetření má být provedeno restaurátorskými technikami (historické omítky, hodnotné dřevěné konstrukce apod.).

U stavebně-technických průzkumů se doporučuje ve fázi předběžného hodnocení ověřit nedestruktivními nebo semi-destruktivními postupy homogenitu konstrukčního materiálu ve sledované konstrukci. Podrobné hodnocení pak má vycházet ze stanovení materiálových vlastností na základě:

- destruktivních zkoušek nebo
- nedestruktivních nebo semi-destruktivních zkoušek kalibrovaných prostřednictvím destruktivních zkoušek (viz také obr. 2.1).

3.2 Odběry vzorků

Při odběru vzorků z památkově hodnotných částí konstrukce je cílem její co nejmenší poškození. Pokud nelze vzorky odebrat samostatně, dochází k jejich odběru až v průběhu obnovy daného objektu. Odběr vzorků pro chemicko-technologický průzkum většinou provádějí zkušení pracovníci s pomocí chemika-technologa. Odběr vzorků je cílený podle toho, k jakému účelu bude průzkum prováděn.

Základní podmínkou odběru je precizní popis vzorku kvalitativním popisem a souřadnicemi, nebo vyznačením místa odběru na fotografii stavby nebo v plánu. Výběru místa odběru by měla být věnována řádná péče s ohledem na čtyři základní požadavky:

1. odběr v konzistenci a velikosti nutné pro plánovanou analýzu,
2. odběr v minimálním množství z počtu míst nezbytných pro statistickou analýzu,
3. odběr vzorků charakterizujících svými vlastnostmi sledovanou konstrukci nebo její část tak, aby bylo možné rozhodnout o homogenitě konstrukčního materiálu,
4. odběr vzorků s ohledem na minimální poškození částí konstrukce s kulturní hodnotou.

Uložení vzorků (pro následnou archivaci) by mělo splňovat tyto požadavky:

- uložení ve tmě,
- uložení ve vhodné atmosféře,
- přesné popsání.

Předání vzorků analytické laboratoři má být doprovázené předávacím protokolem s následujícími doporučenými údaji: popis a historie stavby, cíl požadované analýzy, kdo a kdy odebral vzorky a popis označení. Charakteristiky nejpoužívanějších analytických metod jsou uvedeny v publikaci [Sýkora, Marková a kol. 2015].

4 STANOVENÍ ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

4.1 Úvod

Při stanovení zatížení a účinků zatížení na konstrukce industriálních staveb se vychází ze zásad ČSN ISO 13822, ČSN 73 0038 a norem pro navrhování, které zahrnují ČSN EN 1990 pro zásady navrhování, ČSN EN 1991 pro zatížení, ČSN EN 1997 pro geotechnická zatížení a ČSN EN 1998 pro seizmická zatížení. Zatížení námrazou jsou uvedena v ČSN ISO 12494, zatížení vlivem prostředí v ČSN ISO 13823 a doplňující národní pokyny v ČSN 73 0043.

Při určování působících zatížení se musí uvážit skutečné provedení a stav konstrukce i její zamýšlené změny podle plánu bezpečnostních opatření a plánu využití. Zatížení, která v minulosti působila nebo působí na industriální stavbu, se stanovují šetřením na místě, pokud:

1. je podezření, že na konstrukci působí jiná zatížení, než se původně předpokládalo, nebo
2. se nepříznivě změnila hodnoty zatížení v průběhu používání konstrukce, nebo
3. se vyskytují na konstrukci poruchy, za jejichž příčinu lze považovat odchylky zatížení od původně očekávaných druhů a hodnot,
4. není k dispozici původní dokumentace, nebo z ní nelze spolehlivě určit druh, uspořádání a velikost působících zatížení.

Přihlíží se k druhu konstrukce, jejímu využívání a vlivům prostředí. Zatížení, která v minulosti působila na industriální stavbu, se stanovují:

- rozbořem zatížení a zatěžovacích stavů, které se v minulosti vyskytovaly,
- na základě norem a předpisů, podle nichž byla konstrukce navržena.

Pokud nenastane ani jedna z výše uvedených situací 1 až 4, je přípustné stanovit druh, uspořádání a velikost působících zatížení z původní dokumentace.

Při návrhu změn konstrukce nebo její části se uvažují zatížení podle platných norem. U existujících částí konstrukce se postupuje především podle ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038, zatímco u nově navrhovaných částí konstrukce se postupuje podle ČSN EN (Eurokódů).

Při ověřování konstrukcí z hlediska jejich životnosti a při působení nepříznivých účinků prostředí se postupuje podle ČSN ISO 13823 a ČSN 73 0043. Prostor konstrukce zahrnuje vlivy ovzduší, deště, znečišťujících látek, teplot, živých organismů nebo slunečního záření, které mohou ovlivnit trvanlivost částí konstrukce. Tyto vlivy mohou působit vně (ovzduší, půda, voda) nebo uvnitř (ovzduší, chemické látky) konstrukce a mohou být na základě různých mechanismů přenášeny do konstrukce [Sýkora, Marková a kol. 2015].

4.2 Charakteristické hodnoty

4.2.1 Stálá zatížení

V obvyklých případech lze charakteristické hodnoty stálých zatížení stanovit na základě nominálních rozměrů a průměrných hodnot objemových tíh. Pokud je variabilita stálých zatížení větší, pak je potřebné stanovit horní a dolní charakteristické hodnoty.

