



ZÁKLADY HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Milan Holický, Vladislava Návarová, Roman Gottfried, Michal Kronika
Jana Marková, Miroslav Sýkora, Karel Jung



ZÁKLADY HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Editor:

Milan Holický, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav

Autoři:

Milan Holický, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav

Vladislava Návarová, SPŠ stavební, České Budějovice, Resslova 2

Roman Gottfried, SPŠ stavební, České Budějovice, Resslova 2

Michal Kronika, SPŠ, České Budějovice, Resslova 2

Jana Marková, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav

Miroslav Sýkora, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav

Karel Jung, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav



Tento projekt byl realizován za finanční podpory Evropské komise.
Tato publikace (sdělení) vyjadřuje pouze názory autora a komise nemůže být zodpovědná za jakákoli užití, která mohou být vytvořena z informací obsažených v této publikaci

ZÁKLADY HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Editoval:

Milan Holický, ČVUT v Praze, Kloknerův ústav

Vydalo:

České vysoké učení technické v Praze, Kloknerův ústav
Šolínova 7, 166 08 Praha 6, Česká Republika

Počet stran 113

1.vydání

ISBN: 978-80-01-05419-2

PŘEDMLUVA

Vážení čtenáři,

dostává se vám do rukou publikace, která je jedním z výstupů projektu CZ/11/LLP-LdV/TOI/134005 “*Vocational Training in Assessment of Existing Structures*”, řešeného v mezinárodní spolupráci vědeckých a pedagogických pracovníků zabývajících se tematikou posuzování spolehlivosti existujících konstrukcí. Projekt je spolufinancován evropským vzdělávacím programem Leonardo da Vinci. Téma publikace je nanejvýš aktuální vzhledem k tomu, že budoucnost stavebního průmyslu se stále více posouvá směrem k údržbě a prodlužování provozu již existujících konstrukcí oproti novým výstavbám. Posouzení stavu a bezpečnosti chátrajících konstrukcí je disciplínou se stále rostoucím významem, zejména ekonomickým. Rehabilitace a prodlužování životnosti existujících budov a jiných konstrukcí totiž v současnosti tvoří více než 50% objemu stavebních zakázek. Nové evropské normy, tzv. Eurokódy, které budou v nejbližší době platné v řadě evropských zemí, jsou však primárně zaměřeny na navrhování nových konstrukcí. Doplnující operační pravidla pro posuzování existujících konstrukcí dosud chybí. Příslušná mezinárodní norma ISO 13822 poskytuje pouze obecné zásady pro hodnocení existujících konstrukcí, které je ovšem nutné pro efektivní použití v praxi doplnit a rozšířit.

Zmíněný projekt a jeho výstupy jsou zaměřeny na zavádění metodiky hodnocení existujících konstrukcí do stavební praxe v České republice i v dalších evropských zemích. Projekt je podporován Českou komorou autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT). Řešiteli projektu jsou lidé s dlouholetými zkušenostmi v dané problematice z České republiky a dalších pěti evropských zemí, jmenovitě z Kloknerova ústavu ČVUT v Praze, Střední průmyslové školy stavební v Českých Budějovicích, Technické vysoké školy v Regensburgu, Stavební fakulty Univerzity v Pise, Ústavu stavebních věd Eduardo Torroja v Madridu, Nizozemského ústavu pro aplikovaný výzkum TNO Delft a Stavební fakulty Univerzity Pamukkale v Turecku. Někteří z řešitelů jsou rovněž členy mezinárodních komisí pro tvorbu norem ISO a CEN.

Tato kniha vychází z předchozích dvou projektových publikací vydaných v letech 2012 (Hodnocení existujících konstrukcí) a 2013 (Operativní postupy pro hodnocení existujících konstrukcí) a je zestručněna a upravena pro potřeby středních technických škol.

Autoři knihy doufají, že pomohou nahlédnout do tohoto zajímavého a praktického stavebního oboru i studentům na prahu profesního života.

V Českých Budějovicích a Praze, prosinec 2013

OBSAH

Předmluva.....	3
Kapitola 1- Úvod.....	6
1. Současný stav.....	6
2. ISO 13822.....	7
3. Očekávaný vývoj norem pro existující konstrukce.....	8
4. Závěrečné poznámky.....	11
Kapitola 2- Obecné zásady.....	12
1. Úvod – předpisy pro hodnocení.....	12
2. Postup hodnocení.....	13
3. Terminologie a definice.....	15
4. Ověřování spolehlivosti.....	17
5. Metoda dílčích součinitelů.....	19
6. Fundamentální úloha dvou veličin.....	20
7. Dílčí součinitele odolnosti a zatížení.....	24
8. Závěrečné poznámky.....	27
Kapitola 3- Postup hodnocení existujících konstrukcí.....	30
1. Úvod.....	30
2. Návaznost termínů dle ČSN ISO 13822.....	31
3. Postup hodnocení dle ČSN ISO 13822.....	32
3.1 Vstupní údaje.....	32
3.2 Předběžné hodnocení.....	32
3.2.1 Průzkum.....	32
3.2.2 Rozbor konstrukce – analýza.....	38
3.2.3 Předběžné ověření konstrukce.....	39
3.2.4 Rozhodnutí o okamžitých opatřeních.....	40
3.2.5 Doporučení dalšího postupu.....	40
3.3 Podrobné hodnocení.....	41
3.4 Výsledky hodnocení.....	42
4. Struktura zpráva dle ISO 13822.....	44
5. Závěrečné poznámky.....	44
Kapitola 4 – Metoda hodnocení budov – metoda dílčích součinitelů.....	46
1. Úvod.....	46
2. Zásady ověřování podle mezních stavů metodou dílčích součinitelů.....	47
2.1 Zatížení	47
2.1.1 Charakteristické hodnoty zatížení.....	47
2.1.1.1 Hodnoty stálých charakteristických zatížení.....	47
2.1.1.2 Hodnoty proměnných charakteristických zatížení.....	49
2.1.1.3 Hodnoty mimořádných zatížení.....	50
2.1.2 Reprezentativní hodnoty zatížení.....	50
2.1.3 Návrhové hodnoty zatížení.....	51
2.1.4 Návrhové hodnoty účinků zatížení.....	51
2.1.5 Dílčí součinitele zatížení.....	51
2.1.6 Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti.....	51
2.1.6.1 Kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace.....	51
2.1.6.2 Kombinace pro mimořádné, seismické a únavové návrhové situace.....	54
2.1.7 Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti.....	54

2.2 Materiálové vlastnosti.....	55
2.2.1 Charakteristické hodnoty vlastností materiálu.....	55
2.2.2 Návrhové hodnoty vlastností materiálu.....	56
2.2.3 Návrhové hodnoty odolnosti materiálu.....	56
2.2.4 Dílčí součinitele materiálu.....	56
3. Závěrečné poznámky.....	56
Kapitola 5- Příklady.....	58
Příklad 1 - Průzkum a hodnocení části stropní konstrukce objektu.....	58
1. Zpráva o hodnocení konstrukce.....	58
2. Závěrečné poznámky.....	64
Příklad 2 - Průzkum a hodnocení objektu hudebního pavilonu.....	65
1. Zpráva o hodnocení konstrukce.....	65
2. Závěrečné poznámky.....	71
Příklad 3 - Průzkum a hodnocení stávajícího objektu vily.....	72
1. Zpráva o hodnocení konstrukce.....	72
2. Závěrečné poznámky.....	81
Příloha A – Statistické hodnocení dat.....	82
A.1 Úvod.....	82
A.2 Kvantil teoretického modelu.....	82
A.3 Náhodný výběr.....	85
A.4 Pokryvná metoda odhadu.....	87
A.5 Předpovědní metoda odhadu.....	87
A.6 Bayesovská metoda odhadu.....	91
A.7 Odhady kvantilů podle Eurokódů.....	93
A.8 Závěrečné poznámky.....	94
Příloha B – Dílčí součinitelé.....	96
B.1 Úvod.....	96
B.2 Fundamentální úloha dvou veličin s normálním rozdělením	96
B.3 Obecný případ více základních veličin s libovolným rozdělením.....	100
B.4 Dílčí součinitele odolnosti.....	101
B.5 Dílčí součinitele zatížení.....	102
B.6 Závěrečné poznámky.....	104
Příloha C – Struktura zprávy.....	106
C.1 Úvod.....	106
C.2 Struktura zpráva dle ČSN ISO 13822.	106
C.3 Příklad zpracování závěrečné zprávy.....	108
C.4 Závěrečné poznámky.....	113

KAPITOLA 1: ÚVOD - PŘEDPISY PRO HODNOCENÍ

Milan Holický a Jana Marková¹

¹Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze

Souhrn

Pro hodnocení existujících konstrukcí dosud chybí jednotná evropská pravidla. Z nedávného pracovního setkání technické komise CEN/TC 250 Evropského výboru pro normalizaci však vyplývá, že příprava nového Eurokódu pro hodnocení existujících konstrukcí je nezbytná. V současné době lze však využít mezinárodní normu ISO 13822, která umožňuje sladit hodnocení existujících konstrukcí se zásadami a požadavky Eurokódů. Očekává se, že v plánované druhé generaci Eurokódů se podaří zpracovat novou část Eurokódů zaměřenou na hodnocení a ověřování existujících konstrukcí.

1 SOUČASNÝ STAV

Hodnocení existujících konstrukcí se dostává do popředí zájmů stavebních odborníků ve většině průmyslově vyspělých zemí, ve kterých obnova, rekonstrukce a přestavby představují zhruba polovinu veškeré stavební činnosti. Je to způsobeno řadou okolností, mezi které patří následující body.

- Existující konstrukce představují značný ekonomický přínos, který se neustále zvětšuje.
- Uživatelé mají zájem o nový způsob využití existujících staveb.
- Řada existujících konstrukcí nespĺňuje požadavky současně platných norem.
- Zatím neexistuje žádná evropská norma pro hodnocení existujících konstrukcí.
- Hodnocení existujících konstrukcí často vyžaduje poznatky, které přesahují rámec norem pro navrhování nových konstrukcí.
- Cílem hodnocení je minimalizovat zásahy do existujících konstrukcí.
- Stavební inženýři, vlastníci a představitelé správních orgánů potřebují nové pokyny k hodnocení existujících konstrukcí.

V současnosti jsou do soustavy národních norem ve většině členských zemí Evropské komise pro standardizaci (CEN) zavedeny evropské normy Eurokódy, které se uplatňují při navrhování nových staveb. Původní národní normy pro navrhování konstrukcí se ruší nebo revidují s cílem sladění národních předpisů ve všech zemích CEN s požadavky Eurokódy nebo mezinárodních norem ISO.

Eurokódy jsou však určeny především pro navrhování nových konstrukcí a neuvádějí explicitní pokyny pro hodnocení existujících konstrukcí a navrhování jejich oprav nebo modernizací. K tomuto účelu je určena mezinárodní norma ISO 13822 [1], která je založena na stejných zásadách jako Eurokódy a může být doplněna národními pokyny vycházejícími z

tradic regionálního stavebnictví. Původní národní normy (v České republice norma ČSN 73 0038 [2]) mohou být při zavedení normy ISO zapracovány do národních příloh (v České republice je norma ISO zavedena pod označením ČSN ISO 13822 [1]).

2 ISO 13822

ISO 13822 [1] poskytuje obecné požadavky a postupy pro hodnocení existujících konstrukcí (budov, mostů, průmyslových staveb atd.), které vycházejí ze zásad teorie spolehlivosti a přihlížejí ke specifickým problémům existujících konstrukcí. Jedná se o materiálově nezávislý předpis, který lze použít pro hodnocení libovolného typu existující konstrukce navržené a provedené podle teoretických zásad a předchozích návrhových pravidel nebo na základě dlouhodobých zkušeností a profesionálních postupů.

Překlad ISO 13822 [1] do češtiny a koordinaci tvorby šesti národních příloh zajistil Kloknerův ústav ČVUT ve spolupráci s Fakultou stavební ČVUT a Technickým a zkušebním ústavem stavebním Praha.

Při ověřování spolehlivosti existujících konstrukcí lze podle ISO 13822 [1] použít metodu dílčích součinitelů, alternativně také pravděpodobnostní metody. Jsou zde doporučeny obecné postupy, jak stanovit zatížení a materiálové vlastnosti. ISO 13822 [1] vysvětluje, proč současné normy pro navrhování nestačí pro hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí, pro navrhování jejich oprav nebo modernizací. Normy pro navrhování nových konstrukcí neuvádějí totiž postupy pro hodnocení současného stavu existujících konstrukcí a odolností materiálů, nezabývají se nejistotami, které například plynou z reálného způsobu používání stavby a z historie působících zatížení. V úvahu je také třeba brát zbytkovou životnost konstrukce a účel použití. Některé existující konstrukce mohou být dostatečně spolehlivé, i když nemusí vyhovovat současným, často zpřísněným požadavkům právě platných norem pro navrhování.

Důležitou součástí normy ISO zavedené v České republice jako ČSN ISO 13822 [1] jsou národní přílohy.

- Příloha NA doplňuje vybrané pokyny ISO 13822 a zabývá se obecnými, materiálově nezávislými otázkami hodnocení. Jsou zde vysvětleny některé termíny, které nejsou dosud v našich normách běžné (např. hodnocení, obnova, plán bezpečnostních opatření), naopak některé naše termíny se v normě ISO 13822 [1] nepoužívají (např. přestavba, rekonstrukce, vada). Jsou zde uvedeny postupy, jak určit zatížení na konstrukci i skutečné materiálové vlastnosti,
- Příloha NB se zabývá zkouškami existujících konstrukcí a materiálů. Poskytuje obecné zásady experimentálního ověřování a odkazuje se na normativní předpisy pro zkoušení materiálů a konstrukcí,
- Příloha NC poskytuje pokyny pro určení vlastností betonu, betonářské a přepínací výztuže existujících konstrukcí,
- Příloha ND uvádí pokyny pro ocelové, litinové a spřažené ocelobetonové konstrukce,
- Příloha NE poskytuje pokyny pro určení vlastností dřevěných a spřažených dřevobetonových konstrukcí,
- Příloha NF obsahuje základní pokyny pro hodnocení vlastností existujících zdicích prvků a malt včetně postupu pro určení pevnosti zdiva.

Při hodnocení existujících konstrukcí a navrhování konstrukčních opatření jsou podle dokumentu ČSN ISO 13822 [1] funkční požadavky na bezpečnost a použitelnost v zásadě

shodné jako při navrhování nových konstrukcí. Přesto jsou mezi nimi některé zásadní rozdíly, které ovlivňují diferenciaci spolehlivosti těchto konstrukcí, jak naznačuje Tab. 1. V důsledku toho se uplatňuje u většiny existujících konstrukcí určených pro běžné účely princip „minimálních stavebních zásahů“, podle kterého se při návrhu konstrukčních opatření používají původní materiály. Musí se samozřejmě posoudit jejich současné vlastnosti.

Tab. 1. Rozdílná hlediska při posuzování funkčních požadavků na spolehlivost konstrukcí.

Hledisko	Existující konstrukce	Nové konstrukce
Ekonomické	přírůstek nákladů na zvýšení spolehlivosti je zpravidla vysoký	přírůstek nákladů vedoucí ke zvýšení spolehlivosti je zpravidla menší
Sociální	může být významné z důvodu omezení nebo vyloučení provozu a pro zachování kulturního dědictví	zpravidla méně významné než u existujících konstrukcí
Udržitelnosti	do značné míry se využijí existující stavební materiály, sníží se stavební odpady	zpravidla se použijí nové materiály

3 OČEKÁVANÝ VÝVOJ NOREM PRO EXISTUJÍCÍ KONSTRUKCE

Národní vývoj

Zavedením ISO 13822 [1] do soustavy národních předpisů je možno vytvořit operativní dokument, který umožňuje hodnotit spolehlivost existujících konstrukcí v členských zemích CEN v souladu se zásadami Eurokódů. Tím se stal tento nový předpis ojedinělým a CEN i některé evropské země (např. Velká Británie, Slovensko) již o něj projevují zájem.

Plánuje se, že některé národní přílohy budou doplněny o dosud chybějící informace, především příloha NE pro hodnocení existujících zděných konstrukcí. Je také potřebné uvést podrobnější informace o postupech stanovení návrhových hodnot základních veličin, o zatížitelnosti existujících konstrukcí a určení úrovně spolehlivosti podle následků poruchy (kategorizace konstrukcí) a zbytkové životnosti. Chybí také doplňující ustanovení pro některé specifické konstrukce, například pro mosty. V České republice se proto připravuje aktualizace předpisu ISO [1] včetně překladu dodatečně vytvořené přílohy I, která doplňuje původní normu o pokyny pro hodnocení objektů kulturního dědictví. Plánuje se zpracovat nová část národní přílohy s doplňujícími informacemi pro národní podmínky.

Mezinárodní vývoj

V současnosti v Evropě chybí běžná pravidla pro hodnocení a zesilování existujících konstrukcí, která by byla v souladu s Eurokódy. Problematika nové evropské normy pro existující konstrukce se řeší v rámci technické komise CEN/TC 250 již od roku 2005. Některé členské země CEN si přejí zpracovat pravidla pro existující konstrukce, které by vycházely ze stejných základů jako Eurokódy, další země to naopak považují za zbytečné a mají zájem používat vlastní národní normy a národní přístupy hodnocení. Na žádost členů CEN vznikl poradní panel předsedy CEN/TC 250 (členem je také prof. M. Holický z Kloknerova ústavu), který byl pověřen vypracováním studie, která naznačí, zda se má připravit nový Eurokód pro hodnocení existujících konstrukcí a jaký má být jeho obsah. Výsledkem studie je dokument N 737 [7], ve kterém se analyzují jednotlivá hlediska, vysvětluje význam nové normy, řeší její obsah a rozsah a také harmonogram prací. Dokument N 737 [7] se stal podkladem pro přípravu plánů na další rozvoj Eurokódů. V rámci technické komise CEN/TC 250 se připravil plán na další rozvoj Eurokódů, který byl předložen EK a po celé řadě jednání konečně

zpracován návrh mandátu M/515 [13], na jehož základě se předpokládá získat určitou finanční podporu od EK.

Podle dokumentu N 737 [7] a návrhu mandátu M/515 se předpokládají následující hlavní přínosy nového Eurokódu pro hodnocení a zesilování existujících konstrukcí

- poskytnutí nových harmonizovaných evropských technických pravidel pro existující konstrukce, které budou v souladu se zásadami a základními požadavky Eurokódů (splnění specifických požadavků na mechanickou odolnost, stabilitu a protipožární odolnost, včetně hlediska trvanlivosti a hospodárnosti),
- rozvoj staveb v městských a průmyslových oblastech, a také infrastruktury vedoucí k opravám, přestavbám a k rozšíření existujících staveb,
- zpracování nových pokynů pro analýzy existujících konstrukcí, aby se identifikoval jejich potenciál a mohly být zahrnuty do nových rozvojových plánů,
- modernizace existujících staveb s využitím progresivních technologií zesilování, zkvalitnění opláštění budov, které bude energeticky účinné,
- použití přesnějších metod pro ověřování existujících staveb, které pomohou odstranit zbytečný konzervatismus a přitom zajistí potřebnou bezpečnost,
- lepší porozumění mezi vlastníky, uživateli, projektanty a výrobci stavebních výrobků (usnadnění aplikací nových materiálů a výrobků pro existující konstrukce),
- usnadnění výměny služeb ve stavebnictví mezi členskými státy,
- snadnější obchodování a používání stavebních prefabrikátů,
- snadnější používání materiálů a výrobků, jejichž vlastnosti se uvažují v návrhových výpočtech,
- umožnění přípravy obvyklých návrhových pomůcek a softwarů,
- zvýšení konkurenceschopnosti evropských stavebních firem, výrobců, uživatelů norem a odběratelů (objem případů zesilování existujících konstrukcí vzrůstá v Evropě, USA, Číně, Indii a dalších státech).

Na přípravě nové normy bude technická komise CEN/TC 250 také spolupracovat s dalšími technickými komisemi pro stavební výrobky a materiály, s EOTA a také se stavebními firmami sdruženými v Evropské technologické platformě.

Očekává se, že zpracování normy pro hodnocení a zesilování existujících konstrukcí umožní účinnější využití existujících staveb. Zvýší se bezpečnost a robustnost existujících staveb proti nepříznivým zatížením. V souvislosti se zpracováním této normy by mělo také dojít k dalšímu rozvoji norem pro výrobky.

V Tab. 2 jsou uvedeny některé požadavky na existující budovy a mosty a jejich ekonomické nebo společenské přínosy.

Nová norma pro hodnocení a zesilování existujících staveb by měla obsahovat následující zásady

- pro ověřování spolehlivosti konstrukce se použijí současně platné normy, zatímco předpisy originálně použité při návrhu existující konstrukce mají jen informativní charakter,
- pro hodnocení se použijí skutečné charakteristiky konstrukčních materiálů, zatížení, geometrických údajů a údajů o chování konstrukce.

V novém Eurokódu pro existující konstrukce by měly být pokyny pro

- postupy sběru, hodnocení a aktualizace dat,

- používání metody dílčích součinitelů včetně možnosti přímé aplikace pravděpodobnostních metod v souladu s Eurokódů,
- stanovení směrné úrovně spolehlivosti pro existující konstrukce, uvážení zbytkové životnosti, následků poruchy a nákladů na bezpečnostní opatření,
- hodnocení založená na dřívějším uspokojivém chování,
- konstrukční opatření a vypracování zprávy o hodnocení.

Tab. 2. Požadavky na existující stavby a přínosy.