Předpětí se klasifikuje jako stálé zatížení, které je způsobeno záměrně vnesenými silami (například předpínací kabely) nebo deformacemi (popuštění podpor). Pro analýzu

spolehlivosti předpjaté konstrukce je potřebné provést odhad skutečných účinků předpětí. U existujících předpjatých konstrukcí je potřebné uvážit nejistoty při stanovení skutečně působícího předpětí.

Charakteristickou hodnotu stálého zatížení je možné stanovit na základě n měření (například součin naměřené objemové tíhy a tloušťky vrstvy) G_1, G_2, \dots, G_n , ze kterých se určí průměr, směrodatná odchylka a charakteristická hodnota stálého zatížení podle vztahů:

$$\mu_G = \frac{\sum G_i}{n}; \quad \sigma_G^2 = \frac{\sum (G_i - m_G)^2}{n-1}; \quad G_k = \mu_G \pm k_{n,G} \sigma_G \quad (4.1)$$

kde μ_G je průměr stálého zatížení, σ_G směrodatná odchylka, $k_{n,G}$ součinitel pro stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení, n počet vzorků a G_k charakteristická hodnota stálého zatížení. Součinitel $k_{n,G}$, který závisí na počtu odebraných vzorků, je uveden v tab. 4.1. Ve vztahu (4.1) pro G_k se uvažuje znaménko "plus", působí-li stálé zatížení nepříznivě, a znaménko "minus", působí-li příznivě. Takto stanovená hodnota odpovídá odhadu průměrné hodnoty s konfidencí 90% (tj. skutečná hodnota průměru bude s pravděpodobností 90 % nabývat příznivější hodnoty).

Doporučuje se odebrat alespoň 5 vzorků. Při menším počtu vzorků se má stanovená směrodatná odchylka σ_G porovnat s předchozími výsledky. V těchto případech však většinou nelze přímo použít statistické hodnocení a je možné uvažovat, že charakteristická hodnota musí být při nepříznivém účinku stálého zatížení nejméně rovna nejvyšší zjištěné hodnotě (při příznivém účinku stálého zatížení nejvýše rovna nejmenší zjištěné hodnotě).

Tab. 4.1 Součinitel $k_{n,G}$ pro stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení v závislosti na počtu pozorování n (odhad průměrné hodnoty s 90% konfidencí)

Počet vzorků n	Součinitel $k_{n,G}$	Počet vzorků n	Součinitel $k_{n,G}$
5	0,69	15	0,35
6	0,60	20	0,30
7	0,54	25	0,26
8	0,50	30	0,24
9	0,47	40	0,21
12	0,39	> 50	0,18

Pro mezilehlé hodnoty počtu vzorků se součinitel $k_{n,G}$ stanoví lineární interpolací. Součinitel $k_{n,G}$ je určen za předpokladu normálního rozdělení stálého zatížení.

4.2.2 Proměnná zatížení

Užitná zatížení. Charakteristické hodnoty užitných zatížení v budovách se stanoví podle ČSN EN 1991-1-1. Lze je upřesnit na základě plánu využití. Ve výrobních a skladovacích prostorách budov a také v místnostech budov, kde je provoz se zařízeními nebo kde je skladován materiál, se užitné zatížení určuje podle projektu. Pokud je v některých prostorách velikost užitného zatížení omezena a hrozí přetížení, uvede se maximální hodnota užitného zatížení zřetelně například výstražnou signalizací nebo vyznačením na tabuli. Obdobně se postupuje při potřebě omezit zatížitelnost silničních mostů, viz ČSN 73 6222.

Klimatická zatížení. Charakteristické hodnoty klimatických zatížení (vítr, sníh, teplota, případně i námraza) se stanoví podle příslušných částí ČSN EN 1991-1. Pokud je účelné

provést podrobnější analýzu a zpřesnit charakteristické hodnoty s ohledem na lokální klimatické podmínky, lze použít postup pro stanovení charakteristických hodnot podle kapitoly 10 ČSN 73 0038.

Charakteristická hodnota klimatického zatížení se stanoví podle ČSN EN 1990 tak, aby pravděpodobnost jejího překročení v průběhu referenční doby jednoho roku byla $p = 0,02$, tj. odpovídá střední době návratu 50 let. V některých případech, jako jsou například dočasné etapy provádění, může být v závislosti na charakteru zatížení nebo zvolené návrhové situaci vhodnější jiná pravděpodobnost p (jiná doba návratu). V těchto případech se postupuje podle ČSN EN 1991-1-6.

4.3 Dílčí součinitele

4.3.1 Stálá zatížení

Návrhová hodnota stálého zatížení G_d se obvykle stanoví za předpokladu normálního rozdělení:

$$G_d = \mu_G - \alpha_G \beta \sigma_G = \mu_G + 0,7 \beta \sigma_G = \mu_G (1 + 0,7 \beta V_G) \quad (4.2)$$

kde μ_G značí průměr, α_G součinitel citlivosti, V_G variační koeficient a σ_G směrodatnou odchylku stálého zatížení. Pro stálé zatížení uvažované jako zatížení hlavní je součinitel citlivosti $\alpha_G = -0,7$.

Pro $G_k = \mu_G$ se dílčí součinitel γ_G stálého zatížení určí z poměru návrhové (4.2) a charakteristické hodnoty (4.1):

$$\gamma_G = G_d / G_k = \mu_G (1 - \alpha_G \beta V_G) / \mu_G = 1 - \alpha_G \beta V_G \quad (4.3)$$

kde variační koeficient stálého zatížení V_G se stanoví na základě výsledků zkoušek z podrobné prohlídky konstrukce s uvážením modelových nejistot.

Příklad. Pokud se:

- z měření na konstrukci stanoví variační koeficient $V_G = 0,05$,
 - uvažuje se stálé zatížení jako hlavní (podle vztahů (6.10) nebo (6.10a) v ČSN EN 1990; součinitel citlivosti $\alpha_G = -0,7$) a
 - přijme se směrná hodnota indexu spolehlivosti $\beta = 3,8$ (viz kapitola 8),
- pak se stanoví dílčí součinitel stálého zatížení na základě vztahu (4.3) jako:

$$\gamma_G = 1 - \alpha_G \beta V_G = 1 + 0,7 \times 3,8 \times 0,05 \approx 1,15$$

Pro vlastní tíhu se doporučuje uvažovat dílčí součinitel γ_G hodnotou alespoň $\gamma_G = 1,15$ pro $\beta = 3,8$. Nižší hodnotu je potřebné odůvodnit podrobnou analýzou. Pokud se uvažuje, že stálé zatížení je vedlejší zatížení (součinitel citlivosti $\alpha_G = -0,28$ podle ČSN ISO 13822), viz vztah (6.10b) pro základní kombinaci zatížení podle ČSN EN 1990, a variační koeficient je $V_G = 0,05$, pak se stanoví dílčí součinitel pro stálé zatížení jako:

$$\gamma_G = 1 + 0,28 \times 3,8 \times 0,05 = 1,05$$

kde je již zahrnuta redukce součinitelem $\xi = 0,85$, a tedy se již ve výrazu (6.10b) redukce tímto součinitelem neuplatňuje.

V hodnotě dílčího součinitele stálého zatížení doporučeného v Eurokódech se ještě uvažuje součinitel modelových nejistot ($\gamma_{Sd} \approx 1,05$). Pokud je u konkrétní konstrukce k dispozici dostatek údajů, pak lze dílčí součinitel pro vedlejší zatížení uvažovat roven 1,0. U staticky komplikovaných systémů, jako jsou rámové a deskové konstrukce, se doporučuje součinitel $\gamma_{Sd} \approx 1,05$ uvažovat vždy.

4.3.2 Proměnná zatížení

V obvyklých případech nejsou kromě informací v platných normách k dispozici měření týkající se proměnných zatížení. Proto se předpokládá, že dílčí součinitele se převezmou z ČSN EN 1990, případně se přihledne k doplňkovým informacím v ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038 ohledně směrných úrovní spolehlivosti a případů, kdy se uvažuje redukováná zbytková životnost (viz také oddíl 4.3.3 této metodiky).

Pokud je to možné, mají se dílčí součinitele pro proměnná zatížení aktualizovat s ohledem na konkrétní podmínky industriální stavby (především na požadovanou úroveň spolehlivosti a zbytkovou životnost). Návod pro takovouto aktualizaci pro klimatická zatížení a zatížení dopravou poskytuje kapitola 10 ČSN 73 0038 a [Sýkora, Marková a kol. 2015]. Doplňující informace o pravděpodobnostních modelech a charakteristikách jsou uvedeny v příručce pro pravděpodobnostní modelování [JCSS, 2015].

Pokud jsou charakteristické hodnoty užitných zatížení dobře specifikovány, například provozem konkrétních vysokozdvizných vozíků nebo skladováním kontejnerů s konkrétním rozmístěním a obsahem, pak lze zmenšenou variabilitu užitných zatížení uvážit v dílčích součinitelích těchto užitných zatížení (např. v původní ČSN 73 0035 se uvažoval dílčí součinitel pro vysokozdvizné vozíky hodnotou 1,2, bylo však potřebné uvážit možné dynamické účinky těchto vozíků na nosné konstrukce).

4.3.3 Dílčí součinitele pro omezenou životnost

Pokud se nepoužijí přesnější postupy pro stanovení dílčích součinitelů zatížení podle předchozího textu, lze pro ověřování konstrukcí industriálních staveb s ohledem na mezní stav únosnosti použít hodnoty dílčích součinitelů podle tab. 4.2 při splnění všech následujících podmínek:

- předpokládá se omezená zbytková životnost stavby do 20 let,
- nejsou přítomny statické poruchy závažného charakteru,
- charakteristické hodnoty stálých zatížení se ověří při diagnostickém průzkumu.

Tab. 4.2 Dílčí součinitele zatížení pro omezenou životnost

Třída následků	Vlastní tíha*	Ostatní stálá zatížení	Vítr, sníh	Ostatní proměnná zatížení
CC3	1,2	1,3	1,5	1,4
CC2	1,15	1,2	1,4	1,3
CC1	1,1	1,1	1,3	1,2

*Předpokládá se variační koeficient do 10 %.

Poznamenává se, že v ČSN 73 0038 se uvádějí dílčí součinitele pro omezenou životnost staveb až v kapitole 10 pro mosty, je však možné tyto hodnoty použít i při ověřování konstrukcí dalších typů staveb.