Typ stavby	Požadavek	Přínosy a potřeby
Budovy	udržitelný rozvoj	nové používání existujících budov v městech
	úspory energií (topení)	snižování energetických ztrát
	úspory energií (klimatizace)	snižování energetických ztrát
	protipožární ochrana	nové evakuační plány, zamezení šíření požáru, zlepšení protipožární odolnosti
	bezpečnost	umožnění nového způsobu užívání, zvýšení odolnosti proti mimořádným a seizmickým zatížením
	použitelnost a bezpečnost	zvýšení tuhosti, provozuschopnost, výtahy
	akustika	zlepšení akustických vlastností
Mosty	trvalý rozvoj	používání existujících dopravních cest
	bezpečnost při používání	požadavky na rozměry, průhyby, světlou výšku
	bezpečnost	splnění požadavků na zatížitelnost, odolnost proti mimořádným zatížením, seizmická odolnost
	trvanlivost	snížení nákladů na údržbu, zvýšení zbytkové životnosti

Podle dokumentu N 737 [7] je důležité zahájit co nejdříve přípravu nového celoevropského dokumentu pro hodnocení existujících konstrukcí a pro jejich zesilování. V Evropě se totiž připravují nové předpisy pro hodnocení existujících konstrukcí, pozdější harmonizace těchto předpisů do celoevropského dokumentu by byla značně obtížnější. Důležitá je také harmonizace zkušebních postupů pro stavební materiály a výrobky.

V současnosti tvoří existující stavby přibližně 60 % z celkového počtu všech staveb, pro které je třeba zpracovat pokyny pro jejich hodnocení. Očekává se, že tvorbu nového Eurokódu bude podporovat Evropská komise, výzkumné centrum JRC, národní normalizační instituty, CEN, EOTA i výzkumné ústavy, které se zabývají prenormativním výzkumem. Pro vlastní zpracování nového Eurokódu bude použit Pokyn L [8] a dokument N 250 [9], které se uplatňovaly při přípravě všech EN Eurokódů.

Podklady pro tvorbu Eurokódu pro hodnocení existujících staveb

Pro zpracování nového Eurokódu pro hodnocení staveb lze využít národní i mezinárodní předpisy. Kromě normy ISO 13822 [1] se předpokládá využití Bulletinu fib [10], zpráv [11,12] a dokumentu [13].

Pro hodnocení existujících konstrukcí jsou v některých zemích CEN k dispozici také národní normy, např. v UK (Highways Agency Requirements), v Německu (DS805, Leitfaden für den Sicherheitsnachweis vorhandener Straßenbrücken), ve Švýcarsku (SIA

269), v Rakousku a v ČR (původní ČSN 73 0038 [2], ze které jsou vybrané pokyny zavedeny do národních příloh ČSN ISO 13822 [1]).

Důležitým podkladním dokumentem z hlediska zesilování existujících konstrukcí by měl být také připravovaný evropský předpis pro konstrukce z FRP (Fibre Reinforced Polymers).

4 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Eurokódy jsou určeny především pro navrhování nových konstrukcí. Pro hodnocení existujících konstrukcí však dosud chybí jednotná evropská pravidla. V rámci technické komise CEN/TC 250 byl proto zpracován dokument N 737 [7], který potvrzuje nezbytnost potřeba přípravy nového Eurokódu pro hodnocení existujících konstrukcí.

Zavedení ISO 13822 do soustav českých norem v ČR umožňuje vycházet při hodnocení existujících konstrukcí ze stejných zásad, na kterých jsou založeny Eurokódy. Uvádějí se zde doplňující údaje a informace o tradičních postupech českého stavebnictví. Očekává se, že ČSN ISO 13822 [1] bude jedním z podkladových dokumentů pro přípravu nového Eurokódu pro hodnocení existujících konstrukcí.

LITERATURA

- [1] ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. ÚNMZ, 2005.
- [2] ČSN 73 0038 *Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách*. ČSN, 1986.
- [3] HOLICKÝ, M. et al. *Zásady hodnocení existujících konstrukcí*. Sborník příspěvků semináře. Nakladatelství ČVUT, 2006. <www.konstrukce.cvut.cz>.
- [4] HOLICKÝ, M. et al. *Specifikace zatížení při hodnocení existujících konstrukcí*. Sborník příspěvků semináře. Nakladatelství ČVUT, 2006. <www.konstrukce.cvut.cz>.
- [5] HOLICKÝ, M. et al. *Stanovení vlastností materiálů při hodnocení existujících konstrukcí*. Sborník příspěvků semináře. Nakladatelství ČVUT, 2006. <www.konstrukce.cvut.cz>.
- [6] HOLICKÝ, M. et al. *Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí*. Česká technika, 2007. <www.konstrukce.cvut.cz>.
- [7] *N 737 Justification for a new Eurocode – Assessment and retrofitting of existing structures*. CEN/TC 250, 2007.
- [8] *Guidance paper L, Application and Use of Eurocodes*. Brussels: EC, 04/2003.
- [9] *N 250 Policy guidelines and procedures for CEN/TC 250 Structural Eurocodes*, 2005
- [10] *fib Bulletin 17, Report, Management, Maintenance and Strengthening of Concrete Structures*.
- [11] *JRC-ECCS, Joint Report, Assessment of Existing Steel Structures*.
- [12] *FP7 Report, Sustainable Steel Bridges for Railways*.
- [13] *Response to Mandate M/515, Towards a second generation of EN Eurocodes,05/2013*

KAPITOLA 2: OBECNÉ ZÁSADY

Milan Holický¹, Miroslav Sýkora¹

¹Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze

Souhrn

Hodnocení existujících konstrukcí se v mnoha aspektech liší od navrhování nových konstrukcí. Při hodnocení existujících konstrukcí se musí přihlížet ke způsobu výstavby a následujícímu působení konstrukcí, během kterého mohlo dojít k řadě úprav, degradaci i nesprávnému používání. Obecně je nutno vycházet ze skutečné proměnlivosti všech základních veličin popisujících zatížení, vlastnosti materiálů a geometrické veličiny. Hodnocení existujících konstrukcí proto vychází ze dvou základních zásad:

- Využijí se všechny dostupné teoretické poznatky včetně současně platných norem, a předpisů; předchozí normy se využijí jen jako nezávazné podkladové dokumenty;
- Uvažují se skutečné hodnoty zatížení, materiálových vlastností a geometrických veličin; údaje uvedené v dostupné dokumentaci a výkresech se využijí jen jako informativní hodnoty.

Doporučuje se postupovat podle pokynů nově zavedené normy ISO ČSN pro hodnocení existujících konstrukcí.

1. ÚVOD – PŘEDPISY PRO HODNOCENÍ

Do soustavy předpisů ČSN se zavádějí evropské normy Eurokódy EN, které přinášejí nové návrhové postupy a upravenou metodiku dílčích součinitelů. Eurokódy EN se budou zanedlouho uplatňovat v ČR při navrhování staveb souběžně s platnými ČSN. Po období společné platnosti ČSN a EN by se měla většina našich předpisů pro navrhování konstrukcí zrušit. Pak se na našem území budou používat především Eurokódy nebo normy ISO.

Eurokódy EN jsou však určeny především pro navrhování nových konstrukcí a přímo neuvádějí pokyny pro hodnocení existujících konstrukcí, navrhování jejich obnov nebo úprav. Pro hodnocení existujících konstrukcí je třeba mít k dispozici normativní dokument, který vychází ze stejných zásad jako Eurokódy a ISO normy a zahrne národní pokyny vycházející z českých tradic. Takovým dokumentem je nově zavedená ČSN ISO 13822 Hodnocení existujících konstrukcí [1], která nahrazuje normu ČSN 73 0038 [28]. Norma ČSN 73 0038 [28] je zrušena a její obsah zapracován do národní přílohy k ČSN ISO 13822 [1].

Původní anglicky psaný dokument ISO 13822 Assessment of existing structures (Hodnocení existujících konstrukcí) poskytuje obecné požadavky a postupy pro hodnocení existujících konstrukcí (budov, mostů, průmyslových staveb, atd.), které vycházejí ze zásad teorie spolehlivosti konstrukcí a přihlížejí k následkům jejich možných poruch. Tento původní předpis lze použít pro hodnocení libovolného druhu existující konstrukce navržené a provedené podle teoretických zásad a předchozích návrhových pravidel nebo na základě dlouhodobých zkušeností a profesionálních postupů.

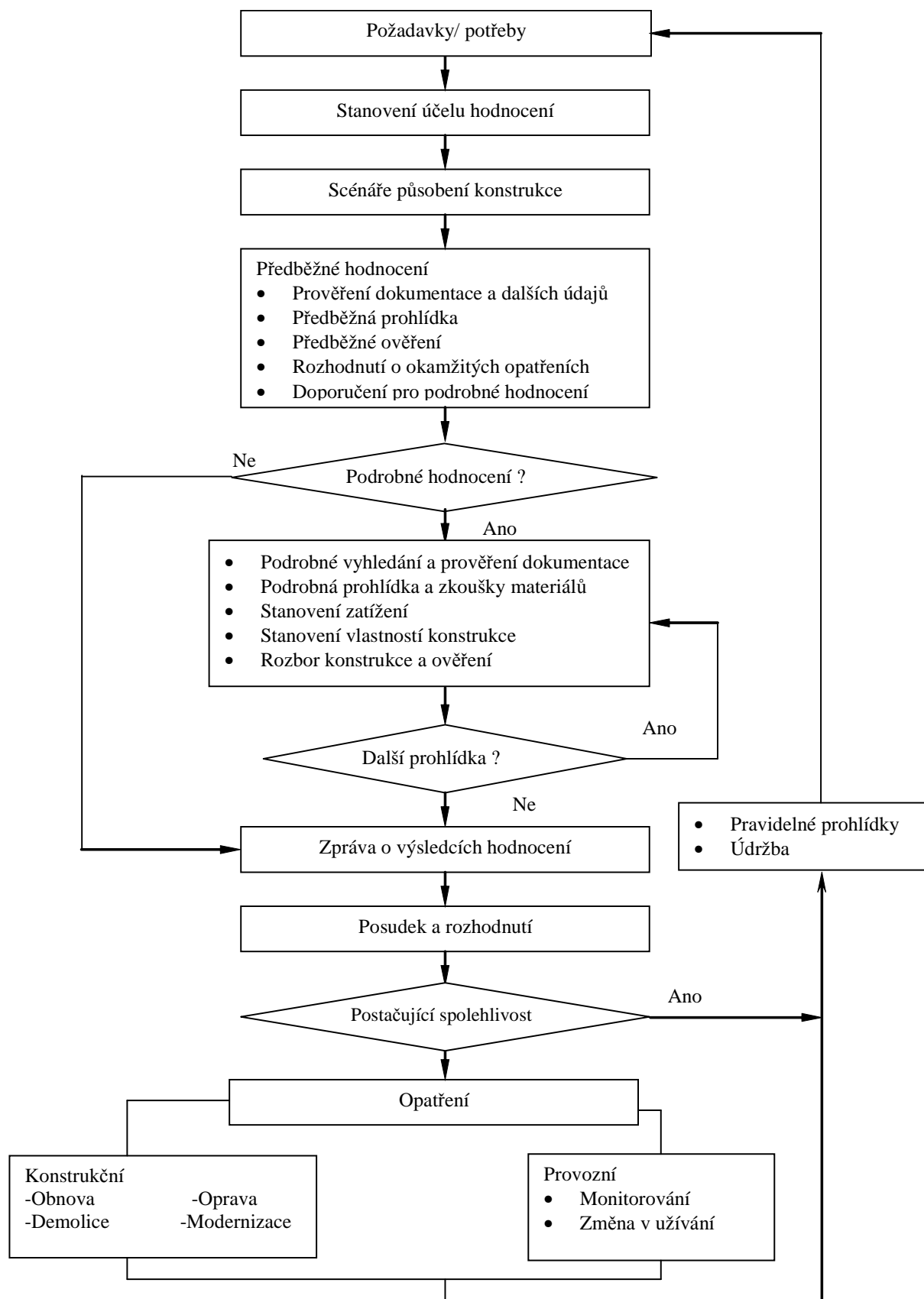
Překlad normy ISO 13822 a koordinaci tvorby národní přílohy zajistil Kloknerův ústav ČVUT. Národní příloha ČSN ISO 13822 [1] zahrnuje doporučení uvedená ve zrušené ČSN 73 0038 [28] a v souvisejících mezinárodních předpisech, zejména v ISO 2394 [21] a

ČSN EN 1990 [2]. Text dokumentu ISO 13822 je v některých případech formulován velmi obecně a neposkytuje uživateli dostatek informací pro přímou aplikaci. Jedním z cílů tvorby národní přílohy k ČSN ISO 13822 [1] byl proto také výklad obecných ustanovení původního dokumentu ISO 13822.

2 POSTUP HODNOCENÍ

Při navrhování přestavby existující konstrukce se podle zrušené ČSN 73 0038 [28] vychází ze současně platných norem. Dříve platné normy nebo předpisy slouží pouze jako informativní podklady. Pokud je stavba památkově chráněná, pak se musí projekt přestavby konzultovat s příslušným orgánem památkové péče. Podkladem pro vypracování návrhu přestavby je průzkum konstrukce, při kterém se zjistí údaje o stavu objektu, vlastnostech materiálů a základové půdě, o poruchách a vadách konstrukce, o příčinách těchto vad, o druhích a velikostech zatížení, která na konstrukci působí nebo v minulosti působila, o vlivech prostředí a; o dokumentaci konstrukce.

Obecná metodika hodnocení konstrukcí podle ČSN ISO 13822 [1] se v zásadě neliší od postupů dokumentu [28], přihlíží však k novým poznatkům a zásadám současných metod dílčích součinitelů. V normě se zdůrazňuje, že pro hodnocení konstrukce je nejprve nezbytné stanovit účel hodnocení z hlediska požadavků na její budoucí funkční způsobilost. Pokyny pro celkový postup hodnocení vycházejí z vývojového diagramu v příloze B k [1], který je zachycen na Obr. 1.1.



Obr. 1.1. Vývojový diagram postupu hodnocení.

Norma ČSN ISO 13822 [1] uvádí okolnosti, které mohou vést k zahájení hodnocení existující konstrukce:

- očekávaná změna v používání nebo prodloužení návrhové životnosti,
- ověření spolehlivosti (např. s ohledem na zeměřesení, zvýšená zatížení dopravou) požadované úřady, pojišťovnami, vlastníky, atd.,
- degradace konstrukce vlivem časově závislých zatížení (např. koroze, únava),
- poškození konstrukce od mimořádných zatížení (viz ISO 2394 [21]).

Jak již bylo uvedeno, obecná ustanovení normy ČSN ISO 13822 [1] jsou použitelná pro hodnocení existujících konstrukcí z různých materiálů, jako jsou beton, ocel, dřevo, zdivo, atd. V některých případech však může být potřebné přihlídnout ke specifickým vlastnostem použitého materiálu. Norma rovněž poskytuje zásady pro stanovení zatížení a účinků prostředí. Upozorňuje na nutnost uvážit mimořádná zatížení, jakými jsou požár nebo seismická zatížení, aniž uvádí podrobnější pokyny. Zásady ČSN ISO 13822 [1] lze použít i pro historické stavby.

ČSN ISO 13822 [1] upozorňuje na důležitou okolnost, že u existujících konstrukcí jsou zpravidla větší rozdíly v úrovni spolehlivosti než u nově navržených konstrukcí. Je to důsledek historického vývoje ekonomických, sociálních i ekologických hledisek. V této souvislosti se proto upozorňuje na možnost diferenciací spolehlivosti v závislosti na podmínkách stavby a její zbytkové životnosti. Zásady diferenciací spolehlivosti se uvádějí v kapitole 5.

3. TERMINOLOGIE A DEFINICE

V normě ČSN ISO 13822 [1] jsou používány také nové termíny. Některé z termínů, které uváděla norma ČSN 73 0038 [28], se zde naopak nepoužívají (např. rekonstrukce). Přehled termínů podle ČSN ISO 13822 [1] a dohodnutých českých ekvivalentů je v Tab. 1.1. Některé termíny norma neuvádí a odkazuje na ISO 2394 [21].

Tab. 1.1. Přehled termínů a originální anglický text.

Hodnocení	<i>assessment</i>	referenční doba	<i>reference period</i>
Poškození	<i>damage</i>	obnova	<i>rehabilitation</i>
degradace	<i>deterioration</i>	zbytková životnost	<i>remaining working life</i>
model degradace	<i>deterioration model</i>	oprava	<i>repair</i>
prohlídka	<i>inspection</i>	plán bezpečnostních opatření	<i>safety plan</i>
průzkum	<i>investigation</i>	funkční způsobilost konstrukce	<i>structural performance</i>
zatěžovací zkouška	<i>load testing</i>	směrná úroveň spolehlivosti	<i>target reliability level</i>
údržba	<i>maintenance</i>	modernizace (rekonstrukce, přestavba)	<i>upgrading</i>
materiálové vlastnosti	<i>material properties</i>	plán využití	<i>utilization plan</i>
monitorování	<i>monitoring</i>		

Novými termíny v ČSN ISO 13822 [1] jsou obnova, plán bezpečnostních opatření, plán využití, směrná úroveň spolehlivosti a zbytková životnost. Protože současné mezinárodní předpisy vycházejí ze zásad teorie spolehlivosti, objevují se zde také termíny z této oblasti, viz Tab. 1.2. Doplnující definice jsou v příloze E k ČSN ISO 13822 [1].

Tab. 1.2. Přehled termínů a anglický text podle přílohy E k ČSN ISO 13822 [1].

nehomogenní náhodná vektorová funkce	<i>non-homogeneous random vector process</i>	prahová hodnota	<i>threshold</i>
--	--	-----------------	------------------

Definice podle ČSN ISO 13822

V hlavním textu ČSN ISO 13822 [1] se mj. uvádějí následující definice:

- obnova** (*rehabilitation*) - práce potřebné k opravě, popř. k modernizaci existující konstrukce
- zbytková životnost** (*remaining working life*) - období, po které se za předpokladu plánované údržby uvažuje/očekává, že je existující konstrukce provozuschopná
- plán bezpečnostních opatření** (*safety plan*) - plán určující funkční požadavky pro danou konstrukci a zahrnující scénáře veškerých současných a budoucích opatření (návrh, provádění nebo činnosti, jako je monitorování) umožňující zajistit bezpečnost konstrukce
- směrná úroveň spolehlivosti** (*target reliability level*) - úroveň spolehlivosti požadovaná pro zajištění přijatelné bezpečnosti a použitelnosti
- modernizace (rekonstrukce, přestavba)** (*upgrading*) - úpravy existující konstrukce za účelem zlepšení její funkční způsobilosti
- plán využití** (*utilization plan*) - plán obsahující zamýšlený způsob (nebo způsoby) využití konstrukce a popisující podmínky provozu konstrukce včetně požadavků na údržbu a odpovídajících funkčních požadavků

V příloze E [1] pro hodnocení časově závislé spolehlivosti se doplňují další definice:

- charakteristiky zatížení** (*load characteristics*) - kvalitativní a kvantitativní popis intenzity zatížení, která může být časově proměnná, jako např. doba trvání a četnost výskytu zatížení, průměrná hodnota a směrodatná odchylka intenzity v kterémkoliv časovém okamžiku
- nehomogenní náhodná vektorová funkce $X(t)$** (*non-homogeneous random vector process*) náhodná časově závislá funkce, pro kterou jsou v libovolném časovém okamžiku hodnoty prvků vektoru X náhodné veličiny

POZNÁMKA: Statistické charakteristiky X jsou v nehomogenní náhodné vektorové funkci časově proměnné.

- pevnostní charakteristiky** (*strength characteristics*) - kvalitativní a kvantitativní popis pevnosti konstrukce nebo nosného prvku, která může být časově proměnná, jako např. průměrná hodnota a směrodatná odchylka pevnosti
- prahová hodnota** (*threshold*) - mezní hodnota, která může být časově závislá a při jejímž překročení se konstrukce nebo nosný prvek nachází v nepříznivém stavu

Souvislost některých pojmů je patrná z přílohy A k ISO 13822 [1], viz Obr. 1.2.

Obr. 1.2. Hierarchie termínů podle přílohy A.

Termíny a definice podle ISO 2394 a ČSN EN 1990

Termíny a definice uvedené v ISO 2394 [21] jsou zahrnuty v ČSN EN 1990 [2], kde jsou podrobněji rozvedeny. Kromě toho ISO 2394 [21] uvádí ještě tyto pojmy: life cycle (doba životnosti), primary basic variable (hlavní proměnná), partial factors format (metodika dílčích součinitelů), bounded action (vymezené zatížení), unbounded action (nevymezené zatížení), conversion function (převodní funkce).

POZNÁMKA: Termíny uvedené v ČSN ISO 13822 [1] jsou dostatečně vysvětleny, uživatel by neměl mít problémy s jejich aplikací. Terminologie používaná v NA vychází z terminologie používané v nových normách.

4. OVĚŘOVÁNÍ SPOLEHLIVOSTI

Zásady zpracování dat

Pokud je nutné určit vlastnosti materiálů na základě zkoušek, uvádí ČSN ISO 13822 [1] obecné pokyny v čl. 4.6.2 Podrobná prohlídka a zkoušky materiálů. Charakteristické hodnoty materiálových vlastností lze zjistit z projektové dokumentace, pokud je tato dokumentace k dispozici a nejsou důvody k pochybnostem. V případě pochybností se konstrukční detaily, rozměry prvků a vlastnosti materiálů uvažované v rozboru musí stanovit z podrobné prohlídky stavby a ze zkoušek materiálů. Výsledkem podrobné kvantitativní prohlídky je soubor aktualizovaných hodnot nebo pravděpodobnostních rozdělení pro příslušné parametry, které ovlivňují vlastnosti konstrukce (zde text ČSN ISO 13822 [1] odkazuje na přílohu C).

Nutnost zajištění spolehlivosti konstrukce během odběru vzorků požaduje ISO i ČSN. Podle ČSN ISO 13822 [1], čl. 5.3.4 se má okamžitě po odběru vzorků provést oprava, popř. zesílení konstrukce.

Zásady obecného hodnocení vlastností základních veličin, zejména materiálových charakteristik, jsou uvedeny v ČSN EN 1990 [2], části D.6. Jsou to pokyny pro hodnocení vlastností jedné veličiny (viz kapitoly 2 a 3).

Výsledky zkoušek se mají hodnotit na základě statistických metod, pomocí dostupných statistických znalostí o typech rozdělení a jejich příslušných parametrech. ISO uvádí pokyny, jak postupovat, pokud je k dispozici jen malý počet zkoušek. Ve zrušené ČSN 73 0038 [28] je tímto kritériem pět zkoušek. V ČSN 73 0038 [28] se předpokládá, že má sledovaná základní veličina rozdělení normální, zatímco ČSN EN 1990 [2] již uvádí také postup pro veličinu lognormálně rozdělenou (viz kapitoly 2 a 3).