Pokud se použije základní kombinace zatížení (6.10a, 6.10b) podle ČSN EN 1990, pak se již redukce stálých zatížení součinitelem ξ ve vztahu (6.10b) neprovádí.

5 STANOVENÍ MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ

5.1 Úvod

Při stanovení materiálových vlastností se vychází ze zásad ČSN ISO 13822, ČSN 73 0038 a Eurokódů pro navrhování, a to především ČSN EN 1990. Přitom se musí uvážit skutečné provedení a stav konstrukce a její zamýšlené změny podle plánu bezpečnostních opatření a plánu využití. Materiálové vlastnosti se zpravidla zjišťují průzkumem na konstrukci. Původní dokumentace slouží pouze jako podklad pro orientační posouzení nebo pro stanovení hodnot méně významných základních veličin.

Při návrhu změn konstrukce nebo její části se uvažují vlastnosti nových materiálů podle platných norem. U existujících částí konstrukce se postupuje především podle ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038, zatímco u nově navrhovaných částí konstrukce se postupuje podle ČSN EN (Eurokódů). Při ověřování konstrukcí z hlediska jejich životnosti a trvanlivosti se postupuje podle ČSN ISO 13823.

Pokud je potřebné ověřit materiálové vlastnosti u existujících konstrukcí, provádějí se zejména nedestruktivní nebo semi-destruktivní zkoušky, které se při podrobném hodnocení konstrukce (obr. 2.1) kalibrují na základě destruktivních zkoušek.

5.2 Nejistoty měření a interpretace výsledků

Pokud je destruktivní zkoušení komplikované, není možné zkoušené těleso porušit nebo nelze odebrat vzorky pro destruktivní zkoušky, získávají se informace o materiálových vlastnostech nedestruktivními nebo semi-destruktivními zkouškami. Výsledkem těchto zkoušek je ukazatel nedestruktivního měření β_e , kterým může být:

- velikost vtisku při vniku indentoru dané velikosti a tvaru předepsanou silou nebo energií,
- velikost odskoku beranu vrženého na povrch konstrukce předepsanou energií,
- počet normových úderů potřebných pro zatlačení indentoru do určité hloubky,
- hloubka vrtu vytvořeného předepsaným vrtákem daným počtem otáček a předepsaným přitlakem.

Pro hodnocení spolehlivosti konstrukcí industriálních staveb je potřebné převést ukazatel β_e na pevnost materiálu X . Univerzální obecný kalibrační vztah mezi β_e a X na řadě veličin a nelze jej obecně stanovit, proto se doporučuje kombinace nedestruktivních nebo semi-destruktivních metod s destruktivními zkouškami.

ČSN 73 1370 uvádí všeobecná pravidla pro nedestruktivní zkoušky a ČSN 73 1373 detailní pravidla včetně kalibračních vztahů pro Schmidtův tvrdoměr. Tyto normy rozlišují následující kalibrační vztahy:

- *obecný kalibrační vztah* odvozený pro materiály různého složení z více než 300 zkoušek, je obvykle poskytnut výrobcem nebo je uveden v normách,
- *směrný kalibrační vztah* odvozený pro materiály obvyklé pro daný ukazatel vlastnosti (například betony pevnostních tříd do C50/60) z nejméně 100 zkoušek,

- *určující kalibrační vztah* odvozený ze záměrně vyrobených zkušebních těles z materiálu ze stejného složení jako v konstrukci a zhotovených stejnou technologií, ale pro různé hodnoty ukazatele vlastnosti.

Dále se rozlišují dva druhy nedestruktivních zkoušek:

- zkouška s nezaručenou přesností, vyhodnocená podle obecného nebo směrného kalibračního vztahu,
- upřesněná zkouška, vyhodnocená podle určujícího kalibračního vztahu nebo podle směrného, resp. obecného, kalibračního vztahu, který je upřesněn součinitelem α .

Upřesněný kalibrační vztah je získán z obecného přenásobením součinitelem α , který se získá podle výrazu:

$$\alpha = \sum X_i / \sum \beta_{ei} \quad (5.1)$$

kde X_i je pevnost zjištěná normovou zkouškou (destruktivně) a β_{ei} je ukazatel vlastnosti zjištěný nedestruktivní metodou ze směrného, obecného, nebo kalibračního vztahu.

Kvalita hodnocení materiálových vlastností na základě nedestruktivních nebo semi-destruktivních zkoušek závisí na následujících vlivech [Breysse 2012, Breysse a Martínez-Fernández 2014]:

- Počet vzorků využitých pro kalibraci převodního vztahu a rozsah hodnot sledované vlastnosti,
- Kvalita a homogenost měření pro zpřesnění kalibračního vztahu a pro stanovení materiálové vlastnosti,
- Vhodnost převodního vztahu (často se volí mezi lineárními, polynomickými nebo exponenciálními modely),
- Existence nekontrolovaného vlivu, který může ovlivnit výsledek měření, např. vliv karbonatice betonu na tvrdost povrchové vrstvy.

Na základě dlouhodobých zkušeností lze doporučit následující kroky pro snížení nejistot souvisejících s nedestruktivními a semi-destruktivními zkouškami:

- před a během měření je potřebné kvantifikovat chybu měření a zároveň ji co nejvíce snížit volbou vhodné metody a postupu provedení s ohledem na účel hodnocení konstrukce,
- pro stanovení pevnosti tvrdoměrnými metodami se doporučuje odebrat alespoň 6 jádrových vývrtů pro kalibraci nedestruktivních měření tak, aby:
 - nedošlo k oslabení kritických průřezů a zároveň
 - nebylo nutné extrapolovat mimo rozsah databáze použité pro kalibraci, tj. vývrtky mají být pořízeny v místech, kde nedestruktivní postup indikuje extrémní hodnoty materiálové vlastnosti; u nehomogenních materiálů lze vyšetřovat části konstrukce odděleně a použít odlišné kalibrační vztahy,
- význam nekontrolovaných vlivů lze omezit kombinací různých nedestruktivních metod, jejichž použití však musí být podloženo dobrými zkušenostmi a kalibrováno destruktivními postupy.

5.3 Stanovení charakteristické hodnoty na základě měření

Charakteristická hodnota X_k vlastnosti materiálu se definuje podle ČSN EN 1990 jako dolní 5% kvantil z příslušného pravděpodobnostního rozdělení. Obvykle se volí dvouparametrické lognormální rozdělení s počátkem v nule:

$$X_k = \mu_X \exp(-k_n V_X) \quad (5.2)$$

kde μ_X je průměr a V_X variační koeficient vlastnosti materiálu. k_n označuje koeficient odhadu 5% kvantilu normovaného normálního rozdělení podle tabulky D.1 v ČSN EN 1990. Pokud je vhodnější normální rozdělení, postupuje se podle přílohy D ČSN EN 1990. V některých případech je také potřebné stanovit 95% kvantil pravděpodobnostního rozdělení.

5.4 Stanovení dílčího součinitele

Návrhová hodnota odolnosti R_d se obvykle vyjadřuje vztahem podle ČSN EN 1990:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_{d,i}; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d\right\} \quad i \geq 1 \quad (5.3)$$

kde γ_{Rd} značí dílčí součinitel zahrnující nejistoty modelu odolnosti včetně geometrických odchylek a $X_{d,i}$ návrhovou hodnotu vlastnosti materiálu i .

Návrhová hodnota X_d vlastnosti materiálu se stanoví jako:

$$X_d \approx \mu_X \exp(-\alpha_R \beta V_X) \quad (5.4)$$

kde α_R je součinitel citlivosti ($\alpha_R = 0,8$ pro hlavní veličinu odolnosti podle ČSN EN 1990 a ČSN ISO 2394) a β směrná hodnota indexu spolehlivosti. Vztah (5.4) je zcela vyhovující pro $V_X < 0,2$, běžně jej však lze použít i pro větší V_X .

Dílčí součinitel pro vlastnosti materiálu γ_X se má určit na základě skutečné hodnoty variačního koeficientu této vlastnosti:

$$\gamma_X = \exp(-1,645 V_X) / \exp(-\alpha_X \beta V_X) \quad (5.5)$$

Ve většině případů je potřebné při stanovení návrhové hodnoty X_d a dílčího součinitele γ_X přihlídnout k variabilitě geometrických vlastností a modelovým nejistotám. Variační koeficient celkové odolnosti V_R se pak stanoví na základě dílčích variačních koeficientů jednotlivých veličin – V_X , V_{geo} pro geometrické vlastnosti a V_θ pro modelové nejistoty. Pokud se odolnost stanovuje na základě lineárního vztahu mezi základními veličinami ($R = \text{konstanta} \times \theta \times \text{Geo} \times X$), pak se určí variační koeficient V_R jako:

$$V_R = \sqrt{V_X^2 + V_{geo}^2 + V_\theta^2} \quad (5.6)$$

Informativní hodnoty variačních koeficientů pro materiály typické pro industriální stavby jsou uvedeny v tab. 5.1. U materiálových a geometrických vlastností se doporučuje variační koeficienty V_X a V_{geo} vždy stanovit z měření na vyšetřované konstrukci. Hodnoty v tab. 5.1 lze použít při orientačním posouzení.

Tab. 5.1 Informativní hodnoty variačních koeficientů pro materiály typické pro industriální stavby

Materiál	V_x	V_{geo}	V_θ	V_R podle (5.6)
Beton	0,15	0,05	0,05	0,166
Betonářská výztuž	0,05	0,05	0,05	0,087
Konstrukční ocel	0,01 - 0,05	0,01 - 0,05	0,03 - 0,05	0,033 - 0,087
Litina	0,10 - 0,15	0,05 - 0,10	0,05 - 0,10	0,12 - 0,21
Dřevo	0,15 - 0,20	0,05 - 0,10	0,05 - 0,10	0,26 - 0,29

Příklad. Pro průměrné hodnoty variačních koeficientů z tab. 5.1 je možno určit dílčí součinitel konstrukční oceli ze vztahu (5.5):

$$\gamma_{M,i} = \exp(-1,645 V_{xi}) / \exp(-\alpha_R \beta V_R) = \exp(-1,645 \times 0,125) / \exp(-0,8 \times 3,8 \times 0,165) = 1,35$$

Pokud je k dispozici omezený počet zkoušek a měření (přibližně $n < 10$), stanoví se charakteristické hodnoty materiálových a geometrických vlastností na základě zkoušek a použijí se doporučené hodnoty dílčích součinitelů uvedené v ČSN EN (Eurokódech). U ocelových a litinových konstrukcí se doporučuje odvodit dílčí součinitel vždy na základě zkoušek; použití $\gamma_M = 1,0$ v kombinaci s charakteristickou hodnotou stanovenou na základě zkoušek jako 5% dolní kvantil může vést k nadhodnocení návrhové hodnoty. Doplňující informace o pravděpodobnostních modelech a charakteristikách jsou uvedeny v příručce pro pravděpodobnostní modelování [JCSS, 2015].