Výběrem vzorků a zkušebními postupy se zabývá ČSN ISO 13822 [1] v čl. 5.3.4. Podle ISO [1] mají být zkušební metody a výběr vzorků v souladu s odpovídajícími mezinárodními normami. ISO [1] však již neuvádí, které mezinárodní normy se doporučují aplikovat. Základní pokyny lze nalézt v ČSN EN 1990 [2], příloha D, a v ISO 2394 [21].

V ČSN 73 0038 [28] jsou uvedena obecná doporučení, jak určit místa pro odběr vzorků:

- při záměrném odběru vzorků má získaný soubor hodnot vystihovat stav materiálu ve vyšetřovaném prvku, popř. konstrukci,
- při náhodném odběru má získaný soubor hodnot splňovat podmínky náhodného výběru (odkazuje na normu ČSN 01 0250 [24]).

Rozsah zkoušek závisí na druhu materiálu, druhu zatížení, uspořádání konstrukce, způsobu jejího provedení, na technických možnostech odběru vzorku. U památkově chráněných objektů se má provést odběr vzorků se souhlasem orgánů památkové péče.

Pro stanovení vlastností základové půdy se podle ČSN 73 0038 [28] provádí odběr vzorků z aktivní zóny pod základem až do hloubky nejvýše rovné dvojnásobku šířky základové spáry, měřené od úrovně základové spáry. Pokyny pro stanovení vlastností základové půdy nejsou v ISO 13822 [1] uvedeny, doplňující ustanovení pro navrhování geotechnických konstrukcí jsou uvedena v EN 1997.

V ČSN ISO 13822 [1] také chybí pokyny pro odhad zatížení a odběr vzorků z hlediska stanovení vlastní tíhy, viz ČSN 73 0038 [28], čl. 4.1.6. Podkladem pro stanovení zatížení je

podle ČSN ISO 13822 [1] norma ISO 2394 [21]. V národní příloze je třeba uvést, že vhodným podkladem je Eurokód ČSN EN 1990 [2], pro určení vlastní tíhy ČSN EN 1991-1-1 [3].

ČSN ISO 13822 [1] uvádí v příloze E příklady vhodných metod postupů hodnocení časově závislé spolehlivosti. Pokyny jsou však relativně obecné, aplikovat je může jen uživatel, který má dostatečné znalosti z teorie spolehlivosti. Tyto pokyny v ČSN 73 0038 [28] chybí. Podrobnosti jsou v kapitole 5.

Analýza konstrukcí

ČSN ISO 13822 [1] uvádí v čl. 4.6.5, že se má při stanovení účinků zatížení na konstrukci postupovat podle pokynů ISO 2394 [21]. Norma [21] byla základním dokumentem pro tvorbu ČSN EN 1990 [2]. Při hodnocení existujících konstrukcí by se měly používat zásady ČSN EN 1990 [2], které však nemusí být vždy dostačující a plně vyčerpávající, jak také ČSN EN 1990 [2] uvádí. Proto se doplňuje národní příloha k ČSN ISO 13822 [1] o některé informace pro navrhování přestaveb.

Podle doporučení ČSN ISO 13822 [1] se únosnost nosných prvků má stanovit s ohledem na účinky zatížení a přihlídnout k degradaci existující konstrukce. Pokud je zpozorována degradace konstrukce, stává se hodnocení její spolehlivosti řešením časově závislého degradačního jevu, jak je popsáno v ISO 2394 [21], a pro rozbor je potřebné použít vhodnou metodu. V případě degradace konstrukce je podstatné porozumět příčinám pozorovaného poškození nebo nesprávného chování konstrukce. Obecné pokyny pro časově závislé jevy uvádí příloha E [1]. Aby však bylo možné tuto přílohu aplikovat, je třeba uvést některé doplňující pokyny v NA (National Annex – národní příloha).

Ověření existující konstrukce se podle ČSN ISO 13822 [1] provádí za účelem zabezpečení směrné úrovně spolehlivosti, která představuje požadovanou úroveň funkční způsobilosti (příloha F [1]). Lze postupovat podle současně platných norem nebo norem rovnocenných s ISO 2394 [21], které vykazují z hlediska jejich dlouhodobého používání dostatečnou spolehlivost. Dřívější normy, které byly platné v době výstavby existující konstrukce, se mají použít jako předpisy informativní. Požadavky na ověření existující konstrukce vycházejí obecně ze zásad teorie spolehlivosti.

Požadavek ČSN 73 0038 [28] pro aplikaci současně platných norem při navrhování přestavby existujících konstrukcí je v ČSN ISO 13822 [1] formulován podstatně méně přísně (ve smyslu, že lze takto postupovat).

Ověřování na základě předchozích zkušeností

Podle ČSN ISO 13822 [1], čl. 4.6.6 se při ověřování může alternativně vycházet z dřívějšího uspokojivého chování konstrukce. Podrobnější pokyny, jak postupovat, jsou uvedeny v kapitole 8 [1], kde jsou členěny na pokyny z hlediska hodnocení bezpečnosti a použitelnosti.

Hodnocení bezpečnosti podle ČSN ISO 13822

Konstrukce navržené a provedené podle předchozích norem, nebo, pokud nebyly použity normy, navržené a provedené na základě osvědčených stavebních zkušeností, lze považovat za bezpečné pro všechna zatížení kromě mimořádných (včetně seizmických) za předpokladu, že:

- pečlivá prohlídka neodhalí žádné známky významného poškození, přetížení nebo degradace;
- je posouzen konstrukční systém včetně kritických detailů a jejich ověření z hlediska přenosu napětí;

- konstrukce vykazuje uspokojivé chování v průběhu časového období dostatečně dlouhého pro výskyt extrémních zatížení v důsledku užívání a účinků prostředí;
- posouzení procesu degradace (při kterém se uvaží současný stav a plánovaná údržba) prokáže dostatečnou trvanlivost;
- po dostatečně dlouhé časové období nenastanou změny, které by mohly významně zvýšit zatížení konstrukce nebo ovlivnit její trvanlivost, a žádné takové změny nejsou očekávány.

Hodnocení provozuschopnosti podle ČSN ISO 13822

Konstrukce navržené a provedené na základě předchozích norem, nebo, pokud nebyly normy použity, navržené a provedené na základě dobrých stavebních zkušeností, se mohou považovat za provozuschopné pro budoucí použití za předpokladu, že:

- pečlivá prohlídka neodhalí žádné známky významného poškození, přetížení, degradace nebo přetvoření;
- konstrukce vykazuje uspokojivé chování v průběhu dostatečně dlouhého časového období s ohledem na poškození, přetížení, degradaci, přetvoření nebo kmitání;
- nenastanou změny v konstrukci nebo ve způsobu jejího využívání, které by mohly významně změnit zatížení včetně účinků prostředí na konstrukci nebo její část, a
- posouzení procesu degradace (při kterém se uvaží současný stav a plánovaná údržba) shledá dostatečnou trvanlivost konstrukce.

5. METODA DÍLČÍCH SOUČINITELŮ

Existující konstrukce byly často navrženy metodou dovolených namáhání nebo stupně bezpečnosti. Pokud byly navrženy metodou dílčích součinitelů, pak se postupy stanovení charakteristických a návrhových hodnot základních veličin, kombinace zatížení a použité výpočetní modely odlišují od současných evropských a mezinárodních norem. Základní metodou evropských předpisů Eurokódů EN i mezinárodních předpisů ISO je metoda dílčích součinitelů. Alternativně lze pro ověřování spolehlivosti existujících konstrukcí aplikovat pravděpodobnostní metody. Metoda dílčích součinitelů i pravděpodobnostní metody mají při ověřování existujících konstrukcí nebo navrhování jejich obnovy své přednosti i nevýhody.

V běžných případech ověřování spolehlivosti existující konstrukce nebo navrhování její přestavby se aplikuje metoda dílčích součinitelů, neboť lze postupovat podle obvyklých postupů pro navrhování nových konstrukcí. U existujících konstrukcí může být však problémem modelování časově závislých vlastností materiálů, vlastností zatížení a účinků prostředí. Není vždy zcela zřejmé, zda je potřebné aplikovat stejně velké hodnoty dílčích součinitelů zatížení a materiálových vlastností jako při navrhování nových konstrukcí. Požadavky Eurokódů na zatížení jsou většinou přísnější, než tomu bylo u norem ČSN.

Pravděpodobnostní přístup k ověřování konstrukcí je např. vhodné použít, jestliže jsou základní veličiny vstupující do funkce mezního stavu silně časově závislé. Základní veličiny lze lépe charakterizovat na základě teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky. K dispozici je třeba mít dostatek informací o stavu existující konstrukce. V případě potřeby je možné tyto informace dále aktualizovat, zpřesňovat. Aplikaci pravděpodobnostních modelů základních veličin je třeba věnovat náležitou pozornost a vyžaduje značné odborné znalosti, neboť pokyny pro pravděpodobnostní navrhování uvedené v různých dokumentech bývají často obecné. Uživatel musí mít zkušenosti s aktualizací těchto modelů a s jejich zpřesňováním. Základy pravděpodobnostních metod potřebné pro odvození dílčích součinitelů se popisují v dalších oddílech této kapitoly, podrobnější popis

pravděpodobnostních metod používaných při hodnocení spolehlivosti konstrukcí je v kapitole 5.

Postupy ověřování spolehlivosti konstrukcí metodou dílčích součinitelů jsou podrobně popsány v normách ČSN EN 1990 [2] a ISO 2394 [21] a také v příručce [48]. Je zde uvedeno, jak stanovit charakteristické a návrhové hodnoty základních veličin (materiálů, geometrických veličin, zatížení). Tyto normy uvádějí pravidla pro kombinace zatížení a postupy, jak stanovit účinky zatížení a odolnost konstrukce. Doporučené hodnoty dílčích součinitelů zatížení a materiálových vlastností byly stanoveny na základě kalibrací, porovnáním s původními normami, byly využity také pravděpodobnostní postupy. Uvažovala se přitom určitá úroveň spolehlivosti konstrukcí, v běžných případech pro životnost konstrukce 50 let a mezní stav únosnosti je směrná hodnota indexu spolehlivosti $\beta_t = 3,8$ (viz další oddíly této kapitoly a kapitola 5). Pokud by se u existujících konstrukcí uvažovala jiná hodnota indexu spolehlivosti β , pak by bylo možné dílčí součinitele pro existující konstrukce upravit tak, aby tuto skutečnost zohledňovaly.

V běžných případech se doporučuje aplikovat hodnoty dílčích součinitelů podle současných norem a stanovit charakteristické hodnoty materiálových a geometrických vlastností podle reálného stavu existující konstrukce.

Zanedlouho by měla celá Evropa navrhovat stavební konstrukce podle jednotných metodických postupů stanovených v harmonizovaných normativních předpisech pro navrhování konstrukcí, označovaných pracovním názvem "Eurokódy" [2,3]. Nové evropské předpisy se opírají o koncepci mezních stavů ve spojení s metodou dílčích součinitelů v ČSN EN 1990 [2], která systematicky vychází z poznatků pravděpodobnostní teorie spolehlivosti, zejména metody FORM (First Order Reliability Method).

Další oddíly této kapitoly úzce navazují na normu ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí [2], která je základním dokumentem pro celou soustavu Eurokódů. Je národně dostupná od dubna 2002 a její české vydání je k dispozici od roku 2004. ČSN EN 1990 [2] obsahuje kromě úvodu 6 oddílů a 4 přílohy, které poskytují zásady navrhování a ověřování konstrukcí s ohledem na jejich bezpečnost, použitelnost a trvanlivost. Používá se společně s Eurokódami EN 1991 až 1999 pro navrhování pozemních a inženýrských staveb včetně geotechnických konstrukcí. I když je ČSN EN 1990 [2] určena pro navrhování nových konstrukcí, lze obecná pravidla použít pro hodnocení existujících konstrukcí, pro jejich opravy a přestavby. ČSN EN 1990 [2] je normou materiálově nezávislou, její zásady a aplikační pravidla se proto uplatňují při navrhování konstrukcí z různých materiálů.

6. FUNDAMENTÁLNÍ ÚLOHA DVOU VELIČIN

Základní principy metody dílčích součinitelů čerpají z rozboru spolehlivosti fundamentálního případu dvou vzájemně nezávislých základních veličin popisujících účinek zatížení E a odolnost konstrukce R , které lze aproximovat normálním rozdělením. Předpokládá se, že konstrukce je spolehlivá, jestliže je účinek zatížení E menší než odolnost konstrukce R a platí jednoduchá nerovnost $E < R$. V teorii spolehlivosti hraje důležitou roli rovnost obou veličin vyjádřená implicitní funkcí

$$Z = g(\mathbf{X}) = R - E = 0 \quad (1.1)$$

kteřá je základní formou funkce mezního stavu (meze porušení). Funkce mezního stavu se obecně označuje $g(\mathbf{X})$, kde \mathbf{X} je vektor základních veličin.

Obě veličiny E a R jsou náhodné veličiny a nerovnost $E < R$ nelze proto splnit absolutně (s pravděpodobností 1). Zpravidla je nezbytné připustit určitou malou pravděpodobnost P_f , že bude platit $E > R$ a že tedy dojde k poruše konstrukce. Formálně se pravděpodobnost P_f v tomto jednoduchém případě definuje pravděpodobnostním vztahem

$$P_f = P(E > R) \quad (1.2)$$

Pravděpodobnost poruchy P_f lze obecně stanovit různými postupy. Jednoduchou možností je odvodit rozdělení rozdílu R a E

$$Z = R - E \quad (1.3)$$

který se nazývá rezerva spolehlivosti. Průměr μ_Z a rozptyl σ_Z^2 rezervy spolehlivosti Z pro vzájemně nezávislé veličiny R a E (bez ohledu na typ jejich rozdělení) se stanoví ze vztahů

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_E, \quad \sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_E^2 \quad (1.4)$$

Jestliže obě veličiny E a R lze popsat (alespoň přibližně) normálním rozdělením, má také jejich rozdíl Z normální rozdělení a pravděpodobnost poruchy P_f lze stanovit na základě distribuční funkce rezervy Z ze vztahu

$$P_f = P(E > R) = P(Z < 0) = F_Z(0) \quad (1.5)$$

Distribuční funkce $F_Z(z)$ veličiny Z pro $(z = 0)$ udává pravděpodobnost výskytu záporných hodnot rezervy Z , tj. pravděpodobnost poruchy. Ta se snadno stanoví přechodem na normovanou náhodnou veličinu U , která je definována transformačním vztahem

$$U = (Z - \mu_Z) / \sigma_Z \quad (1.6)$$

Podle tohoto vztahu hodnotě $z = 0$ původní náhodné veličiny Z odpovídá transformovaná hodnota u_0 normované veličiny U

$$u_0 = (0 - \mu_Z) / \sigma_Z = -\mu_Z / \sigma_Z \quad (1.7)$$

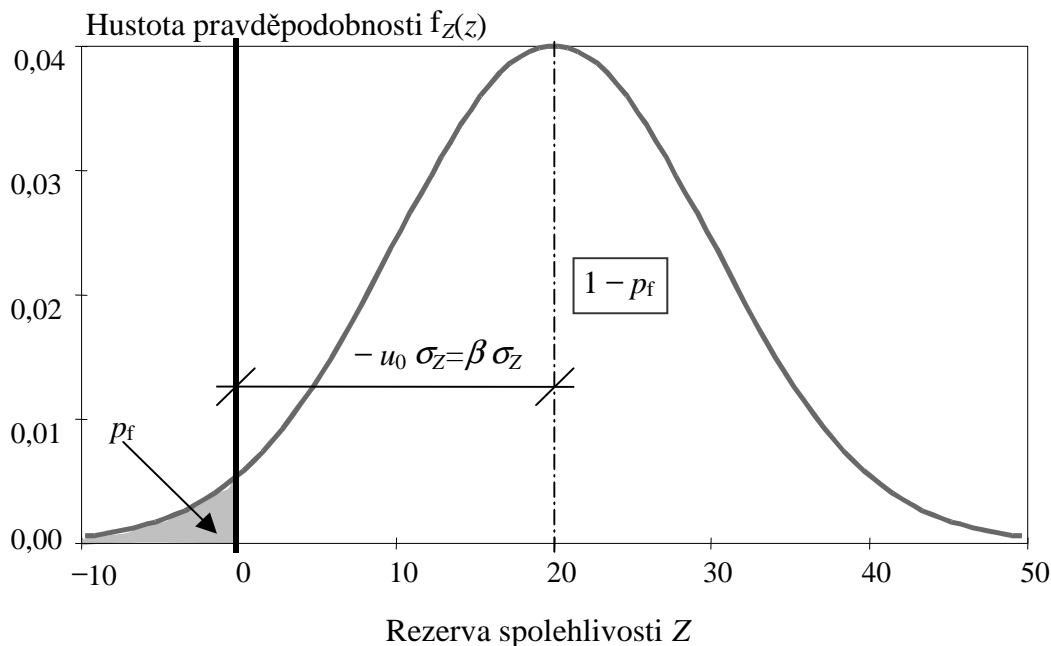
Pravděpodobnost poruchy P_f se pak stanoví z distribuční funkce $\Phi_U(u_0)$ normované veličiny s normálním U

$$P_f = F_Z(0) = \Phi_U(u_0) \quad (1.8)$$

Distribuční funkce $\Phi_U(u_0)$ je dostupná v běžných matematických tabulkách i softwarových produktech. Jestliže Z má normální rozdělení, hodnota $-u_0$ se nazývá index spolehlivosti a označuje se symbolem β . Z rovnic (1.4) a (1.7) pak pro index spolehlivosti vyplývá vztah

$$\beta = \mu_Z / \sigma_Z = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \quad (1.9)$$

Hustota pravděpodobnosti $f_Z(z)$ rezervy spolehlivosti Z je zachycena na Obr. 1.3, šedá plocha pod křivkou $f_Z(z)$ odpovídá pravděpodobnosti P_f .

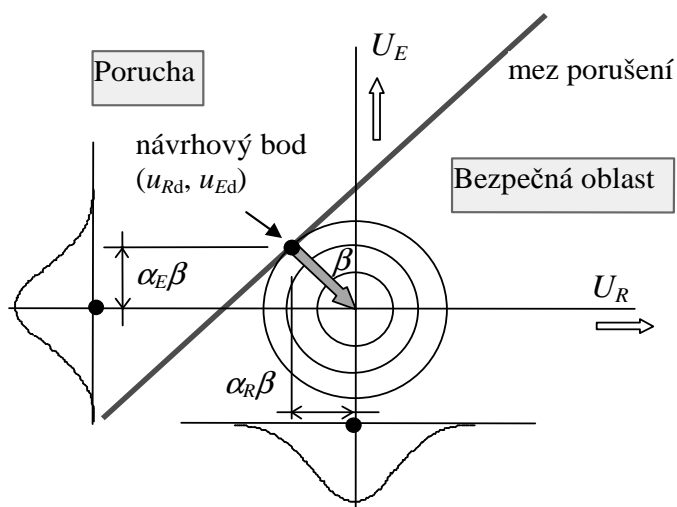
Obr. 1.3. Rozdělení rezervy spolehlivosti Z .

Takto definovaný index spolehlivosti β lze jednoduše popsat geometricky jako vzdálenost průměru μ_Z rezervy spolehlivosti Z od počátku, stanovenou v jednotkách směrodatné odchylky σ_Z (viz Obr. 1.3).

Fundamentální úlohu dvou základních veličin s normálním rozdělením lze popsat v dvourozměrném grafu, který je základem pro potřebné zobecnění úlohy pro více základních veličin s libovolným typem rozdělení. Jestliže se původní veličiny R a E transformují na základě vztahu (1.6) (ve kterém se postupně zamění Z za R a E) na normované veličiny U_R a U_E , lze funkci mezního stavu (1.1) vyjádřit prostřednictvím normovaných veličin v transformovaném tvaru

$$U_R \sigma_R - U_E \sigma_E + \mu_R - \mu_E = 0 \quad (1.10)$$

Jde o "přímku mezního stavu" zapsanou v obecném tvaru, která je graficky zachycena na Obr. 1.4.

Obr. 1.4. Návrhový bod stanovený metodou FORM pro veličiny U_E a U_R s normálním rozdělením.

Z analytické geometrie v rovině plyne, že vzdálenost přímky (1.10) od počátku je dána vztahem

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \quad (1.11)$$

který je shodný se vztahem (1.9) pro index spolehlivosti (proto je použit symbol β). Je tedy zřejmé, že ve dvourozměrném znázornění fundamentální úlohy teorie spolehlivosti lze index spolehlivosti β definovat jako vzdálenost přímky mezního stavu od počátku v souřadném systému normovaných veličin s normálním rozdělením. Tento poznatek je základem obecné metody FORM pro rozbor obecného případu více základních veličin s libovolným typem rozdělení, jak se popisuje v dalším textu.

Z analytické geometrie dále plyne, že normálový vektor $\mathbf{n}(\sigma_R, \sigma_E)$ kolmý na přímku mezního stavu a směřující do bezpečné oblasti má souřadnice σ_R a σ_E . Směrové kosiny normálového vektoru se v teorii spolehlivosti nazývají součinitele citlivosti a označují se symboly α_R a α_E . Poskytují totiž relativní míru vlivu jednotlivých základních veličin na σ_Z a tedy i na index spolehlivosti β . Přesněji řečeno druhá mocnina součinitelů citlivosti α_R^2 udává podíl rozptylu σ_R^2 na σ_Z^2 . Součinitele citlivosti mají důležitý praktický význam: základní veličiny, jejichž součinitele citlivosti jsou blízké nule, lze pokládat za deterministické a zredukovat tak počet náhodných veličin. Součinitele citlivosti také udávají souřadnice návrhového bodu (u_{Rd} , u_{Ed}), tj. bodu na mezi porušení, který je nejbližší k počátku a který jednoznačně určuje pravděpodobnost poruchy.