6 GEOMETRIE KONSTRUKCE

6.1 Požadavky Eurokódů a ČSN ISO 13822

Nedílnou součástí hodnocení spolehlivosti konstrukcí industriálních staveb je ověření geometrických parametrů konstrukce. Základní požadavky na stanovení geometrických rozměrů uvádí ČSN EN 1990:

- geometrické údaje se musí vyjádřit charakteristickými hodnotami, nebo (např. imperfekce) přímo svými návrhovými hodnotami,
- rozměry stanovené v návrhu se mohou brát jako charakteristické hodnoty,
- pokud jsou známé dostatečné informace o jejich statistickém rozdělení, mohou se použít hodnoty geometrických veličin, které odpovídají kvantilu statistického rozdělení předepsanému pro vedlejší veličinu odolnosti (tab. 6.1); u stálých zatížení se postupuje podle oddílu 4.2.1,
- tolerance pro spojované části vyrobené z různých materiálů si musí navzájem odpovídat.

V Eurokódech pro zatížení a materiály - ČSN EN 1991 až ČSN EN 1999 – se uvádějí další ustanovení týkající se geometrických rozměrů. Dovolené tolerance jsou definovány v příslušných normách pro provádění, na které odkazují ČSN EN 1990 až ČSN EN 1999.

6.2 Návrhová hodnota

Návrhová hodnota a_d geometrického údaje, jakým jsou vnitřní nebo vnější rozměry prvků pro posouzení účinků zatížení nebo odolností, může být vyjádřena nominální hodnotou a_{nom} , tj. $a_d = a_{nom}$. Pokud mají odchylky geometrických údajů významný vliv na spolehlivost

konstrukce (např. proměnlivá tloušťka dutých litinových sloupů), stanoví se návrhová hodnota na základě měření ze vztahu:

$$a_d = \mu_a(1 \pm \alpha_R \beta V_a) = \mu_a(1 \pm k_n V_a) \quad (6.1)$$

kde μ_a a V_a označují průměr a variační koeficient geometrické veličiny, α_R součinitel citlivosti a β je směrná hodnota indexu spolehlivosti (viz kapitola 8). Pro vedlejší veličinu odolnosti lze podle ČSN ISO 13822, ČSN 73 0038 a ČSN ISO 2394 součinitel α_R odhadnout hodnotou 0,32. Koeficient k_n je uveden v tab. 6.1.

Tab. 6.1 Koeficient k_n v závislosti na počtu pozorování n pro vedlejší veličinu odolnosti - $p = \Phi(\alpha_R\beta) = \Phi(0,32 \times 3,8) = 0,11$

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x známý	1,72	1,49	1,40	1,36	1,33	1,31	1,29	1,28	1,25	1,24	1,22
V_x neznámý	-	3,34	2,01	1,71	1,57	1,50	1,41	1,37	1,29	1,26	1,22

Veličiny geometrie mohou mít dominantní vliv na spolehlivost a mohou být hlavními veličinami odolnosti. Příkladem může být tloušťka litinového sloupu, jejíž variabilita může být významnější než variabilita pevnosti litiny. V takovýchto případech je potřebné volit koeficient k_n podle tabulky D.2 v příloze D ČSN EN 1990 pro $\alpha_R = 0,8$ a $\beta = 3,8$. V případě pochybností, zda je například hlavní veličinou odolnosti pevnost, nebo geometrická veličina, je možné porovnat alternativy, kdy je jedna veličina hlavní a druhá vedlejší. Konzervativně je pak možné pro obě veličiny uvažovat $\alpha_R = 0,8$.

7 ANALÝZA KONSTRUKCE

Podkladem pro ověření konstrukce jsou prohlídky a případně diagnostický průzkum, při kterých se zjistí stav konstrukce, skutečné vlastnosti materiálů, parametry základové půdy, úroveň hladiny podzemní vody, poruchy a vady, příčiny těchto vad, zatížení a vlivy prostředí, které na stavbu v minulosti působily, v současnosti působí nebo případně budou nadále působit. Vizuální hodnocení je velmi důležité pro získání informací o skutečném stavu konstrukcí, jak se uvádí v ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038.

Základní kroky při hodnocení konstrukce s vadami nebo poruchami zahrnují:

1. Uvážení rozdílů mezi návrhem nové a hodnocením existující konstrukce – získání dostatečných vstupních dat z materiálových zkoušek, měření geometrie a prohlídek, volba úrovně spolehlivosti s ohledem na zvýšené náklady pro zajištění bezpečnosti uživatelů, spolehlivosti a kulturní hodnoty konstrukce a stavby.
2. Určení základního statického schématu s využitím dostupné dokumentace a na základě vizuální prohlídky; uvážení konstrukčního uspořádání, vlastností a působení konstrukce (železobetonové konstrukce - uspořádání výztuže, ocelové konstrukce – spoje, dřevěné konstrukce – detaily).
3. Zjištění výskytu, typu a rozsahu vad:
 - míra deformací – deformace pružné a trvalé z důvodu přetížení nebo havárií atd.
 - materiál – degradace, změny mechanických vlastností (skutečné hodnoty pevnostních a deformačních charakteristik)
 - oslabení v důsledku koroze nebo mechanických poškození, která mohou navíc způsobovat excentricity
 - trhliny a jejich závažnost.

4. Zohlednění předchozího působení konstrukce:
 - vlivy degradace a oslabení materiálů a prvků (průřezů) konstrukce
 - vlivy přetížení a trvalých deformací, předchozí historie zatížení, jsou-li známy, dotvarování, plastické deformace materiálu, rozsah vyčerpání plastické rezervy
 - vlivy předchozích oprav a zesílení konstrukce (vliv postupu výstavby)
 - únava materiálu – nízkocyklová a vysokocyklová, zbytková životnost
 - vliv zvýšené teploty – požár apod. – mechanické vlastnosti, zvýšení plastických deformací, vznik pnutí
 - vlastní pnutí.
5. Vliv poklesu nebo naklonění podpor (citlivost konstrukce, stanovení vlivu deformace s ohledem na neznalost původního stavu).
6. Volba vhodného výpočetního modelu (jednoduché analytické vztahy vs. komplexní numerický model) s ohledem na skutečný stav konstrukce, zkušenosti a znalosti posuzovatele, prověření dostupných vstupních údajů a platnosti předpokladů omezujících použití modelu; výstižnost výpočetních modelů (vliv částečných vetknutí například u příhradových konstrukcí, excentricity v připojení apod.), podmínky plasticity materiálu.
7. Vyhodnocení výsledků výpočtu, kritické porovnání se skutečným stavem konstrukce a ověření na zjednodušených modelech.
8. Opakování postupu v případě zjištěných rozporů mezi modelem a skutečnou konstrukcí.

8 SMĚRNÁ ÚROVEŇ SPOLEHLIVOSTI

Zásady hodnocení konstrukcí industriálních staveb s kulturní hodnotou navazují a doplňují informativní přílohu I mezinárodní normy ČSN ISO 13822 a národní normu ČSN 73 0038. Podle těchto dokumentů má hodnocení zahrnovat způsobilost konstrukce a hledisko kulturní hodnoty. Obě hlediska se mají brát v úvahu při jakémkoli rozhodování o konstrukčních opatřeních a mají být zvažována a prováděna souběžně.

Stavba nebo její nosná konstrukce často reprezentují významnou součást kultury svého období. Kromě toho mohou mít konstrukce důležitou nosnou funkci pro další prvky kulturních hodnot, jako mohou být technologie, fasády nebo nenosné prvky. Při hodnocení konstrukční způsobilosti se doporučuje přiměřený přístup tak, aby nedošlo ke zbytečným opatřením a ke ztrátám nebo k závažným změnám charakteristických prvků stavby nebo konstrukce, a tedy ke ztrátě autenticity a historického významu. Nadbytečný rozsah konstrukčních opatření může někdy vést ke zbytečným nákladům, může ztěžovat realizovatelnost projektu rekonverze a případně ohrozit existenci industriální stavby.

Kulturní hodnoty industriálních staveb se mohou lišit v závislosti na odlišných kulturních tradicích a podmínkách v různých regionech. V současnosti neexistují obecně platná kritéria pro hodnocení kulturních památek, a proto se přistupuje k hodnocení kulturní hodnoty individuálně. Taková kritéria jsou však z hlediska návrhu vhodných konstrukčních opatření žádoucí; obecně se uvažují hlediska uvedená v tab. 8.1. Podrobnosti jsou uvedeny v [Sýkora, Marková a kol. 2015].

Tab. 8.1 Hlediska pro stanovení kulturní hodnoty industriálních staveb

Hlediska	Popis
Všeobecný kulturní význam pro určitý region	Daný stupněm památkové ochrany – regionální, národní, UNESCO (nadhárodní); uvažují se hlediska urbanistická, architektonická, autenticita a integrita konstrukce
Kulturně vývojová	Jedinečnost, tvůrčí přínos, počátek vývojové etapy, souvislost s významnou osobností.
Technologická nebo technická	Zachovaný technologický tok, strojní vybavení jako součást stavby, jedinečnost technologií, původnost, charakteristické a autentické konstrukční systémy – výjimečná rozpětí, jedinečné použití.

Pro stanovení hodnoty konkrétního díla se zpracovává stavebně-historický průzkum, který definuje kulturní hodnoty industriální stavby z hledisek uvedených v tab. 8.1. Tyto hodnoty se pak zohledňují při návrzích na znovuvyužití stavby. Obvykle se společně s orgány památkové péče hledá vhodné kompromisní řešení, kdy se individuálně hodnotí jednotlivá hlediska i výhody a nevýhody jednotlivých variant řešení. Zohledňují se jak kulturní hodnoty, tak realizovatelnost záměru i ekonomická hlediska.