V souladu se znaménkovou konvencí dokumentu ČSN EN 1990 [2] se součinitele citlivosti (směrové kosiny normálového vektoru) stanoví ze vztahů

$$\alpha_R = \sigma_R / (\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0.5}, \quad \alpha_E = -\sigma_E / (\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0.5} \quad (1.12)$$

Souřadnice návrhového bodu v souřadném systému normovaných veličin s normálním rozdělením jsou tedy $u_{Rd} = -\alpha_R \beta$ a $u_{Ed} = -\alpha_E \beta$ (viz Obr. 1.4).

Návrhový bod původních veličin R a E s normálním rozdělením se stanoví zpětnou transformací (úpravou vztahu (1.6)) normovaných veličin

$$r_d = \mu_R - u_{Rd} \sigma_R = \mu_R - \alpha_R \beta \sigma_R, \quad e_d = \mu_E - u_{Ed} \sigma_E = \mu_E - \alpha_E \beta \sigma_E \quad (1.13)$$

Všimněme si zde znamének "minus", které odpovídají zmíněné znaménkové konvenci v ČSN EN 1990 [2]. Poznamenáme, že některé softwarové produkty (např. v [107]) přijímají pro součinitele citlivosti opačnou znaménkovou konvenci.

Ze vztahů (1.13) a transformačního vztahu (1.6) plyne, že návrhovými body r_d a e_d odpovídají normované hodnoty $-\alpha_R \beta$ a $-\alpha_E \beta$. Z rovnosti distribučních funkcí původních veličin R a E a normovaných veličin pak plyne

$$F_R(r_d) = \Phi_U(-\alpha_R \beta), \quad F_E(e_d) = \Phi_U(-\alpha_E \beta) \quad (1.14)$$

Tyto vztahy nejsou pro rozbor fundamentální úlohy pro dvě veličiny R a E s normálním rozdělením nezbytné, jejich zobecnění pro případ více základních veličin s libovolným typem rozdělení je však velmi důležité (viz kapitola 5).

Jestliže jsou pro jednotlivé základní veličiny X_i známy součinitele citlivosti α_i a požadovaný index spolehlivosti β , je možno na základě vztahu (1.14) stanovit návrhové hodnoty základních veličin. Nesnáž je v tom, že součinitele citlivosti nejsou známy předem, pokud se neprovede analýza metodou FORM (viz kapitola 5). V Eurokódu ČSN EN 1990 [2] jsou však uvedeny přibližné hodnoty součinitelů citlivosti α_i , které se doporučují pro účely tvorby norem. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1.3.

Tab. 1.3. Doporučené hodnoty součinitelů citlivosti α_i .

Základní veličina X_i	Doporučený součinitel citlivosti α_i
odolnosti, hlavní (dominantní)	0,80
odolnosti, vedlejší (nedominantní)	$0,4 \times 0,8 = 0,32$
zatížení, hlavní (dominantní)	- 0,70
zatížení, vedlejší (nedominantní)	$- 0,4 \times 0,7 = - 0,28$

Pro $\alpha_i > 0$ (odolnosti) návrhové body odpovídají dolním kvantilům, pro $\alpha_i < 0$ (zatížení) horním kvantilům (kvantil se podrobně popisuje v kapitole 2). Je zřejmé, že doporučené hodnoty uvedené v Tab. 1.3 jsou na bezpečné straně (součet druhých mocnin součinitelů citlivosti všech veličin by měl být roven jedné) a vedou tedy ke konzervativním odhadům návrhových hodnot základních veličin.

Ze vztahů (1.14) a z hodnot součinitelů citlivosti α_i podle Tab. 1.3 vyplývá, že s uvážením směrné hodnoty indexu spolehlivosti $\beta_t = 3,8$ odpovídají návrhové hodnoty pravděpodobnostem:

- $p \approx 0,0012$ (odolnosti, hlavní) – dolní kvantil,
- $p \approx 0,11$ (odolnosti, vedlejší) – dolní kvantil,
- $p \approx 0,0039$ (zatížení, hlavní) – horní kvantil,
- $p \approx 0,14$ (zatížení, vedlejší) – horní kvantil.

Metoda návrhových hodnot vychází z podmínky

$$g(\mathbf{x}_d) = g(x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}) > 0 \quad (1.15)$$

kde návrhové body x_{id} jednotlivých základních veličin X_i jsou závislé na typu rozdělení a parametrech veličiny, na součinitelích citlivosti α_i a na indexu spolehlivosti β .

V souladu se zásadami Eurokódů se dílčí součinitele spolehlivosti γ_i základních veličin x_i u veličin s nepříznivým vlivem na pravděpodobnost poruchy P_f , pro které $\alpha_i < 0$ (zatížení), stanoví ze vztahu

$$\gamma_i = x_{id} / x_{ik} \quad (1.16.a)$$

a u veličin s příznivým vlivem na P_f , pro které $\alpha_i > 0$ (veličiny odolnosti), ze vztahu

$$\gamma_i = x_{ik} / x_{id} \quad (1.16.b)$$

Takto definované dílčí součinitele spolehlivosti γ_i jsou zpravidla větší než 1. Podrobný postup uplatnění dílčích součinitelů spolehlivosti při ověřování spolehlivosti stavebních konstrukcí je uveden přímo v dokumentech [2,3] a v příručce [47].

7. DÍLČÍ SOUČINITELE ODOLNOSTI A ZATÍŽENÍ

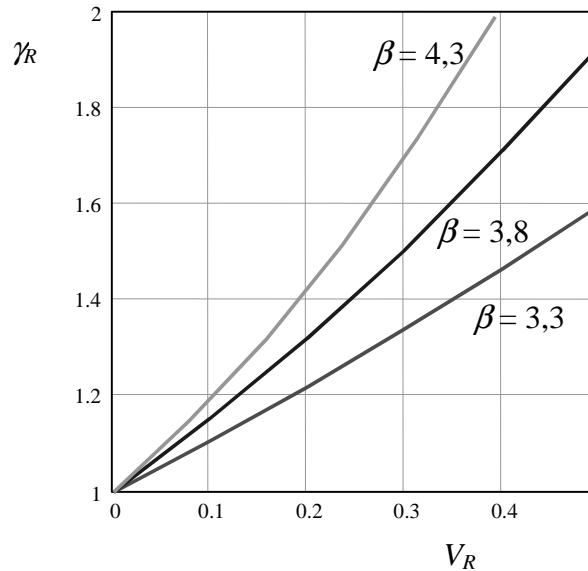
Dílčí součinitele odolnosti

Odolnost R nosných prvků se obvykle popisuje dvouparametrickým lognormálním rozdělením s počátkem v nule [2,55,57]. Charakteristická hodnota odolnosti je v Eurokódech definována jako dolní kvantil odpovídající pravděpodobnosti 5 %. Pro dílčí součinitel odolnosti γ_R pak ze vztahů (1.16) a (2.30) plyne [2]

$$\gamma_R = \exp(-1.645 V_R) / \exp(-\alpha_R \beta V_R) \quad (1.17)$$

kde V_R je variační koeficient odolnosti R a β požadovaný index spolehlivosti. Součinitel -1.645 je hodnota kvantilu normované náhodné veličiny s normálním rozdělením a s

pravděpodobností 5 % (viz kapitola 2), součinitel citlivosti $\alpha_R = 0,8$ plyne z Tab. 1.3. Obr. 1.5 ukazuje závislost součinitele odolnosti γ_R na variačním koeficientu V_R pro vybrané hodnoty indexu spolehlivosti $\beta = 3,3, 3,8$ a $4,3$ (hodnoty uvažované v ČSN EN 1990 [2]). Jde o součinitel pro hlavní veličinu odolnosti ($\alpha_R = 0,8$). U odolnosti se však většinou nerozlišují hlavní a vedlejší veličiny a zpravidla se všechny základní veličiny ovlivňující odolnost považují za hlavní. To je zřejmě další zjednodušující předpoklad vedoucí ke konzervativním odhadům návrhových hodnot veličin odolnosti.



Obr. 1.5. Dílčí součinitele odolnosti γ_R v závislosti na variačním koeficientu V_R pro vybrané β .

Z Obr. 1.5 je patrné, že pro variační koeficient 0,10 (beton, ocelové konstrukce) by dílčí součinitel odolnosti měl být asi $\gamma_R = 1,15$. Jde však o ryze teoretické výsledky, které jsou závislé na předpokládaném modelu odolnosti (dvouparametrické lognormální rozdělení). Přímou aplikaci výsledků zachycených na Obr. 1.5 dále znesnadňuje skutečnost, že charakteristická hodnota pevnosti (meze kluzu) konstrukčních materiálů (betonu, oceli, ale i jiných materiálů) odpovídá ve skutečnosti pravděpodobnosti nižší než 5 %, která se uvádí v ČSN EN 1990 [2] a uvažuje se také v předloženém rozboru. Tento jev vyvolává všeobecná snaha o zvýšení jakosti výroby materiálů, která vede zejména ke zvýšení průměru pevnosti skutečné produkce [76].

Dílčí součinitele zatížení

Zatížení stálé G se obvykle popisuje normálním rozdělením (symbol G se používá v Eurokódech). Charakteristická hodnota stálého zatížení je rovna průměru, $G_k = \mu_G$ (viz kapitola 3). Dílčí součinitel γ_G pak plyne ze vztahu (1.16) ve tvaru

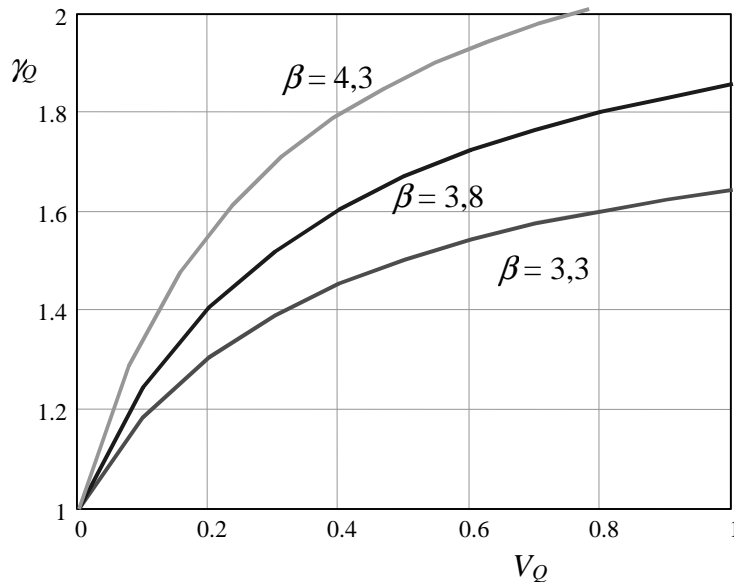
$$\gamma_G = (1 + 0,7 \beta V_R) \quad (1.18)$$

kde V_G je variační koeficient stálého zatížení, který se většinou pohybuje v okolí hodnoty 0,1. Pro $\beta = 3,8$ pak vychází $\gamma_G \cong 1,27$, s ohledem na modelové nejistoty se v Eurokódech doporučuje $\gamma_G = 1,35$.

Zatížení proměnné Q se často popisuje Gumbelovým rozdělením [2,47,55,57]. Charakteristická hodnota proměnného zatížení je v Eurokódech definována jako 2% horní kvantil rozdělení pro vhodně zvolené referenční období (1 rok, 5 let). Za těchto předpokladů dílčí součinitel proměnného zatížení γ_Q plyne ze vztahů (1.16), (2.26) a (2.31) ve tvaru

$$\gamma_Q = \frac{1 - V_Q(0,45 - 0,78 \ln(N) + 0,78 \ln(-(\ln(-\alpha_Q \beta))))}{1 - V_Q(0,45 + 0,78 \ln(-(\ln(0,98))))} \quad (1.19)$$

kde V_Q označuje variační koeficient Gumbelova rozdělení pro referenční období (1 rok nebo 5 let) a N označuje počet očekávaných změn intenzity zatížení (např. 50 nebo 10) během předpokládané životnosti konstrukce (např. 50 let).

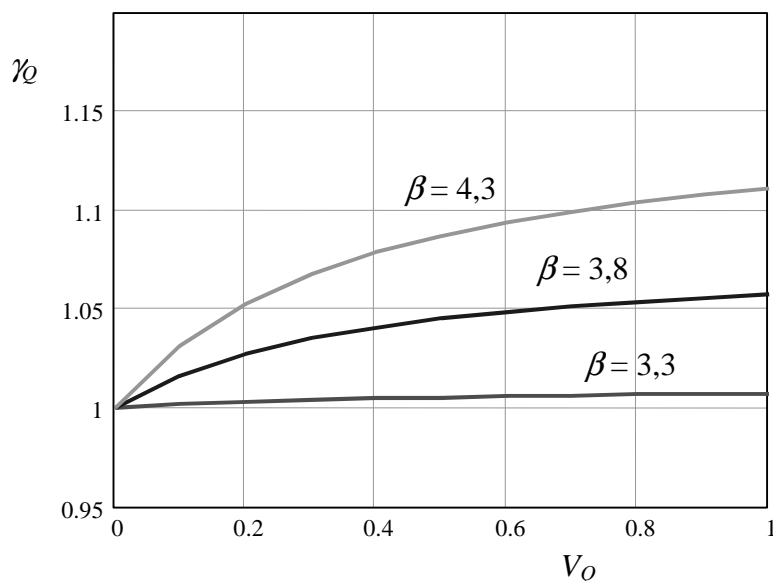


Obr. 1.6. Dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení pro $\alpha_Q = -0,7$ a $N = 10$.

Obr. 1.6 zachycuje teoretické hodnoty dílčího součinitele hlavního proměnného zatížení (součinitel citlivosti $\alpha_Q = -0,7$) pro počet změn intenzity zatížení během celkové doby životnosti $N = 10$. Jde např. o dlouhodobou složku užitného zatížení kancelářských prostor, pro kterou se zpravidla předpokládá změna každých 5 let, pro celkovou životnost 50 let je tedy $N = 10$.

Pro $\beta = 3,8$ a variační koeficient $V_Q \approx 1$ plyne z Obr. 1.6 dílčí součinitel $\gamma_Q \approx 1,8$ a potvrzuje se tak skutečnost, že doporučené hodnoty součinitelů citlivosti v Tab. 1.3 jsou na bezpečné straně. Jde však pouze o teoretické výsledky za předpokladu Gumbelova rozdělení, které nemusí být vždy pro užitná zatížení vystižným modelem. Navíc charakteristická hodnota udaná v předpisech, např. v ČSN EN 1991-1-1 [3], je vyšší než kvantil s pravděpodobností 0,98. Např. u kancelářských prostor se v ČSN EN 1991-1-1 [3] uvádí tradiční rozmezí charakteristických hodnot od 2,5 do 3,0 kN/m², zatímco teoretický kvantil s pravděpodobností 0,98 je nižší, přibližně od 2,1 až 2,3 kN/m² (závisí na konstrukčním uspořádání). Tato okolnost vyvolaná historickými zvyklostmi pak vede ke snížení teoretických hodnot dílčího součinitele užitných zatížení na hodnotu $\gamma_Q = 1,5$.

Poněkud složitější situace nastává v případě, že proměnné zatížení Q vystupuje v kombinaci zatížení jako vedlejší zatížení. Pak podle Tab. 1.3 je součinitel citlivosti $\alpha_Q = -0,28$ a teoretické hodnoty odvozené za předpokladu Gumbelova rozdělení se dramaticky změní. Ukazuje to Obr. 1.7, který platí pro stejné předpoklady jako Obr. 1.6 kromě hodnoty součinitele citlivosti, pro který se uvažuje hodnota se $\alpha_Q = -0,28$.



Obr. 1.7. Dílčí součinitel vedlejšího proměnného zatížení pro $\alpha_Q = -0,28$ a $N = 10$.

Dílčí součinitel vedlejšího proměnného zatížení vychází tedy podstatně nižší než u hlavního proměnného zatížení. Ke snížení návrhové hodnoty vedlejšího proměnného zatížení však v [2] přihlíží součinitel kombinací hodnoty ψ_0 (pro kancelářské prostory $\psi_0 = 0,7$), kterým se vlastně redukuje výsledný součinitel proměnného zatížení z hodnoty $\gamma_Q = 1,5$ na hodnotu $\gamma_Q = 1,05$. Pro index spolehlivosti $\beta = 3,8$ tato redukce odpovídá velmi dobře výsledkům zachyceným na Obr. 1.7.

8. ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Obecné zásady

Norma ČSN ISO 13822 Hodnocení existujících konstrukcí [1] poskytuje obecné požadavky a postupy pro hodnocení existujících konstrukcí a navrhování jejich obnov, které vycházejí ze zásad teorie spolehlivosti konstrukcí a z následků jejich poruchy. Norma je materiálově nezávislá, její pokyny lze použít pro hodnocení libovolného druhu existující konstrukce. Protože je to mezinárodní norma, odkazuje na systém ISO norem pro navrhování konstrukcí, zejména na ISO 2394 [21], která byla do systému ČSN zavedena, i když zatím pouze v anglickém jazyce. V současnosti se do systémů našich norem zavádějí Eurokódy EN, které budou uceleným souborem norem určeným především pro navrhování nových konstrukcí. Klíčový Eurokód ČSN EN 1990 [2] pro zásady navrhování vychází ze shodného dokumentu jako norma ČSN ISO 13822 [1] určená pro navrhování přestaveb.

Text normy ČSN ISO 13822 [1] je v některých případech formulován dosti obecně a neposkytuje uživateli dostatek informací pro přímou aplikaci pokynů. Proto jsou důležité národní přílohy, které umožní vybraná obecná ustanovení lépe vysvětlit. Do národní přílohy se zapracují některé pokyny z norem ČSN 73 0038 [28], ISO 2394 [21] a ČSN EN 1990 [2], které se zaměří a doplní o ustanovení pro hodnocení existujících konstrukcí a navrhování jejich přestaveb. Z kritického rozboru ČSN ISO 13822 [1] vyplývají následující poznatky:

1. Lze se držet obecného postupu hodnocení konstrukcí uvedeného v ČSN ISO 13822 [1]. Vývojový diagram uvedený v příloze B [1] názorně doplňuje postup hodnocení (viz Obr. 1.1).

2. Termíny v ČSN ISO 13822 [1] jsou zčásti nové a jsou vysvětleny v definicích i textu. Chybí zde termín rekonstrukce, vada, dostavba, naopak se zde objevuje několik nových pojmů z teorie pravděpodobnosti a dále termíny plán využití a plán bezpečnostních opatření. Souvztažnost termínů je patrná ze schématu v příloze A [1] (viz Obr. 1.2).
3. Zásady zpracování dostupných dat se rozšiřují o některé pokyny z ČSN a ČSN EN 1990, přílohy D [2]. Metodické postupy výběru vzorků uvádějí i další ISO normy, které se uvádějí v NA v bibliografii.
4. Analýza konstrukcí by měla vycházet ze zásad teorie spolehlivosti. V NA se uvádějí doplňující pokyny, jak aplikovat při analýze konstrukcí soustavu platných národních norem společně s ČSN ISO 13822 [1]. Dříve platné předpisy mají informativní charakter.
5. Při ověřování spolehlivosti konstrukcí se kromě běžné metody dílčích součinitelů mohou použít pravděpodobnostní postupy, na jejichž základě lze spolehlivost zpřesňovat.
6. Při ověřování spolehlivosti lze přihlížet k dřívějšímu uspokojivému chování konstrukce (platí pro mezní stavy únosnosti i použitelnosti).
7. Charakteristické a návrhové hodnoty materiálových vlastností lze stanovit na základě teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky.
8. ČSN ISO 13822 [1] neposkytuje návody, jak stanovit pravděpodobnost poruchy v závislosti na návrhové životnosti. Pravděpodobnost poruchy pro určitou návrhovou životnost je nutno stanovit na základě rozboru rizik a nákladů způsobených poruchou.
9. Směrnou úroveň spolehlivosti lze stanovit s ohledem na kategorii konstrukce, uvažovaný mezní stav a možná rizika. Směrné hodnoty v ČSN ISO 13822 [1] a ČSN EN 1990 [2] vycházejí ze zásad teorie pravděpodobnosti, teorie spolehlivosti a z pokynů ISO 2394 [21].
10. V Eurokódu ČSN EN 1990, příloze D [2] a v ISO 2394 [21] jsou podrobnější pokyny pro stanovení návrhové hodnoty základní veličiny, než je tomu v ČSN ISO 13822 [1] a v ČSN 73 0038 [28].
11. Postupy pro hodnocení vlivu časově závislých veličin na spolehlivost konstrukcí uvedené v ISO 13822 [1] jsou příliš obecné a neumožňují přímou aplikaci při hodnocení spolehlivosti.

V národní příloze k ČSN ISO 13822 [1] jsou uvedeny zejména tyto informace:

- vysvětlení některých základních pojmů s přihlédnutím k národním tradicím,
- pokyny pro ověřování spolehlivosti existujících konstrukcí,
- informace o způsobu stanovení charakteristických a návrhových hodnot základních veličin (materiálů, zatížení),
- pokyny pro pravděpodobnostní způsob ověřování konstrukcí,
- postupy aktualizace modelů základních veličin,
- pokyny pro zkoušení vlastností existujících konstrukcí,
- obecné informace o hodnocení a obnovách památkově chráněných staveb.

Důležitým podkladem pro vypracování návrhu přestavby je průzkum konstrukce, ve kterém se uvedou údaje o stavu objektu, vlastnostech materiálů a základové půdě, o poruchách a vadách konstrukce, o příčinách těchto vad, o druzích a velikostech zatížení, která na konstrukci působí nebo v minulosti působila, o vlivech prostředí a o dokumentaci konstrukce.

Metoda dílčích součinitelů

V běžných případech ověřování spolehlivosti existující konstrukce nebo navrhování její přestavby se aplikuje metoda dílčích součinitelů, neboť lze postupovat podle obvyklých postupů pro navrhování nových konstrukcí. U existujících konstrukcí však může být problémem modelování časově závislých vlastností materiálů, vlastností zatížení a účinků prostředí. Není vždy zcela zřejmé, zda je potřebné aplikovat stejně velké hodnoty dílčích součinitelů zatížení a materiálových vlastností jako při navrhování nových konstrukcí. Požadavky Eurokódů na zatížení jsou většinou přísnější, než je tomu u norem ČSN.