Při posouzení industriálních staveb je důležité zohlednit vztah konstrukce k výrobním technologiím. Nosná funkce je obvykle definovaná jak ve vztahu k vlastní budově, tak i v návaznosti na osazené technologie (např. nosníky transmisí na sloupech budov, jeřábové dráhy nebo konstrukce jen pro technologie u tzv. jednoúčelových výrobních budov, jako jsou vysoké pece, mlýny nebo těžní věže).

Stanovení kulturní hodnoty industriální stavby je náročný úkol, který vyžaduje odborné znalosti a zkušenosti z mnoha oborů (historie, architektura a stavební inženýrství). Tab. 8.2 naznačuje zohlednění kulturní hodnoty při stanovení třídy následků CC podle přílohy B ČSN EN 1990. Jedná se o minimální úroveň, tj. uváží se vyšší třída CC, pokud je to potřebné vzhledem k ekonomickým hlediskům nebo vzhledem k bezpečnosti osob.

Tab. 8.2 Zohlednění kulturní hodnoty stavby při klasifikaci do třídy následků podle ČSN EN 1990 – minimální třída následků CC

Technické možnosti zachování kulturních hodnot	Kulturní hodnota		
	malá	střední	vysoká
malé	CC1	CC1	CC2
střední	CC1	CC2	CC3
vysoké	CC2	CC3	CC3

9 NÁVRH OPATŘENÍ

Pokud se zjistí, že konstrukce nespĺňuje definované funkční požadavky a již není účelné získat další informace pro podrobnější ověření spolehlivosti, je nutné navrhnout a provést konstrukční opatření (zesílení nebo nahrazení části nebo celé konstrukce novou). V některých případech je možné přijmout vhodná opatření, mezi která patří:

- provozní opatření
 - omezení zatížení, například snížení stálých zatížení změnou střešní krytiny, snížení

zatížitelnosti u mostů nebo užitných zatížení ve skladech,

- změna způsobu využívání stavby,
- monitorování konstrukce,

- přijetí rozhodnutí o vyšší úrovni rizika nebo omezení životnosti:
 - přijetí vyšší úrovně rizika na základě optimalizačních postupů nebo na základě předchozí zkušenosti (snížení směrné úrovně spolehlivosti),
 - přijetí kratší zbytkové životnosti a opětovné ověření konstrukce po uplynutí této doby.

Viz také obr. 2.1.

U staveb, které jsou památkově chráněny, se musí projekt obnovy konzultovat s příslušným orgánem státní památkové péče.

Pokud je potřebné provést konstrukční opatření u staveb s kulturní hodnotou, má projekt vycházet z ověření spolehlivosti konstrukce podloženého výsledky prohlídek, zkoušek a měření in-situ. Může se také přihlídnout k informacím z původní projektové dokumentace stavby, pokud je dostupná. Ověření spolehlivosti má přihlížet k plánovanému využití stavby.

Z hlediska zajištění dostatečné únosnosti, použitelnosti a životnosti se s ohledem na zachování kulturní hodnoty odlišují následující úrovně konstrukčních opatření:

1. Základní nosná konstrukce zůstává zachovaná ve své původní funkci a provádějí se drobné zásahy bez vlivu na odolnost, například povrchové úpravy nebo výměny spojovacího materiálu.
2. Vymění se nebo se zesílí nevyhovující prvky nosné konstrukce. Výjimečně se prvky s významnou kulturní hodnotou nahrazují replikami.
3. Zachová se původní konstrukce, avšak již bez nosné funkce, nebo s jejím výrazným omezením. Tu přebírá nová konstrukce, která může být skrytá, nebo viditelná.
4. Původní nosný konstrukční systém je zcela nahrazen konstrukcí novou, konstrukce je odstraněna a vybrané konstrukční díly nebo články jsou v budově zachovány jako „výtvarný artefakt“ dokumentující stavební historii budovy.

Volba mezi těmito úrovněmi opatření závisí na požadavcích pro zachování kulturních hodnot. Všechny způsoby mohou být za určitých podmínek přijatelné.

BIBLIOGRAFIE

Technické normy

ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem

ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení - Zatížení teplotou

ČSN EN 1991-1-6 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1: Obecná zatížení – Zatížení během provádění

- ČSN EN 1991-1-7 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady
- ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla
- ČSN EN 1998-1 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1998-2 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 2: Mosty
- ČSN ISO 12494 Zatížení konstrukcí námrazou
- ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
- ČSN ISO 13823 Obecné zásady navrhování konstrukcí s ohledem na trvanlivost
- ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí
- ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu – Společná ustanovení
- ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu
- ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení
- ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení
- ČSN 73 0043 Doplnující pokyny pro ověřování konstrukcí s ohledem na trvanlivost při zatížení prostředím
- ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací

Odborné publikace

- [Breysse 2012] Breysse D.: Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods, *Construction and Building Materials*, str. 139-163, 33/ August 2012
- [Breysse a Martínez-Fernández 2014] Breysse D., Martínez-Fernández J.-L.: Assessing concrete strength with rebound hammer: review of key issues and ideas for more reliable conclusions, *Materials and Structures*, str. 1589-1604, 47/ 9
- [JCSS 2015] JCSS Probabilistic Model Code (online, průběžně aktualizovaná publikace), 2015, www.jcss.byg.dtu.dk
- [Sýkora, Marková a kol. 2015] Sýkora M., Marková J., Holický M. a kol. *Hodnocení industriálních staveb (připraveno k publikaci)*. Praha: ČKAIT, 2015.