Významný rozvoj pravděpodobnostních metod teorie spolehlivosti v posledních desetiletích umožnil vývoj mezinárodních dokumentů pro navrhování stavebních konstrukcí. Také základní evropská norma ČSN EN 1990 [2] se systematicky opírá o poznatky teorie a zpracované metody rozboru spolehlivosti. Koncepce součinitelů citlivosti, metoda návrhových hodnot a metodika stanovení dílčích součinitelů uvedená v ČSN EN 1990 [2] úzce navazují na rozšířenou pravděpodobnostní metodu FORM (First Order Reliability Method – viz kapitola 5). Doporučené hodnoty dílčích součinitelů a redukčních součinitelů pro kombinace zatížení jsou zčásti odvozeny z obecných postupů metody FORM. Tento přístup také umožňuje určit dílčí součinitele spolehlivosti pro stanovenou úroveň spolehlivosti a vhodné modely základních veličin. Umožňuje tedy uplatnit zásady diferenciací spolehlivosti, které mohou mít při hodnocení existujících konstrukcí velký význam (viz kapitola 5).

KAPITOLA 3

POSTUP HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Vladislava Návarová¹

¹SPŠS, České Budějovice, Česká republika

Obsah

V této kapitole jsou uvedeny obecné požadavky a postupy hodnocení (dříve posouzení) existujících (stávajících) konstrukcí, které vycházejí ze zásad spolehlivosti konstrukcí a z následků jejich poruch.

1 ÚVOD

Při hodnocení existujících konstrukcí by se mělo vycházet z odpovídajících norem EN (pro ČR ČSN EN 1990). Tyto normy nemusí být jako podklad dostatečně určující a vyčerpávající.

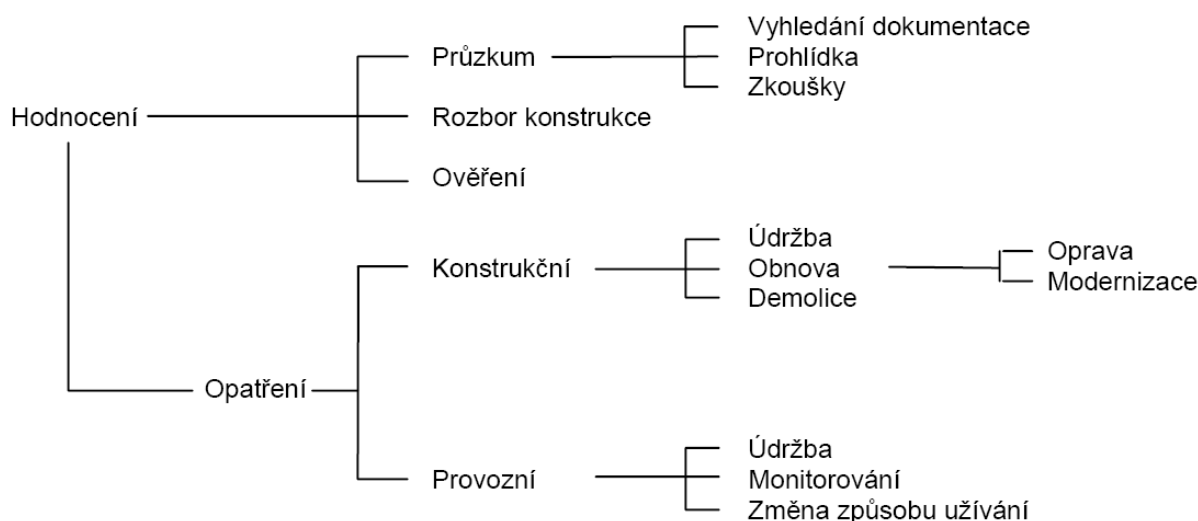
Proto je pro hodnocení existujících konstrukcí doplněna norma ISO 13822, která jasně upravuje jednotlivé kroky. Tato norma v zásadě doporučuje stanovit únosnost existujících nosných prvků s ohledem na účinky zatížení a s vlivem skutečné degradace existující konstrukce.

K zahájení hodnocení (dříve posouzení) mohou vést následující okolnosti:

- v objektu se vyskytují vady a poruchy - degradace konstrukce
- je navržena změna užívání objektu
- je navrženo prodloužení životnosti existující konstrukce
- jsou navrženy stavební úpravy objektu vedoucí ke změně zatížení existujících konstrukcí
- je požadováno ověření životnosti existující konstrukce
- došlo k mimořádnému zatížení existujících konstrukcí.

Při hodnocení existujících konstrukcí nemusíme mít i v případě provedení pečlivé opakované prohlídky jistotu, že známe veškeré údaje o konstrukci. Pokud máme pochybnosti a nebo jsme si vědomi nedostatečné prohlídky skrytých částí konstrukce, můžeme zvýšit index spolehlivosti konstrukce.

2 NÁVAZNOST TERMÍNŮ DLE ČSN ISO 13822



hodnocení (*assessment*)

soubor činností prováděných za účelem ověření spolehlivosti existující konstrukce z hlediska jejího budoucího použití

průzkum (*investigation*)

shromažďování a hodnocení informací na základě prohlídky, přezkoumání dokumentace, zatěžovací zkoušky a další zkoušky

prohlídka (*inspection*)

nedestruktivní šetření v místě stavby umožňující stanovit současný stav konstrukce

zkoušky (*testing*)

zkoušky materiálových vlastností konstrukce nebo zatěžovací zkoušky konstrukce

analýza konstrukce (*analysis*)

stanovení účinky zatížení na konstrukci, stanovení příčin pozorovaného poškození nebo nesprávného chování konstrukce

ověření (*verification*)

zjištění směrné úrovně spolehlivosti – úroveň pro zajištění přijatelné bezpečnosti a spolehlivosti

opatření (*measure*)

navržené změny pro zajištění požadované bezpečnosti a spolehlivosti konstrukce

údržba (*maintenance*)

obvyklá opatření pro zachování odpovídající funkční způsobilosti konstrukce

obnova (*rehabilitation*)

práce potřebné k opravě, popř. k modernizaci existující konstrukce

oprava (konstrukce) (*repair (of a structure)*)

zlepšení stavu konstrukce obnovením či nahrazením existujících prvků, které byly poškozeny

modernizace (rekonstrukce, přestavba) (*upgrading*)

úpravy existující konstrukce za účelem zlepšení její funkční způsobilosti

demolice (*demolition*)

práce potřebné k odstranění existující konstrukce

monitorování (*monitoring*)

časté nebo souvislé, obvykle dlouhodobé pozorování či měření stavu konstrukce nebo zatížení

změna způsobu užívání (*change in method of use*)

požadavky na změnu způsobu užívání existující konstrukce, které zajistí požadovanou bezpečnost a spolehlivost konstrukce

3 POSTUP HODNOCENÍ DLE ČSN ISO 13822

3.1 VSTUPNÍ ÚDAJE

Před zahájením vlastního hodnocení existujících konstrukcí musíme získat od objednatele vstupní informace. Z těchto vstupních informací stanovíme účel hodnocení existující konstrukce. Účelem hodnocení existující konstrukce může být:

- vyhodnotit možnost změny v užívání prostoru (např. změna stávajících prostor půdy na bytové prostory)
- vyhodnotit spolehlivost existující konstrukce v případě změny ve statických modelech konstrukcí (např. nástavba dalších podlaží)
- vyhodnotit spolehlivost konstrukce vzhledem k její degradaci (vady a poruchy konstrukce)
- vyhodnotit spolehlivost konstrukce vzhledem k jejímu poškození od mimořádných zatížení

Na základě architektonického a konstrukčního návrhu určíme rozsah změny konstrukčních podmínek nebo rozsah změny zatížení. Zhodnotíme možné scénáře působení existujících konstrukcí se zahrnutím vlivu očekávaných změn zatížení, změn ve statických modelech existujících konstrukcí a změn v tuhosti celého existujícího objektu.

3.2 PŘEDBĚŽNÉ HODNOCENÍ

3.2.1 PRŮZKUM

a) VYHLEDÁNÍ A PROHLÍDKA DOKUMENTACE

Provedeme prohlídku dokumentace a zhodnotíme její úplnost jak z hlediska rozsahu, tak i z hlediska správnosti dokumentace. Dále se pokusíme zajistit veškeré dostupné údaje o existujících konstrukcích:

- historii stavebních úprav existujícího objektu a úprav existujících konstrukcí zejména oslabení existujících konstrukcí, snížení tuhosti objektu
- historii stavebních úprav sousedních objektů, pokud mají vliv na konstrukční stav vyšetřovaného objektu
- významné účinky prostředí na existující konstrukce jako jsou například mimořádná zatížení požárem, povodní atd.

V dokumentaci vyhledáme veškeré údaje o navržených pevnostech použitých materiálů, rozměrech konstrukcí a jejich návaznosti, o skladbách jednotlivých konstrukcí a navržených zatíženích konstrukcí.

b) PŘEDBĚŽNÁ PROHLÍDKA

Předběžnou prohlídku provádíme z důvodu ověření skutečného stavu existujících konstrukcí a zdokumentování rozsahu vad a poruch existujících konstrukcí (obrázek 1). Prohlídku existujících konstrukcí provedeme vizuálně a dále pomocí jednoduchých zkušebních a měřících metod.

Při prohlídce shromažďujeme informace o skutečném stavu existujících konstrukcí:

1. skutečných rozměrech jednotlivých existujících konstrukcí a o skutečných rozměrech navazujících skladeb konstrukcí. Zaměření skutečných rozměrů je podmínkou pro určení skutečné hodnoty charakteristického stálého zatížení. Postup určení hodnot stálého zatížení je uveden v navazující kapitole 4.
2. o technickém řešení detailů existujících konstrukcí



Obrázek 1 - Fotografie stavebních úprav objektu.

3. o skutečných zatěžujících obrazcích existujících konstrukčních prvků
4. o statických modelech jednotlivých existujících konstrukcí
5. o dodržení konstrukčních zásad platných pro existující konstrukce
6. o shodě původní projektové dokumentace se skutečným stavem existujících konstrukcí
7. o použitých materiálech pro jednotlivé existující konstrukce
8. o povrchových vlastnostech existujících konstrukcí určených vizuálně a s pomocí povrchových zkoušek

Při prohlídce zaznamenáváme údaje o poruchách existujících konstrukcí

1. o viditelných deformacích existujících konstrukcí
2. o ztrátě stability existujících konstrukcí
3. o trhlinách na existujících konstrukcích
4. o korozi existujících konstrukcí
5. o napadení existujících konstrukcí biologickými škůdci
6. o změně povrchové struktury nebo barvy povrchu existující konstrukce

V průběhu předběžné prohlídky pořizujeme fotodokumentaci stavu existujících konstrukcí. Při předběžné prohlídce můžeme provést sádrové pásky pro sledování trhlin.

Výsledkem předběžné prohlídky je

1. popis skutečného stavu existujících konstrukcí včetně jejich rozměrů, povrchových vlastnostech materiálu a statických modelech
2. kvalitní zařídění existujících konstrukcí podle jejich stavu a míry jejich poškození

c) PŘEDBĚŽNÝ PRŮZKUM ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Důležitý je průzkum povrchu a trhlin a určení jejich příčin. Výskyt poruch a trhlin na zděných konstrukcích vypovídá o zhoršení statické funkce a snížení spolehlivosti konstrukce. Viditelné poruchy dokumentujeme v rámci předběžného průzkumu. Ve zdivu rozlišujeme poruchy statické nebo nestatické.

Statické poruchy jsou způsobeny statickým zatížením případně i s dynamickou složkou. Nejčastěji se projevují deformacemi, trhlinami, drcením a místním poškozením (obrázek 2).

Nestatické poruchy jsou způsobené vlivem prostředí například zvýšenou vlhkostí, vlivem teploty, chemickými nebo biologickými vlivy.



Obrázek 2 - Fotografie poruch zdiva objektu.

Trhliny ve zděných konstrukcích zatřídíme podle následujících kritérií:

- podle příčin vzniku trhlin
- podle stavu přetvoření zděné konstrukce
- podle polohy trhlin vzhledem k prvkům zdiva
- podle celkového průběhu trhlin – přímé, zalomené, svislé, vodorovné, šikmé
- podle délky a šířky trhlin
- podle druhu zdiva a druhu konstrukce.

Dále při průzkumu posuzujeme podle tvaru, polohy a směru trhlin, zda jde o trhliny tahové, tlakové nebo smykové. Často porušení zdiva vzniká v důsledku zatížení teplotou a následného vzniku objemových změn nebo v důsledku působení vlhkého prostředí.

Při prováděném průzkumu je vhodné zakreslit schéma trhlin a poruch a tím zjistit vzájemné návaznosti trhlin a změny v jednotlivých podlažích.

Při předběžném průzkumu usuzujeme fyzikální a mechanické vlastnosti zdiva z povrchových vlastností vizuální prohlídkou nebo pomocí jednoduchých nástrojů. Pevnost zdiva závisí převážně na:

- pevnosti cihel v tlaku a v tahu, rozměrech cihel
- pevnosti malty v tlaku a v tahu, rozměrech
- použité technologii provádění zdiva zejména vlivu konzistence použité malty a nasákavosti cihel
- použité vazbě cihle ve zdivu
- případné existenci vad zdiva vycházejících z projektové dokumentace
- případné existenci vad zdiva vzniklých z technologie provádění
- případné existenci poruch zdiva v důsledku užívání objektu.

d) PŘEDBĚŽNÝ PRŮZKUM DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Dřevěné nosné prvky mohou mít za běžných podmínek kratší životnost než ostatní nosné prvky. Při průzkumu dřevěných konstrukcí sledujeme kromě materiálových charakteristik, statických modelů a skutečných rozměrů prvků také možné napadení dřevokaznými houbami nebo dřevokazným hmyzem.



Obrázek 3 - Fotografie příkladu napadení dřevokazným hmyzem

Nejčastější příčiny poruch dřevěných konstrukcí jsou:

- zatékání srážkové vody do konstrukce a následná hniloba dřeva
- zvýšená vlhkost navazujícího prostředí
- zatížení překračující maximální přípustné hodnoty
- narušení dřevěné hmoty dřevokaznou houbou nebo škůdci

Nejčastější poruchy dřevěných prvků jsou:

- nadměrné deformace prvků
- praskliny dřevěného prvku
- otlačení dřevěného prvku
- poškození struktury dřeva houbami, hmyzem nebo hnilobou (obrázek 3)

Při průzkumu dřevěných konstrukcí věnujeme pozornost zejména povrchové struktuře dřeva, struktuře dřeva pod povrchem, rozměrům dřevěného prvku, hloubce narušení dřeva a rozsahu tohoto narušení a velikosti přetvoření dřevěných prvků.

Stav dřevěných prvků z hlediska narušení posuzujeme vizuální prohlídkou, poklepen na dřevěný prvek a provedením vrypu do dřeva. Přesné určení přítomnosti dřevokazných hub nebo hmyzu zjišťuje specialista mykolog v podrobném průzkumu.

Při předběžném průzkumu usuzujeme fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva z povrchových vlastností vizuální prohlídkou nebo pomocí jednoduchých nástrojů.

e) PŘEDBĚŽNÝ PRŮZKUM OCELOVÝCH KONSTRUKCÍ

Při průzkumu ocelových konstrukcí sledujeme deformace a přetvoření, statické modely, skutečné rozměry prvků a výskyt koroze. Dále sledujeme řešení a stav styků ocelových konstrukcí včetně spojovacích prvků, stav nosných svarů ocelové konstrukce.

Nejčastější příčiny poruch ocelových konstrukcí jsou:

- vliv nadměrné vlhkosti,
- agresivní prostředí
- zatížení překračující maximální přípustné hodnoty
- vady v projektové dokumentaci – nedostatečné dimenze prvků

Nejčastější poruchou ocelových konstrukcí mohou být:

- nadměrné deformace a přetvoření prvků
- ztráta stability vybočením, klopením
- oslabení ocelových prvků korozí
- porušení spojů a svarů.

Při průzkumu ocelových konstrukcí věnujeme pozornost zejména povrchové struktuře oceli, rozsahu koroze, rozměrům ocelového prvku, stavu styků a to zejména stavu nosných svarů a kotevních šroubů, velikosti přetvoření ocelových prvků.

Stav ocelových prvků posuzujeme vizuální prohlídkou. Pokud nemáme pochybnosti, usuzujeme pevnostní charakteristiky podle původní dokumentace, historické zatřídění použitého materiálu a odvození příslušných hodnot, vizuální prohlídkou nebo odvozením z povrchové tvrdosti.

Stav poruch ocelových konstrukcí dokumentujeme.

f) PŘEDBĚŽNÝ PRŮZKUM ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Železobetonové konstrukce se vyznačují dlouhou životností. Tato životnost může být omezena vadami projektové dokumentace například:

- nedostatečnou tahovou výztuží
- nedostatečnou smykovou výztuží
- malou krycí vrstvou výztuže
- nedostatečnými kotevními délkami prutů



Obrázek 4 - Fotografie degradace výztuže železobetonu.

Dále může být životnost železobetonových konstrukcí omezena vadami technologie např.:

- prováděním za nízkých nebo záporných teplot
- špatným umístěním výztuže
- nedodržením krycích vrstev
- nedostatečným zpracováním betonu
- nevhodným ošetřováním po uložení

Dále může být životnost železobetonových konstrukcí omezena například:

- vlivem nadměrné vlhkosti
- vlivem agresivního prostředí
- vlivem extrémních teplot
- zatížením překračující maximální přípustné hodnoty.

Nejčastější poruchou železobetonových konstrukcí můžou být:

- koroze výztuže a tím snížené spolehlivosti konstrukce (obrázek 4)
- nadměrné deformace a přetvoření prvků
- tahové trhliny
- smykové trhliny
- tlakové trhliny

Při průzkumu železobetonových konstrukcí věnujeme pozornost zejména povrchové struktuře betonu, rozsahu koroze, rozměrům železobetonového prvku, poloze a velikosti trhlin a velikosti přetvoření jednotlivých prvků.

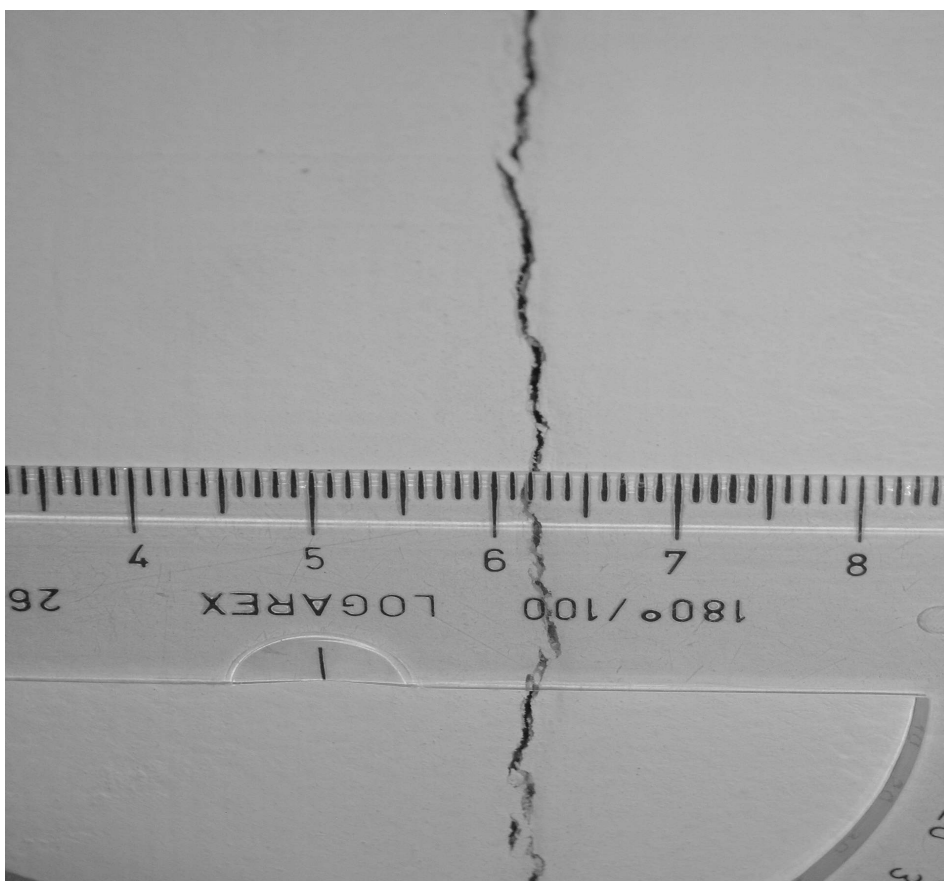
Stav železobetonových prvků posuzujeme vizuální prohlídkou. Pokud nemáme pochybnosti, usuzujeme pevnostní charakteristiky podle původní dokumentace, pomocí zatřídění použitého materiálu a odvození příslušných hodnot, vizuální prohlídkou nebo odvozením z povrchové tvrdosti.

Stav poruch železobetonových konstrukcí dokumentujeme.

3.2.2 ROZBOR KONSTRUKCE – ANALÝZA

Podle doporučení norem se má únosnost nosných prvků a konstrukcí stanovit s ohledem na skutečné účinky zatížení a to s vlivem skutečné degradace existující konstrukce.

V první fázi provedeme zatřídění existujících konstrukcí vzhledem k jejich stavu a míry jejich poškození (obrázek 5).



Obrázek 5 - Fotografie dokumentování poruch.

Mezi závažné vady a poruchy zařazujeme všechny vady a poruchy, které snižují zásadně spolehlivost existujících konstrukcí jako celku. Většinou se jedná o aktivní (nedokonané) vady a poruchy, u kterých dochází k jejich postupnému rozvoji a šíření.

Mezi méně závažné vady a poruchy zařazujeme takové, které se vyskytují lokálně a nemají zásadní vliv na spolehlivost existujících konstrukcí jako celku.

Při třídění poruch můžeme vycházet z mnoha různých hledisek. Podle závažnosti poruch můžeme členit na:

- a. Drobné poruchy a vady – menší vady a poruchy, které nesníží spolehlivost existující konstrukce, staticky nevýznamné, estetického charakteru, jejich opravení z hlediska spolehlivosti nutná.
- b. Hlavní vady a poruchy – vada a porucha, která s velkou pravděpodobností může vést k selhání existující konstrukce nebo ke snížení spolehlivosti existující konstrukce, staticky významné, je nutná včasná intervence.

- c. Kritické vady a poruchy – také můžeme nazývat havarijní vady a poruchy, které mohou vést k ohrožení osob, které pobývají v objektu nebo jsou v blízkosti tohoto objektu, je nutná okamžitá bezodkladná intervence.

V další fázi zjistíme statická schémata jednotlivých částí konstrukce a popíšeme příčiny pozorovaných vad a poruch nebo důvody nesprávného chování konstrukce. Nestačí jenom opravit poruchu (vadu), ale je třeba zjistit příčinu poruchy a v dalších krocích navrhnout opatření vedoucí k odstranění této příčiny.

Metody zjišťování příčin poruch:

- kontrolou stavebních prvků a dílců tj. porovnáváním existujících konstrukcí a jejich skutečných parametrů s původně předepsanými požadavky.
- vizuální prohlídkou poruch
- prohlídkou poruchy hmatem popřípadě poklepem pomocí náradí
- pomocí částečného odstranění povrchových vrstev
- pomocí hloubkových vrtů do vyšetřovaného prvku
- zatěžovacími zkouškami
- pomocí lokálních nebo pásových sond
- sledováním změn poruch v čase

Metody sledování poruch v čase:

- pomocí sádrových indikátorů – pásků v tloušťce 8-10mm, do pásku se provede zaznamenání datumu vytvoření popřípadě datumu dalších kontrol
- pomocí číselníkového úchylkoměru – dva zabroušené trny se osadí na okraje trhliny a měří se jejich vzájemný posun
- pomocí deformmetru – na konstrukce jsou osazeny terče, jejichž pohyb je zaznamenáván
- pomocí geodetických pomůcek

3.2.3 PŘEDBĚŽNÉ OVĚŘENÍ KONSTRUKCE

Předběžného ověření je hodnocení spolehlivosti a bezpečnosti existujících konstrukcí vzhledem ke zdokumentovaným údajům.

Podle uvedené normy ISO můžeme při hodnocení vycházet z dřívějšího vyhovujícího chování vyšetřované existující konstrukce. Konstrukce navržené a provedené podle dříve platných norem lze považovat za spolehlivé pro všechny druhy zatížení kromě mimořádných zatížení za těchto podmínek:

- prohlídka nezdokumentuje žádné hlavní nebo kritické poruchy a vady
- konstrukce má zdokumentované vyhovujícího chování v dostatečně dlouhém časovém úseku
- nejsou očekávány změny zatížení vyšetřované existující konstrukce
- je zajištěn základní přenos zatížení a napětí

Na základě předběžné prohlídky určíme:

ZATÍŽENÍ:

- a) vlastní tíha, objemové hmotnosti, stálé zatížení

- Charakteristickou hodnotu vlastní tíhy existujících konstrukcí můžeme určit na základě dostatečných dostupných dat z předběžné prohlídky a to statistickými metodami.
 - Objemovou hmotnost jednotlivých vrstev stanovíme na základě střední hodnoty objemové tíhy. V ostatních případech postupujeme podle normy pro stanovení zatížení pro pozemní stavby.
 - Charakteristickou hodnotu stálého zatížení určíme na základě odhadu průměru a odhadu odchylky průměru. Dle normy ISO je doporučeno minimálně 5 vzorků odběru.
- b) užitná zatížení
- Charakteristickou hodnotu užitného zatížení existujících konstrukcí jsou uvedeny v tabulce v normě zatížení pozemních staveb podle příslušné kategorie A-K.
 - Charakteristickou hodnotu zatížení přemístitelnými příčkami je možné uvažovat plošně jako přídavek k užitnému zatížení za předpokladu, že je zajištěno roznášení zatížení a vlastní tíha příčky je menší než 3,0KN/bm (vl.tíha příčky je menší než 1,0KN/bm – přídavek 0,5KN/m²; vl.tíha příčky je 1,0 – 2,0KN/bm – přídavek 0,8KN/m²; vl.tíha příčky je 2,0 – 3,0KN/bm – přídavek 1,2KN/m²).
- c) zatížení sněhem
- Při hodnocení existujících konstrukcí mohou nastat problémy v důsledku zpřísnění norem pro zatížení sněhem.
 - Pokud existující konstrukce zvýšeným požadavkům na zatížení sněhem nevyhovuje, je možné konstrukce zesílit nebo podmiňovat spolehlivost existující konstrukce odstraňováním sněhu při dosažení určité maximální výšky sněhu.
- d) zatížení větrem
- Zatížení existujících konstrukcí větrem určíme dle platných norem EN.

VLASTNOSTI MATERIÁLŮ:

- Je třeba uvažovat se skutečnými materiálovými charakteristikami určenými nebo ověřenými průzkumem existujících konstrukcí. Při určování materiálových charakteristik musíme uvážit vliv degradace.

ROZMĚRY:

- Rozměry existující konstrukce stanovíme z výkresů a na základě prohlídky a měření.

Pokud jsou určeny jednotlivé složky zatížení existující konstrukce, vlastnosti materiálů a rozměry je možné provést ověření spolehlivosti konstrukce pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Pro tyto mezní stavy provedeme kombinace zatížení pomocí dílčích součinitelů dle platných norem EN. Určení dílčích součinitelů zatížení a kombinační vzorce jsou uvedeny v příloze.

3.2.4 ROZHODNUTÍ O OKAMŽITÝCH OPATŘENÍCH

Pokud z předběžné prohlídky nebo z předběžného ověření vyplývá, že konstrukce je v nebezpečném – havarijním stavu, je nutné ihned rozhodnout o okamžitých opatřeních tak, aby bylo sníženo nebezpečí ohrožení veřejnosti. Toto rozhodnutí je nutné bezodkladně oznámit objednateli. Objednatel je povinen opatření provést okamžitě bez zbytečné časové prodlevy.

3.2.5 DOPORUČENÍ DALŠÍHO POSTUPU

Pomocí předběžného ověření vyhodnotíme další možnosti postupu:

- A) není nutné provést podrobné hodnocení

Předběžné ověření je dostačující pro hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí. Z předběžné prohlídky nebo z předběžného ověření vyplývá, že konstrukce je v průběhu požadované životnosti spolehlivá, není nutné provádět podrobné hodnocení a je možné přejít ke zprávě o výsledcích. Na základě předběžného hodnocení vypracujeme zprávu o výsledcích hodnocení včetně posudku a rozhodnutí o postačující spolehlivosti existujících konstrukcí.

B) je nutné provést podrobné hodnocení

Specifikujeme kritické části existujících konstrukcí, které je nutné vyhodnotit v dalších krocích – při podrobném hodnocení na základě podrobné prohlídky existujících konstrukcí.

3.3 PODROBNÉ HODNOCENÍ

3.3.1. PODROBNÝ PRŮZKUM – PODROBNÁ PROHLÍDKA

Podrobná prohlídka je provedena pomocí zkušebních metod destruktivních i nedestruktivních. Dále mohou být prováděny zatěžovací zkoušky existujících konstrukcí. Rozsah a schéma podrobného vyšetření existující konstrukce závisí na konkrétní konstrukci a požadavcích na výsledky podrobného průzkumu.

Při podrobné prohlídce provádíme například:

- e) časově závislý průzkum stavebních vad a poruch a následné zjišťování jejich příčin
- f) měření přetvoření existujících konstrukcí při provozním zatížení
- g) měření přetvoření existujících konstrukcí při zatěžovacích zkouškách
- h) odebrání vzorků pro zjištění materiálových charakteristik například pevnosti materiálu

Před provedením zkoušek v rámci podrobného průzkumu je třeba plán a postup zkoušek odsouhlasit s objednatelem a s certifikovanou zkušební organizací, která bude zkoušky provádět. V plánu zkoušek má být zspecifikován rozsah zkoušek a množství odebraných vzorků. Při odběru vzorků je třeba postupovat tak, abychom tímto odběrem neohrozili bezpečnost této existující konstrukce.

Při podrobné prohlídce zaznamenáváme postup této prohlídky s údaji časovými a datovými. Součástí podrobné prohlídky je dokumentace veškerých odebraných vzorků materiálů a zaznamenávání výsledků všech prováděných zkoušek a měření.

Dále provádíme sledování účinků okolního provozu a prostředí například vliv otřesů na objekt. V odůvodněných případech sledujeme teplotní režim a vlhkost prostředí působícího na existující konstrukci.

3.3.2. PODROBNÁ ANALÝZA KONSTRUKCE

Doplníme analýzu konstrukce provedenou v rámci předběžného ověření konstrukce o vyhodnocení odebraných vzorků, vyhodnocení časové závislosti poruch objektu (trhlin) a popřípadě o výsledky zatěžovacích zkoušek, pokud byly tyto zkoušky prováděny:

- a) Vyhodnocení odebraných vzorků – stanovení materiálových vlastností konstrukcí
- b) Vyhodnocení časové závislosti poruch objektu
- c) Výsledky zatěžovacích zkoušek

Výsledky zkoušek je vhodné porovnat s předpokládanými hodnotami dle dostupné dokumentace a s výsledky z předběžných prohlídek. Pokud dochází k velké odchylce od předpokladů, má se tato odchylka přezkoumat a popřípadě se provedou doplňující zkoušky.

3.3.3. PODROBNÉ OVĚŘENÍ KONSTRUKCE

Podrobné ověření je hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí vzhledem ke zdokumentovaným údajům upřesněných pomocí podrobné prohlídky existujících konstrukcí.

Ověřování musí vycházet z koncepce mezních stavů a lze ho provádět metodou dílčích součinitelů nebo metodami teorie spolehlivosti.

Ekonomické a sociální hledisko připouští větší rozdíly ve spolehlivosti při hodnocení existujících konstrukcí a nově navržených konstrukcí. Tyto rozdíly se do hodnocení zavedou pomocí směrné úrovně spolehlivosti. Pro existující konstrukce se mohou použít nižší směrné úrovně spolehlivosti, jestliže jsou zdůvodnitelné na základě sociálně-ekonomických hledisek.

Dílčí součinitele, které jsou uvedené v současných normách, se mohou v případě existujících konstrukcí upravit podle výsledků prohlídky a zkoušek (viz. příloha).

Příklady směrné úrovně spolehlivosti jsou uvedeny v následující tabulce. Konkrétní postup určení směrné spolehlivosti a tím i určení dílčích součinitelů jsou uvedeny v příloze této příručky.

Tabulka – Příklady směrné úrovně spolehlivosti dle ISO13822

Mezní stav	Směrný index spolehlivosti \square	Referenční doba
použitelnosti vratné	0,0	plánovaná zbytková životnost
nevratné	1,5	plánovaná zbytková životnost
únavy kontrolovatelné	2,3	plánovaná zbytková životnost
nekontrolovatelné	3,1	plánovaná zbytková životnost
únosnosti velmi malý následek poruchy	2,3	L_S v letech ^{a)}
malý následek poruchy	3,1	L_S v letech ^{a)}
střední následek poruchy	3,8	L_S v letech ^{a)}
vysoký následek poruchy	4,3	L_S v letech ^{a)}
^{a)} L_S minimální obvyklá doba z hlediska bezpečnosti (např. 50 let)		

3.4. VÝSLEDKY HODNOCENÍ

Výsledky hodnocení existující konstrukce mají být jasně popsány ve zprávě o výsledcích hodnocení existující konstrukce. Podrobný obsah zprávy o výsledcích hodnocení existujících konstrukcí je uveden v příloze.

Závěry hodnocení by měly jasně popsat stav existujících konstrukcí z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti. V závěru má být jasně popsáno, které prvky jsou

vyhovující a které nevyhovující. Dále je nutné uvést podmínky pro užívání konstrukce a shrnout navržená konstrukční a provozní opatření. Závěr hodnocení by měl také vysvětlit případný nesoulad mezi výsledky ověření konstrukce a skutečným stavem konstrukce například skutečnost, že z ověření vyplývá, že existující konstrukce není bezpečná a přitom tato konstrukce nevykazuje žádné poruchy.

V závěru hodnocení musí být vyhodnocena bezpečnost a provozuschopnost stavby.

a) Hodnocení bezpečnosti (dle ISO 13822)

Konstrukce navržené a provedené podle dříve platných norem, nebo, pokud nebyly použity normy, navržené a provedené na základě osvědčených stavebních zkušeností, lze považovat za bezpečné pro všechna zatížení kromě mimořádných (včetně seizmických) za předpokladu, že

- pečlivá prohlídka neodhalí žádné známky významného poškození, přetížení nebo degradace;
- se posoudí konstrukční systém včetně kritických detailů a jejich ověření z hlediska přenosu napětí;
- konstrukce vykazuje uspokojivé chování v průběhu dostatečně dlouhého časového období, ve které došlo v důsledku užívání a účinků prostředí k výskytu nepříznivých zatížení;
- odhad degradace, při kterém se uváží současný stav a plánovaná údržba, zajišťuje dostatečnou trvanlivost;
- po dostatečně dlouhé časové období nenastanou změny, které by mohly významně zvýšit zatížení konstrukce nebo ovlivnit její trvanlivost, a žádné takové změny nejsou očekávány.

b) Hodnocení provozuschopnosti (dle ISO 13822)

Konstrukce navržené a provedené na základě dříve platných norem, nebo, pokud nebyly normy použity, navržené a provedené na základě dobrých stavebních zkušeností, se mohou považovat za provozuschopné pro budoucí použití za předpokladu, že

- pečlivá prohlídka neodhalí žádné známky významného poškození, přetížení, degradace nebo přetvoření;
- v průběhu dostatečně dlouhého časového období konstrukce vykazuje uspokojivé chování s ohledem na poškození, přetížení, degradaci, přetvoření nebo kmitání;
- nenastanou změny v konstrukci nebo ve způsobu jejího využívání, které by mohly významně změnit zatížení včetně účinků prostředí na konstrukci nebo její část; a očekávaný proces degradace, stanovený s přihlédnutím k současnému stavu a plánované údržbě, neohrožuje trvanlivost konstrukce.

Součástí zprávy o výsledcích hodnocení existující konstrukce je návrh opatření konstrukčních nebo provozních.

Konstrukční opatření je možné navrhopat ve variantě obnova, oprava, modernizace a demolice. Podrobný popis doporučeného konstrukčního opatření existující konstrukce navrženého na základě předcházejícího hodnocení je součástí této zprávy. Projektová dokumentace navržených konstrukčních opatření není součástí této zpráva a je předmětem dalšího stupně dokumentace.

Provozní opatření je možné navrhopat jako další monitorování existující konstrukce nebo jako požadavky na změnu (snížení) provozních popřípadě klimatických zatížení tj. například změna užívání objektu.

Zpráva o výsledcích hodnocení existující konstrukce slouží jako podklad pro rozhodnutí objednatele o dalších činnostech související s hodnocenou existující konstrukcí. Pokud objednatel neprovede příslušné kroky pro zajištění bezpečnosti veřejnosti, například u havarijního stavu existujících konstrukcí, může mít zpracovatel hodnocení existující konstrukce povinnost informovat příslušné úřady.

4. STRUKTURA ZPRÁVY DLE ISO 13822

Vzorová zpráva je uvedena v příloze.
Základní členění zpráva dle ISO 13822

1 Titulní strana

Mají se uvést následující položky: název, datum, objednatel a autor (plné jméno a adresa inženýra nebo firmy).

2 Jméno inženýra nebo firmy

Uvedou se osoby provádějící hodnocení společně se zástupci objednatele a s dalšími účastníky.

3 Souhrn

Na jedné až dvou stranách se problém výstižně a stručně shrne, uvedou se významné prvky vyšetřování, hlavní závěry a doporučení včetně všech důležitých výhrad a/nebo zamítnutí.

4 Vlastní obsah

Mají se zahrnout následující položky:

- a) rozsah hodnocení;
- b) popis konstrukce;
- c) vyšetřování;
 - zkoumané dokumenty,
 - předměty prohlídky,
 - postupy odběru vzorků a postupy zkoušek,
 - výsledky zkoušek;
- d) analýza;
- e) ověření;
- f) analýza údajů;
- g) posouzení možných variant opatření;
- h) závěry a doporučení;
- i) referenční dokumenty a literatura;
- j) přílohy.

5. ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Při provádění hodnocení stávajících konstrukcí se i přes veškerou pečlivost při předběžném průzkumu nevyhne nejasnostem. Tyto nejasnosti při hodnocení musíme pak dopřesnit při podrobném průzkumu.

Podrobnosti těchto postupů jsou přehledně uvedeny a znázorněny v normě ČSN ISO 13822. Tato norma ČSN ISO 13822 není v rozporu s ČSN 730038, norma ČSN ISO 13822 normu ČSN 730038 rozšiřuje o další kritéria a poznatky.

LITERATURA

- [1] ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí, ÚNMZ, 2005
- [2] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí, ÚNMZ, 2004
- [3] ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí, ÚNMZ, 2003.
- [4] ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, ÚNMZ, 2004
- [5] ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem, ÚNMZ, 2007
- [6] Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí , ČVÚT Praha, Kloknerův ústav, prof.Ing.Milan Holický DrSc., Ph.D. a kol
- [7] Poruchy a rekonstrukce staveb, ČVÚT Praha, prof.Ing.Jiří Witzany DrSc., a kol.
- [8] Rekonstrukce pozemních staveb, VUT BRNO, Doc.Ing.Josef Kos, CSc

KAPITOLA 4: METODA HODNOCENÍ BUDOV – METODA DÍLČÍCH SOUČINITELŮ

Roman Gottfried¹

¹Střední průmyslová škola stavební, Resslova 2, České Budějovice

Souhrn

Existující konstrukce byly často navrženy metodou dovolených namáhání nebo stupně bezpečnosti. Pokud byly navrženy metodou dílčích součinitelů, pak se postupy stanovení charakteristických a návrhových hodnot základních veličin, kombinace zatížení a použité výpočetní modely odlišují od současných evropských a mezinárodních norem. Základní metodou evropských předpisů EN Eurokódů i mezinárodních předpisů ISO je metoda dílčích součinitelů.

1 ÚVOD

Metoda dílčích součinitelů má při hodnocení existujících konstrukcí nebo navrhování jejich obnovy své přednosti i nevýhody. Není vždy zcela zřejmé, zda je potřebné aplikovat stejně velké hodnoty dílčích součinitelů zatížení a materiálových vlastností jako při navrhování nových konstrukcí. Požadavky Eurokódů na zatížení jsou většinou přísnější, než tomu bylo u norem ČSN.

Postupy hodnocení ověřování spolehlivosti konstrukcí metodou dílčích součinitelů jsou podrobně popsány v normách ČSN EN 1990 [1] a ČSN ISO 2394 [2]. Je zde uvedeno jak stanovit charakteristické a návrhové hodnoty základních veličin (zatížení, materiálů, geometrických veličin). Tyto normy uvádějí pravidla pro kombinace a postupy, jak stanovit účinky zatížení a odolnost konstrukce. Doporučené hodnoty dílčích součinitelů zatížení a materiálových vlastností byly stanoveny na základě kalibrací, porovnáním s původními normami, byly využity také pravděpodobnostní postupy. Uvažovala se při tom určitá úroveň spolehlivosti konstrukcí, (v běžných případech pro životnost konstrukcí 50 let a mezní stav únosnosti je směrná hodnota indexu spolehlivosti $\beta=3,8$ – způsob jeho určení není součástí této kapitoly Handbooku 3). Pokud by se u existujících konstrukcí uvažovala jiná hodnota indexu spolehlivosti β , pak by bylo možné dílčí součinitele pro existující konstrukce upravit tak aby tuto skutečnost zohledňovaly. V běžných případech se doporučuje aplikovat hodnoty dílčích součinitelů podle současných norem a stanovit charakteristické hodnoty materiálových a geometrických vlastností podle reálného stavu existující konstrukce.

2 ZÁSADY OVĚŘOVÁNÍ PODLE MEZNÍCH STAVŮ METODOU DÍLČÍCH SOUČINITELŮ

Charakteristické elementy spolehlivosti, dílčí součinitele kombinace

Při použití metody dílčích součinitelů se musí ve všech reálných návrhových situacích ověřit, že není překročen žádný z mezních stavů (únosnost, použitelnost). Při výpočtu musí být v návrhových situacích použity:

- návrhové hodnoty **zatížení** (návrhové hodnoty **účinků zatížení**)
- návrhové hodnoty **vlastností materiálů**, rozměrů, apod.

2.1 Zatížení

Návrhové hodnoty zatížení F_d se stanoví pomocí reprezentativních hodnot zatížení F_{rep} vynásobených dílčím součinitelem zatížení γ_F . Reprezentativní hodnoty zatížení se získávají z charakteristických hodnot zatížení F_k vynásobených součinitelem (kombinačním) ψ .

Z návrhových hodnot zatížení F_d stanovených výše popsaným způsobem se sestaví kombinace zatížení pro různé návrhové situace pro mezní stav únosnosti. Návrhové hodnoty účinků zatížení v těchto kombinacích $E_d \leq R_d$ návrhové hodnotě příslušné odolnosti.

Z charakteristických hodnot zatížení F_k a z reprezentativní hodnot zatížení F_{rep} stanovených výše popsaným způsobem se sestaví kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti. S pomocí kombinací zatížení sestavených pro mezní stav použitelnosti se vypočítá návrhová hodnota účinků zatížení (např. deformace, trhliny,...). Návrhové hodnoty účinků zatížení v těchto kombinacích $E_d \leq C_d$ návrhové hodnotě příslušného kritéria použitelnosti.

2.1.1 Charakteristické hodnoty zatížení

Numerické charakteristické hodnoty zatížení F_k jsou obecně stanoveny:

- v odpovídajícím technickém předpisu (např. ČSN EN 1990) průměrem, horní nebo dolní hodnotou, případně nominální hodnotou (nominální hodnota není vztažena k žádnému známému statistickému rozdělení).
- v projektu, případně příslušným odpovědným úřadem (např. ČHMÚ) za předpokladu, že jsou dodržena obecná ustanovení odpovídajícího předpisu (např. ČSN EN 1990)

Zásady pro určení numerických hodnot charakteristických zatížení F_k se liší pro různé typy časově závislých zatížení. Z hlediska proměnlivosti v čase klasifikujeme tyto základní typy zatížení:

- zatížení stálá – G – např. vlastní tíha konstrukcí, pevné vybavení konstrukcí, atd...
- zatížení proměnná – Q – např. užitná zatížení stropů, sníh, vítr, atd...
- zatížení mimořádná – A – např. výbuch, nárazy vozidel, atd...

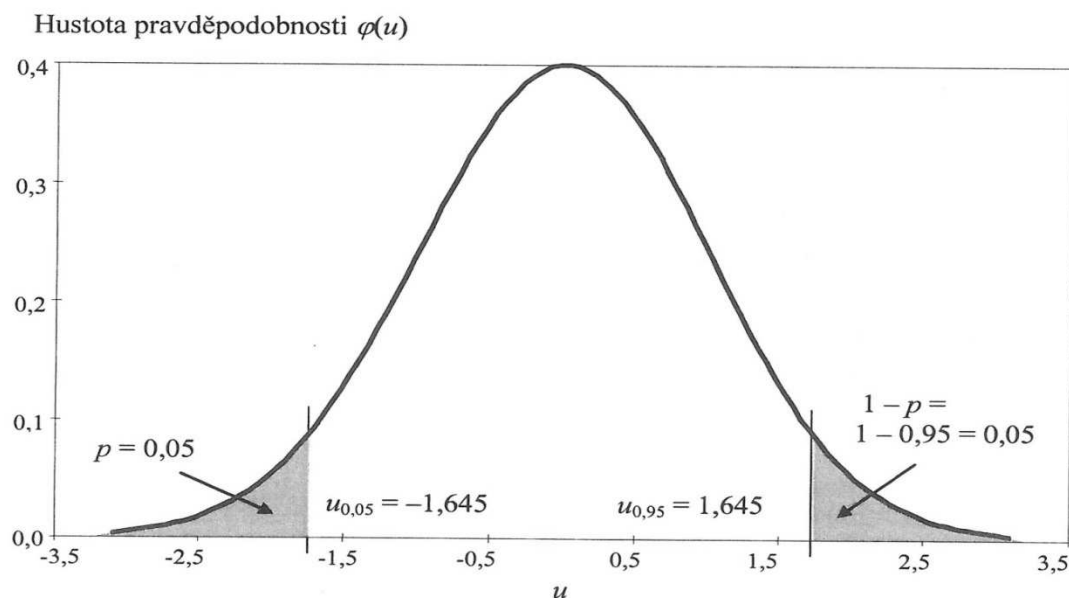
2.1.1.1 Hodnoty stálých charakteristických zatížení

Numerické hodnoty stálých charakteristických zatížení G_k jsou uváděny takto:

- jedinou hodnotou G_k – hodnotou je průměr stanovený na základě měření, jestliže variabilita měřeného G je malá a po dobu životnosti se významně nemění (variační koeficient není větší než 0,1 – pro určení charakteristické hodnoty vlastní tíhy která je podstatnou částí celkového zatížení hodnota variačního koeficientu není větší než 0,05 – určení hodnoty variačního koeficientu V_x není součástí této kapitoly Handbooku 3)
- jedinou hodnotou G_k – hodnotou je průměrná objemová tíha stanovená na základě pravidel stanovených v ČSN EN 1991-1-1 [3] (Zatížení konstrukcí-Obecná

zatížení-Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb) přenásobená nominálními rozměry.

- dvěma hodnotami $G_{k,inf}$ (dolní) a $G_{k,sup}$ (horní) – hodnota $G_{k,inf}$ je hodnota v místě kvantilu 0,05 a hodnota $G_{k,sup}$ je hodnota v místě kvantilu 0,95 normálního (Gaussovského) statistického rozdělení G , jestliže variabilita měřeného G není malá (variační koeficient je větší než 0,1 nebo jde o konstrukci s velkou citlivostí na proměnlivost G)



Obrázek č.1. Dolní a horní kvantil normované náhodné veličiny U (v našem případě G) s normálním rozdělením.

Ve většině případů lze předpokládat, že variabilita G je malá a budeme ji proto v těchto případech získávat jako jedinou hodnotu průměrem z měření nebo jako jedinou hodnotu stanovenou na základě pravidel z ČSN EN 1991-1-1.

Pro stanovení numerických charakteristických hodnot stálého zatížení v případě existujících konstrukcí se doporučuje vycházet z reálného stavu konstrukce zjištěného například zkouškami.

PŘÍKLAD 1: Viz. „Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí“ [4]. Stanovení charakteristické hodnoty objemové tíhy betonu za předpokladu, že je dáno:

- objemová tíha má normální rozdělení
- průměrná hodnota m_G zjištěná z měření je $16,8 \text{ kN/m}^3$
- směrodatná odchylka a) $\sigma_G = 0,5 \text{ kN/m}^3$, b) $\sigma_G = 1,8 \text{ kN/m}^3$ (směrodatná odchylka se vypočítá z rozptylu σ_G^2 jako $\sigma_G = \sqrt{\sigma_G^2}$, rozptyl je součet součinů kvadrátů odchylek jednotlivých měření s četností jejich výskytu v [%])

Variační koeficient $V_G = \sigma_G/m_G$. Pro případ a) $V_G = 0,03$, b) $V_G = 0,10$.

V případě a) je variabilita nízká ($V_G = 0,03$) a pokud nemá vlastní tíha významný vliv na spolehlivost konstrukce, postačí stanovit jedinou charakteristickou hodnotu G_k jako průměr $G_k = 16,8 \text{ kN/m}^3$.

V případě b) je variabilita vysoká ($V_G = 0,10$) a je potřeba odlišit charakteristickou hodnotu pro případy, kdy zatížení vlastní tíhou má nepříznivý vliv ($G_{k,sup}$) a kdy příznivý vliv ($G_{k,inf}$). Z obrázku 2.1. můžeme odečíst hodnotu kvantilu $u_{0,05} = -1,645$ a hodnotu kvantilu $u_{0,95} = +1,645$

$$G_{k,inf} = m_G(1 + u_{0,05} \times V_G) = 16,8(1 - 1,645 \times 0,1) = 14,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{k,\text{sup}} = m_G(1 + u_{0,95} \times V_G) = 16,8(1 + 1,645 \times 0,1) = 19,6 \text{ kN/m}^3$$

Ukazuje se, že pro vyšší hodnoty variačních koeficientů se horní a dolní hodnota G_k může významně lišit a je třeba je uvažovat odděleně. Tento postup (případ a nebo b) je vhodné použít při dostatečném počtu zkoušek.

Charakteristické hodnoty stálých zatížení stanovené na základě zkoušek lze také získat dle postupu uvedeného v národní příloze NA.2.5 k článku 4.6.3 normy ČSN ISO 13822 [5]. Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.

Z výsledků šetření n vzorků g_1, g_2, \dots, g_n se charakteristická hodnota stálého zatížení stanoví na základě průměru m_G a směrodatné odchylky s_G podle vztahů:

$$G_k = m_G \pm k_n \times s_G, \text{ kde } m_G = \Sigma g_i/n \text{ a } s_G^2 = \Sigma (g_i - m_G)^2 / (n-1)$$

Součinitel k_n závisí na počtu odebraných vzorků a je dán v tabulce NA.1. normy [5].

Tab.1 Hodnoty součinitele k_n pro stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení na základě počtu odebraných vzorků.

Počet vzorků n	Součinitel k_n	Počet vzorků n	Součinitel k_n
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 stanoví lineární interpolací. Součinitel k_n je určen za předpokladu normálního rozdělení stálého zatížení.

PŘÍKLAD 2: Viz. sborník „Specifikace zatížení při hodnocení existujících konstrukcí“ [6]. Stanovení charakteristické hodnoty objemové tíhy betonu za předpokladu, že je dáno:

- počet zkušebních měření je malý (v našem případě 6)
- průměr m_G zjištěný z měření je 16,8 kN/m³
- směrodatná odchylka $s_G = 1,8$ kN/m³ (směrodatná odchylka se vypočítá z rozptylu s_G^2 jako $s_G = \sqrt{s_G^2}$)
- $k_n = 0,6$ (z tabulky NA.1 normy [5])

$$G_k = 16,8 + 0,6 \times 1,8 = 17,88 \text{ kN/m}^3 \text{ v případě že vlastní tíha působí nepříznivě.}$$

$$G_k = 16,8 - 0,6 \times 1,8 = 15,72 \text{ kN/m}^3 \text{ v případě že vlastní tíha působí příznivě}$$

Tento postup je vhodné použít při malém počtu zkoušek.

2.1.1.2 Hodnoty proměnných charakteristických zatížení

Numerické hodnoty proměnných charakteristických zatížení Q_k jsou uváděny takto:

- horní hodnotou s určenou pravděpodobností, že nebude překročena, nebo dolní hodnotou s určenou pravděpodobností, že nebude podkročena během určité referenční doby.
- nominální hodnotou, která smí být stanovena, jestliže příslušné statistické rozdělení není známé.

Numerické hodnoty proměnných zatížení Q_k jsou uvedeny v různých tabulkách v příslušných částech Eurokódu 1.

Pro charakteristické hodnoty klimatických zatížení se zpravidla uvažuje rozdělení extrémních hodnot během určité referenční doby s pravděpodobností jejího překročení 0,02 během jednoho roku. To se u časově proměnné části zatížení rovná průměrné době návratu 50 let.

2.1.1.3 Hodnoty mimořádných zatížení

Numerické hodnoty u mimořádných zatížení se stanovují přímo v návrhových hodnotách A_d a to vždy pro konkrétní projekt.

2.1.2 Reprezentativní hodnoty zatížení

Reprezentativní hodnoty zatížení F_{rep} jsou vyjádřené charakteristickou hodnotou F_k vynásobenou kombinačním součinitelem ψ . Obecně $F_{rep} = \psi F_k$. Hodnoty součinitele ψ nabývají hodnot 1,0 nebo ψ_0 , ψ_1 , případně ψ_2 . Tyto součinitele vyjadřují zmenšení pravděpodobnosti překročení návrhových hodnot zatížení u několika proměnných zatížení současně.

Pro stálá zatížení se uvažuje součinitel ψ hodnotou 1,0. Může se tedy uvažovat:

$$G_k = G_{rep} \quad (4.1)$$

Pro proměnná zatížení se uvažuje součinitel ψ hodnotou 1,0 nebo ψ_0 , ψ_1 , případně ψ_2 . Použití jednotlivých součinitelů ($\psi = 1,0$, ψ_0 , ψ_1 , případně ψ_2) je dáno pro jednotlivé kombinace zatížení (viz. dále - kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti a kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti).

Obecně lze uvažovat:

$$Q_{rep} = \psi (\psi_0, \psi_1, \text{případně } \psi_2) \times Q_k \quad (4.2)$$

Hodnoty pro ψ_0 , ψ_1 , případně ψ_2 jsou uvedeny v ČSN EN 1990 – viz tabulka 2.

Tab. 2. Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-1)			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E: skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F: dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy 30 kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
Zatížení sněhem (viz EN 1991-1-3) ^{*)}			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H > 1\,000$ m n.m.	0,7	0,5	0,2
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1\,000$ m n.m.	0,5	0,2	0
Zatížení větrem (viz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (viz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
POZNÁMKA Hodnoty ψ mohou být stanoveny v národní příloze.			
*) Pro země, které zde nejsou uvedené, se součinitele ψ stanoví podle místních podmínek.			

2.1.3 Návrhové hodnoty zatížení

Návrhové hodnoty zatížení F_d se stanoví pomocí reprezentativních hodnot zatížení F_{rep} přenásobených dílčím součinitelem zatížení γ_F .

Obecně tedy lze zapsat $F_d = F_{rep} \gamma_F$. (4.3)

Návrhové hodnoty zatížení se tedy určí ze vztahů:

$$G_d = \gamma_F G_k \text{ pro stálá zatížení } (\gamma_F \text{ lze v této rovnici psát jako } \gamma_G) \quad (4.4)$$

$$Q_d = \gamma_F \psi Q_k \text{ pro proměnná zatížení } (\gamma_F \text{ lze v této rovnici psát jako } \gamma_Q) \quad (4.5)$$

A_d = stanovená hodnotou vždy pro konkrétní projekt

2.1.4 Návrhové hodnoty účinků zatížení

Návrhové hodnoty účinků zatížení E_d jsou ve většině případů dány zjednodušeným vztahem:

$$E_d = E\{\gamma_{Fi} F_{repi}; a_d\}, \quad i \geq 1 \quad (4.6)$$

a_d je návrhová hodnota geometrického údaje

F_{repi} je reprezentativní hodnota zatížení (viz. výše)

γ_{Fi} je hodnota dílčího součinitele (viz. níže)

2.1.5 Dílčí součinitele zatížení γ_F

Dílčí součinitel zatížení γ_F přihlíží k možným:

- nepříznivým odchylkám zatížení
- nepřesnostem modelu zatížení
- k nejistotám v určení účinků zatížení (v obecném případě závisí účinky zatížení i na vlastnostech materiálů – např. staticky neurčité konstrukce).

Dílčí součinitel zatížení γ_F se stanoví jako součin součinitele modelové nejistoty γ_{Ed} a dílčího součinitele zatížení γ_f .

$$\gamma_F = \gamma_{Ed} \gamma_f \quad (4.7)$$

γ_{Ed} je součinitel modelové nejistoty, kterým se zohledňují nejistoty modelů účinků zatížení a v některých případech nejistoty modelů zatížení

γ_f je dílčí součinitel zatížení, kterým se zohledňují možné nepříznivé odchylky hodnot zatížení od reprezentativních hodnot.

Hodnoty dílčích součinitelů zatížení γ_f v mezních stavech únosnosti, týkajících se porušení materiálů se podle doporučení uvedeného v ČSN EN 1990 uvažují:

- pro zatížení stálé příznivě působící (γ_{Ginf}): $\gamma_f = 0,875$, $\gamma_{Ed} = 1,20$, $\gamma_F \approx 1,00$
- pro zatížení stálé nepříznivě působící (γ_{Gsup}): $\gamma_f = 1,125$, $\gamma_{Ed} = 1,20$, $\gamma_F = 1,35$
- pro zatížení proměnné (γ_{Qinf}): $\gamma_f = 1,350$, $\gamma_{Ed} = 1,10$, $\gamma_F \approx 1,50$

2.1.6 Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti

2.1.6.1 Kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace

(**EQU**) Mezní stav se používá pro ověření statické rovnováhy konstrukce jako celku, ověřuje se tedy například možnost překlopení, zaboření, vynoření konstrukce apod. U tohoto mezního stavu musí být ověřena podmínka:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,std} \quad (4.8)$$

- $E_{d,dst}$ je návrhová hodnota účinku destabilizujících zatížení
- $E_{d,std}$ je návrhová hodnota účinku stabilizujících zatížení

Pevnosti konstrukčních materiálů nebo základové půdy nejsou obvykle rozhodující.

Účinky zatížení E_d v kombinaci pro mezní stav **EQU** lze vyjádřit výrazem:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.9)$$

$\gamma_{G,j} = 1,1$ pokud stálé zatížení působí nepříznivě (destabilizující), $\gamma_{G,j} = 0,9$ pokud stálé zatížení působí příznivě (stabilizující)

$\gamma_{Q,1}$ ($\gamma_{Q,i}$) = 1,5 pokud proměnné zatížení působí nepříznivě (destabilizující), $\gamma_{Q,1}$ ($\gamma_{Q,i}$) = 0 pokud proměnné zatížení působí příznivě (stabilizující)

P (γ_P) značí zatížení předpětím

(STR) Mezní stav se používá při ověřování mechanické odolnosti nosných konstrukcí a prvků, pokud se většinou neuvažuje geotechnické zatížení. Jedná se o mezní stav spojený většinou s dosažením pevnosti konstrukčního materiálu (pevnost betonu, mez kluzu výztuže, pevnost dřeva apod). Sleduje vnitřní poruchu konstrukce nebo nosných prvků.

(GEO) Mezní stav se používá při návrhu nosných prvků, který zahrnuje geotechnické zatížení (patky, piloty, podzemní stěny, atd...) Sleduje poruchu základové půdy tam kde pevnost zeminy nebo skalního podkladu jsou významné pro únosnost.

U těchto mezních stavů musí být ověřena podmínka:

$$E_d \leq R_d \quad (4.10)$$

E_d je návrhová hodnota účinku zatížení (vnitřní síla, moment, atd...)

R_d je návrhová hodnota příslušné únosnosti

Účinky zatížení E_d v kombinaci pro mezní stav **STR** a nebo **GEO** lze vyjádřit výrazem:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.11)$$

Nebo alternativně jako méně příznivá kombinace z následujících dvou výrazů.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.11a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.11b)$$

$\gamma_{G,j} = 1,35$ pokud stálé zatížení působí nepříznivě, $\gamma_{G,j} = 1,0$ pokud stálé zatížení působí příznivě

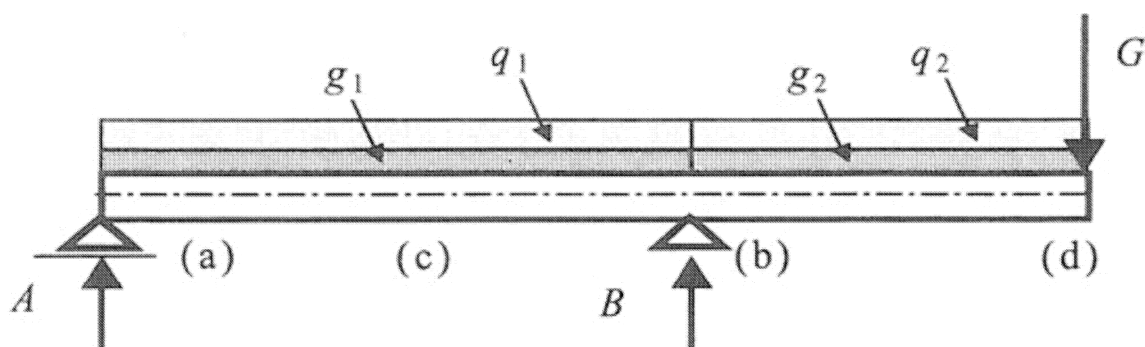
$\gamma_{Q,1}$ ($\gamma_{Q,i}$) = 1,5 pokud proměnné zatížení působí nepříznivě, $\gamma_{Q,1}$ ($\gamma_{Q,i}$) = 0 pokud proměnné zatížení působí příznivě

$\xi = 0,85$ (redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení)

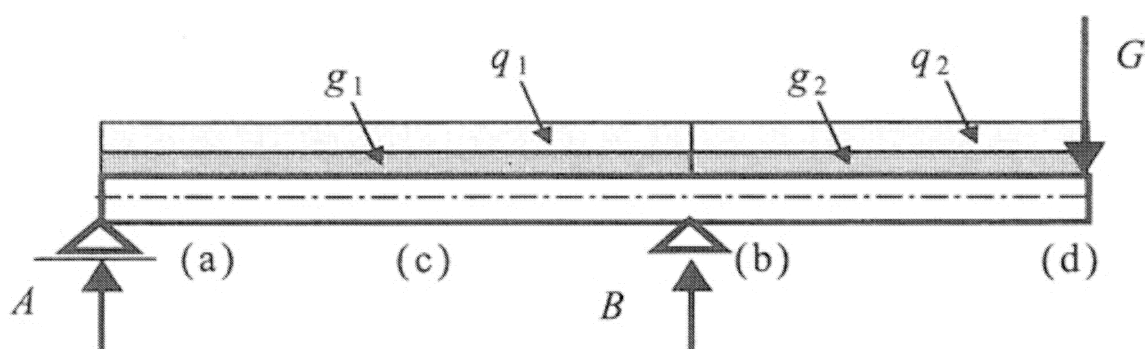
P (γ_P) značí zatížení předpětím

Pro ověřování existujících konstrukcí je velmi příhodné využívat důsledně alternativních výrazů (4.11a) a (4.11b) kombinací pro **STR** a **GEO**. Použití redukčního součinitele pro nepříznivá stálá zatížení ξ případně využití kombinačních součinitelů $\psi_{0,1}$ a $\psi_{0,i}$ často přiblíží hodnoty zatížení uvažovaných dle soustavy norem ČSN EN zatížením původním.

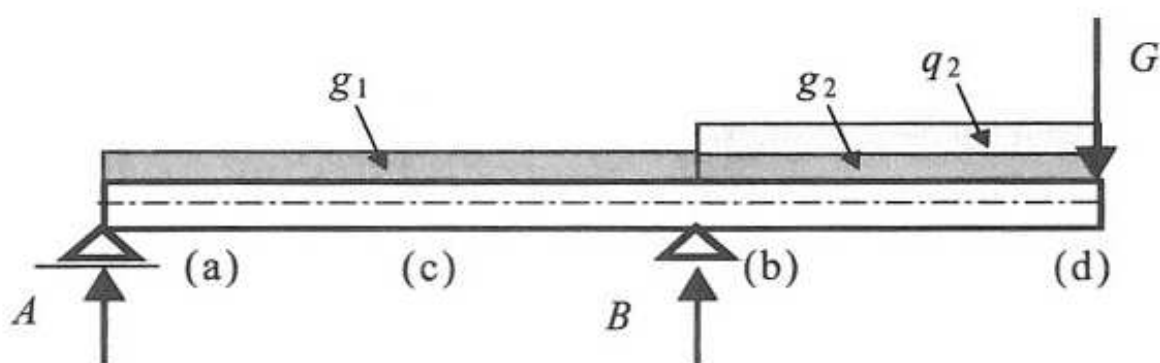
PŘÍKLAD 3: Určení dílčích součinitelů zatížení γ_F pro jednotlivá zatížení v kombinacích pro mezní stavy EQU a STR na nosníku s převislým koncem.



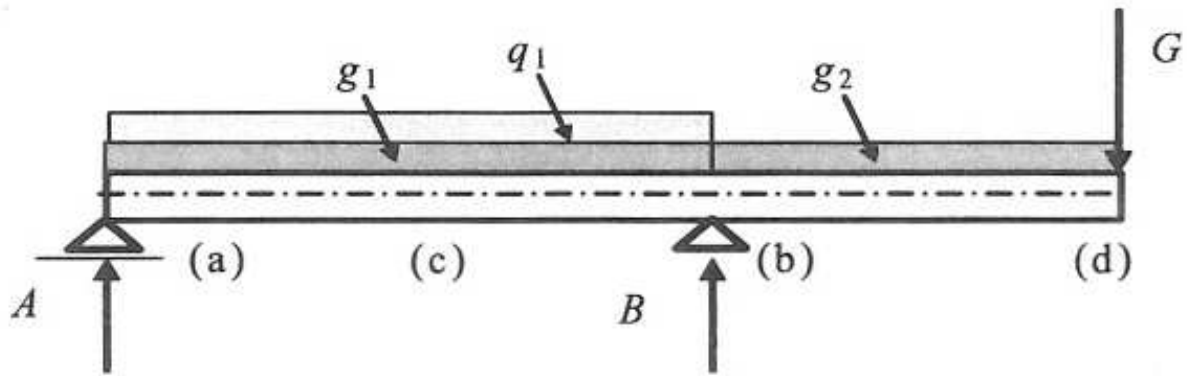
Obrázek č.2. Konzolový nosník - jsou dána tři nezávislá stálá zatížení g_1, g_2, G a dvě nezávislá proměnná zatížení q_1, q_2 .



Obrázek č.3. Konzolový nosník - rozhodující kombinace pro zjištění maximální reakce B a extrémního ohybového momentu v bodě b (EQU, STR). $\gamma_{g1} = 1,35, \gamma_{g2} = 1,35, \gamma_G = 1,35, \gamma_{q1} = 1,5, \gamma_{q2} = 1,5$



Obrázek č.4. Konzolový nosník - rozhodující kombinace pro zjištění statické rovnováhy (reakce A) (EQU). $\gamma_{g1} = 0,9, \gamma_{g2} = 1,1, \gamma_G = 1,1, \gamma_{q1} = 0,0, \gamma_{q2} = 1,5$



Obrázek č.5. Konzolový nosník - rozhodující kombinace pro zjištění extrémního ohybového momentu v poli (bod c) (STR). $\gamma_{g1}=1,35$, $\gamma_{g2}=1,0$, $\gamma_G = 1,0$, $\gamma_{q1} = 1,5$, $\gamma_{q2} = 0,0$

2.1.6.2 Kombinace pro mimořádné, seismické a únavové návrhové situace

Výrazy pro mimořádné, seismické a únavové návrhové situace jsou popsány v ČSN EN 1990

2.1.7. Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti

V těchto kombinacích se musí ověřovat podmínka:

$$E_d \leq C_d \quad (4.12)$$

E_d je návrhová hodnota účinku zatížení stanovená v kritériu použitelnosti a určená na základě příslušné kombinace

C_d je návrhová hodnota příslušného kritéria použitelnosti

Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti se mají uvažovat v příslušných návrhových situacích.

Charakteristická kombinace se obvykle používá pro nevratné mezní stavy použitelnosti a lze ji vyjádřit výrazem:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.13)$$

Častá kombinace se obvykle používá pro vratné mezní stavy použitelnosti a lze ji vyjádřit výrazem:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.14)$$

Kvazistálá kombinace se obvykle používá pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce a lze ji vyjádřit výrazem:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4.15)$$

Poznámka: V mezních stavech použitelnosti tedy uvažujeme zatížení bez dílčích součinitelů zatížení γ_F (γ_G , γ_Q , γ_P).

2.2 Materiálové vlastnosti

Návrhové hodnoty vlastností materiálu X_d se stanoví pomocí charakteristických hodnot vlastností materiálu X_k ze vztahu

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad (4.16)$$

γ_M je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

Z návrhových hodnot vlastností materiálu lze vyjádřit návrhovou odolnost materiálů R_d následujícím zjednodušeným vztahem

$$R_d = \{X_{k,i} / \gamma_{M,i}; a_d\} \quad i \geq 1 \quad (4.17)$$

a_d je návrhová hodnota geometrických údajů

2.2.1. Charakteristické hodnoty vlastností materiálu

Charakteristické hodnoty vlastností materiálů jsou odvozeny ze zkoušek. Při jejich odvození se má uvážit

- rozptyl zkušebních dat
- statistická nejistota z hlediska počtu zkoušek
- apriorní statistická znalost

Numerické charakteristické hodnoty materiálových vlastností (např. pevnost) lze na základě určitého počtu měření (zkoušek) a normálního statistického rozdělení získat ze vztahu

$$X_k = m_x (1 - k_n V_x) \quad (4.18)$$

k_n je hodnota určená z počtu měření (zkoušek) pro „ V_x neznámý“ nebo „ V_x známý“.

Tab.3 Numerická hodnota k_n pro 5% charakteristickou hodnotu je dána v tabulce.

N	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x známý	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
V_x neznámý	–	–	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

V_x je variační koeficient. Ve většině případů ho můžeme označit jako „ V_x neznámý“. To znamená, že hodnota tohoto koeficientu není předem známa z předchozích zkoušek provedených ve srovnatelných situacích. Hodnotu tohoto koeficientu je třeba dopočítat z dostupných měření výrazem.

$$V_x = s_x / m_x \quad (4.19)$$

m_x je průměr z dostupných měření

$$s_x \text{ je směrodatná odchylna daná výrazem } s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (4.20)$$

$$s_x^2 \text{ je rozptyl daného souboru měření určený výrazem } s_x^2 = \frac{1}{m-1} \sum (x_i - m_x)^2 \quad (4.21)$$

x_i je hodnota jednotlivého měření

PŘÍKLAD 4: Viz. sborník – Stanovení vlastností materiálů při hodnocení existujících konstrukcí [7].

Stanovení charakteristické hodnoty f_{ck} pevnosti betonu v tlaku na základě výsledků měření. Charakteristická hodnota pevnosti je definována jako 5% dolní kvantil $f_{ck} = f_{c0,05}$. Počet měření $n = 24$ (34.0, 30.2, 23.2, 25.9, 29.5, 33.3, 34.0, 26.5, 29.8, 29.4, 45.8, 30.3, 32.7, 32.8, 24.1, 32.6, 29.6, 21.7, 33.5, 36.4, 35.3, 32.7, 33.8, 22.3 MPa). Průměr z těchto měření $m_{fc} = 30,80$ MPa. Směrodatná odchylna daného souboru měření $s_{fc} = 5,281$ MPa. Variační koeficient $V_{fc} = s_{fc} / m_{fc} = 5,281 / 30,80 = 0,1714$. Hodnotu součinitele $k_n = 1,749$ určíme interpolací z tabulky 3 pro neznámý V_x (variační koeficient není znám z mnoha předchozích měření – známe pouze variační koeficient z našeho souboru měření).

$$f_{ck} = m_{fc}(1 - k_n V_{fc}) = 30,80(1 - 1,749 \times 0,1714) = 21,6 \text{ MPa}$$

2.2.2 Návrhové hodnoty vlastností materiálů

Návrhové hodnoty vlastností materiálu X_d se stanoví pomocí charakteristických hodnot vlastností materiálu X_k ze vztahu

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad (4.22)$$

2.2.3 Návrhové hodnoty odolnosti materiálů

Z návrhových hodnot vlastností materiálu lze vyjádřit návrhovou odolnost materiálů R_d následujícím zjednodušeným vztahem

$$R_d = \{X_{k,i} / \gamma_{M,i}; a_d\} \quad i \geq 1 \quad (4.23)$$

a_d je *návrhová* hodnota geometrických údajů (rozměry prvku použité k výpočtu průřezových charakteristik – plocha, průřezový modul, moment setrvačnosti, apod. nebo ke stanovení účinků zatížení). Tyto hodnoty mohou být vyjádřeny nominálními hodnotami

2.2.4 Dílčí součinitele materiálu

γ_M je dílčí součinitel spolehlivosti materiálu. Zjednodušeně lze zapsat

$$\gamma_{M,j} = \gamma_{Rd} \gamma_{mj} \quad (4.24)$$

γ_{Rd} je dílčí součinitel který pokrývá nejistoty modelu odolnosti včetně geometrických odchylek.

γ_{mj} je dílčí součinitel vlastností materiálu, který zohledňuje

- možné nepříznivé odchylky vlastností materiálu od jeho charakteristické hodnoty
- náhodnou část převodního součinitele η (převodní součinitel vyjadřuje vliv – objemu a rozměrů, vlhkosti a teploty, dalších parametrů připadajících v úvahu)

Soustava norem ČSN EN doporučuje používat hodnoty dílčích součinitelů spolehlivosti materiálu γ_M takto:

Pro beton $\gamma_C = 1,5$

Pro betonářskou výztuž $\gamma_s = 1,15$

Pro konstrukční ocel $\gamma_s = 1,15$ (pro některé případy výpočtů 1.30, 1.45, 1.50)

Pro rostlé dřevo $\gamma_M = 1,3$

Pro lepené lamelové dřevo $\gamma_M = 1,25$

Pro zdivo $\gamma_M = 1,15$ až 3,0 (hodnota součinitele je určena na základě materiálu zdiva a kategorie provádění tabulkou v Národní příloze normy ČSN EN 1996-1-1 [8])

3 ZÁVĚR

V běžných případech ověřování spolehlivosti existující konstrukce nebo navrhování její přestavby se aplikuje metoda dílčích součinitelů, neboť lze postupovat podle obvyklých postupů pro navrhování nových konstrukcí. U existujících konstrukcí však může být problémem modelování časově závislých vlastností materiálů, vlastností zatížení a účinků prostředí. Není vždy zcela zřejmé, zda je potřebné aplikovat stejně velké hodnoty dílčích součinitelů zatížení a materiálových vlastností jako při navrhování nových konstrukcí. Požadavky eurokódů na zatížení jsou většinou přísnější než je tomu u předcházejících národních norem.

Metodika stanovení dílčích součinitelů uvedená v ČSN EN 1990 [1] se systematicky opírá a navazuje na pravděpodobnostní metody teorie spolehlivosti. V případě, že přímý postup ověřování konstrukcí pomocí metody dílčích součinitelů selhává lze ověřit hodnoty dílčích součinitelů právě pomocí těchto pravděpodobnostních metod. Způsob určení hodnot dílčích součinitelů je blíže popsán v „příloze B“, případně v ISO 13822 [5].

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ČNI 2004
- [2] ČSN ISO 2394: Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí. Praha ČNI 2003
- [3] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI 2004
- [4] prof. Ing. Milan Holický, DrSc., Ph.D. a kol., Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí. ČVUT Praha pro „Projekt CZ.04.3.07/4.2.01.1/0005“
- [5] ČSN ISO 13822: Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí. Praha, ČNI 2005
- [6] Holický M. a kolektiv, Specifikace zatížení při hodnocení existujících konstrukcí. ČVUT Praha 2006
- [7] Holický M. a kolektiv, Stanovení vlastností materiálů při hodnocení existujících konstrukcí. ČVUT Praha 2007
- [8] ČSN EN 1996-1-1: Navrhování zděných konstrukcí, Část 1-1. Obecná pravidla pro pozemní stavby. Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce. Praha ČNI 1996

KAPITOLA 5 – PŘÍKLADY

Vladislava Návarová¹

¹Střední průmyslová škola stavební, Resslova 2, České Budějovice

PŘÍKLAD 1 - PRŮZKUM A HODNOCENÍ ČÁSTI STROPNÍ KONSTRUKCE OBJEKTU

Obsah

Z důvodu poruch na stávající stropní konstrukci nad 1.NP bylo vyžádáno statické hodnocení konstrukčního stavu části stávající stropní konstrukce nad 1.NP pod čekárnou.

Stávající objekt byl proveden v letech 1972 – 1975 a to svépomocí v tzv. akci 'Z'. Původní účel objektu byl administrativní. V roce 2009 byla prováděna rekonstrukce objektu za účelem zřízení zubní kliniky, která zde funguje do dnes.

Prohlídkou na místě stavby byly nalezeny poruchy vrchní vrstvy podlahy – keramické dlažby, která je místně propadlá, ve střední části čekárny prasklá podélně s čekárnou. Byl odstraněn podhled stropní konstrukce nad 1.NP, který je tvořen minerálními šablonami zavěšenými cca 150mm pod spodní hranou nosné konstrukce. Po odstranění podhledu byly nalezeny poruchy spodní hrany stropní konstrukce.

Archivní projektová dokumentace uvedených stavebních úprav v roce 2009 nebyla dohledána, archivní dokumentace z doby výstavby objektu neexistuje.

Byla zpracována následující zpráva hodnocení části stávající stropní konstrukce.

1 ZPRÁVA O HODNOCENÍ KONSTRUKCE

1.1 Úvod

Z důvodu poruch stropní konstrukce nad 1.NP uvedeného objektu je provedeno hodnocení stávající stropní konstrukce objektu.

1.2 Souhrn

Stávající stropní konstrukce stropu nad 1.NP v části pod čekárnou vykazuje poruchy. V červenci 2013 byla provedena předběžná prohlídka vyšetřované konstrukce stropu. Při předběžné prohlídce a dále prohlídkou fotodokumentace z průběhu rekonstrukce v roce 2009

je určena příčina poruch stropní konstrukce jako nevhodné technické řešení skladby stropu. Je navrženo řešení a doporučena podrobná prohlídka skladby stropní konstrukce pomocí sondy.

1.3 Obsah

a) účel hodnocení

Účelem hodnocení je posoudit konstrukční stav stávající stropní konstrukce nad 1.NP v prostoru čekárny ve 2.NP, kde dochází k opakujícím se poruchám vrchní vrstva podlahy – keramické dlažby. Hodnocení je požadováno pouze v prostoru čekárny ve 2.NP. Hlavním požadavkem na hodnocení je zajistit bezpečný pohyb osob v budově s přístupem veřejnosti.

b) popis objektu

Objekt byl postavený v 70-tých letech minulého století. V roce 2009 byly na objektu prováděny stavební úpravy a byla provedena kompletní rekonstrukce objektu.

Objekt je umístěný samostatně stojící půdorysného tvaru obdélníka 8,9m x 18,50m. Objekt je členěn na část o dvou nadzemních podlažích a na část o třech nadzemních podlažích. Nosný systém objektu je kombinovaný stěnový. Nosné stěny obvodové a vnitřní jsou z původního cihelného zdiva.

Tvar střešní konstrukce je složený ze dvou sedlových střech ve výškové úrovni nad 2.NP a nad 3.NP. Nosnou konstrukci krovu tvoří vaznicová soustava s plnými vazbami.

Celý objekt je v současné době využíván jako zubní klinika. Prostor podkroví není využíván.

c) podklady

Prohlídka objektu na místě dne

Fotodokumentace stavebních úprav z roku 2009

Odpovídající normy ČSN EN, ISO 13822

d) předběžná prohlídka

V prostoru čekárny ve 2.NP jsou poruchy. Horní vrstvu podlahy stropu nad 1.NP tvoří keramická dlažba. Keramická dlažba je souběžně s obvodovou stěnou zhruba ve středu čekárny prasklá a propadlá o cca 10mm. Tato prasklina a propadnutí dlažby se dle informací investora i po každé opravě stále opakuje. V blízkosti obvodové stěny je dlažba propadlá cca 20mm. Keramický pásek na obvodové stěně je odtržený.

Stropní konstrukce je doplněna podhledem z minerálních šablon, který je zavěšený na stropní konstrukci a sníženým o cca 15cm. Část minerálního podhledu stropu nad 1.NP byla při prohlídce rozebrána a provedena prohlídka spodní hrany stropní konstrukce v místě pod čekárnou. Nosnou konstrukci stropu tvoří ocelové nosníky I v osových vzdálenostech 1,2m uloženými na obvodovou stěnu a střední nosnou stěnu o světlém rozpětí 3,8m. [1]. Šířka spodní příruby byla zaměřena 100mm, to odpovídá ocelovému válcovanému nosníku I 220 se spodní přírubou šířky 98mm. Ocelové válcované nosníky nevykazují nadměrné deformace.

Do ocelových nosníků jsou uloženy desky Hurdis s rovnými čely. Všechny viditelné spáry jsou ze spodní hrany vyplněny betonem nebo cementovou omítkou. Dle fotodokumentace jsou zřejmě desky Hurdis doplněny betonem až k horní hraně příruby ocelového nosníku [2]. Částečně jsou desky Hurdis doplněny omítkou. V místě pod poklesem dlažby v blízkosti obvodové je deska Hurdis ve střední části propadlá a je opřena o zděnou stěnu v 1.NP. V místě s omítkou jsou viditelné trhliny v omítce kolmo na ocelové nosníky I, tyto trhliny odpovídají polohou rozhraní mezi jednotlivými deskami Hurdis.



Obrázek 1 – fotodokumentace z 05/2009, spodní hrana stropu nad 1.NP



Obrázek 2 – fotodokumentace z 03/2009 – skladba stropu nad 1.NP

Byla prohlédnuta fotodokumentace objektu pořízená v době rekonstrukce v roce 2009. Podle dostupné dokumentace je skladba nosné části stropní konstrukce:

Omítka 15mm – pouze místně na cca 1/2 plochy

Ocelové nosníky - I 220

Desky Hurdis - 80mm

beton k horní hraně nosníků I220 – 140mm

Na tuto vrstvu byla dle informací od investora proveden cementový potěr a položena keramická dlažba do lepidla.

e) předběžné ověření

e1) ověření stropních ocelových nosníků I 220

Je určena hodnota stálého zatížení dle výše uvedené skladby. Vzhledem k tomu, že jednotlivé vrstvy nebyly ověřeny sondou do stropní konstrukce, je použit kombinační součinitel pro stálé zatížení v hodnotě 1,35.

ZATÍŽENÍ - STROPNÍ KONSTRUKCE

nad 1.NP

1. STÁLÉ

		obj.hmotnost KN/m ³	gk KN/m ²
podlaha - keramická dlažba	10 mm	23	0,230
potěr	40 mm	24	0,960
bet.maz.	140 mm	24	3,360
desky Hurdis	80 mm		0,680
omítka na 1/2 plochy	7,5 mm	20	0,150
podhled minerální	10 mm	0,5	0,005
CELKEM			5,39

2. UŽITNÉ

$$q_{k1} = 4 \text{ KN/m}^2 \quad \text{čekárna} \quad \text{C2}$$

3.KOMBINACE 1 NÁVRHOVÉ HODNOTY - MEZNÍ STAV STR - SOUBOR B

		Hlavní stálé g_d	Proměnné zatížení		f_d KN/m ²
			q_{d1} KN/m ²	q_{d2} KN/m ²	
výraz 6.10a	1	7,27	4,20		11,47
výraz 6.10b	2	6,18	6,00		12,18

výraz 6.10	3	7,27	6,00	13,27
------------	---	------	------	-------

pozn.1 stálá

pro nepříznivá **1,35**

pro příznivá **1**

ξ 0,85

ψ 0,7

proměnná

pro nepříznivá **1,5**

pro příznivá **0**

Pro určení kombinačního zatížení jsou použity kombinační vzorce dle normy ČSN EN. Při hodnocení stropní konstrukce je vzhledem k možným odchylkám použita kombinace 6.10 – $f_d = 13.27 \text{ KN/m}^2$.

Materiál ocelových válcovaných nosníků I byl vzhledem k datu pořízení zatříděn jako ocel řady 37. Statické schéma ocelových nosníků jsou prosté nosníky se zatěžovací šířkou 1,2m. Nosník je zajištěn proti klopení.

OCELOVÝ NOSNÍK N1

Posouzení dle ČSN EN

Zatížení stálé :	$g_k = 5,39 \text{ KN/m}^2$	součinitel= 1,35
Zatížení užitné :	$q_k = 4,00 \text{ KN/m}^2$	součinitel= 1,5
Příčky :	$p_k = 0,00 \text{ KN/bm}$	součinitel= 1,35

1. PRŮŘEZ A ROZPĚTÍ

I 220	$E = 2,1E+11 \text{ kPa}$
$l_s = 3,8 \text{ m}$	$I_y = 0,0000305 \text{ m}^4$
$l = 3,99 \text{ m}$	$W_y = 0,000278 \text{ m}^3$
	$m = 31 \text{ kgm}^{-1}$

2. ZATÍŽENÍ NOSNÍKU

Včetně vlastní tíhy nosníku	Zatěžovací šířka :	1,2 m
$g_k = 6,78 \text{ KN/m}$	součinitel= 1,35	
$v_k = 4,8 \text{ KN/m}$	součinitel= 1,5	
$p_k = 0,00 \text{ KN/bm}$	součinitel= 1,35	

3. POSOUZENÍ 1.MS

OCEL S 235	$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$
$M_{gd} = 18,21 \text{ KNm}$	$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$
$M_{vd} = 14,33 \text{ KNm}$	$Q_d = 32 \text{ KN}$

$M_{ed} = 32,54 \text{ KNm}$

$\sigma_{celk} = 117,0 \text{ MPa}$	$< f_d = 235 \text{ MPa}$
-------------------------------------	---------------------------

PRŮŘEZ VYHOVUJE

4. POSOUZENÍ 2.MS

$$f_{lim} = 1/300L$$

$$= 13,3 \text{ mm}$$

$f_{gn} =$	3,49 mm
$f_{vn} =$	2,47 mm

$f_s =$	5,97 mm	$<$	$f_{lim} =$	13,3 mm
---------	---------	-----	-------------	---------

PRŮHYB VYHOVUJE

Ocelový stropní nosník I 220 vyhovuje z hlediska I.MS i II.MS a uvedené poruchy nevznikají v důsledku nadměrných deformací ocelového stropního nosníku.

e2) ověření desek Hurdis

Desky Hurdis s rovnými čely jsou po celé délce horní hrany zabetonovány a dále jsou zabetonovány veškeré spáry. Desky Hurdis jsou přímo zatíženy vrstvou betonu v tl.140mm což představuje charakteristické zatížení v hodnotě 3,36KN/m² tj. 336kg/m². Vzhledem k poruchám keramické dlažby uvedené stropní konstrukce je možné předpokládat, že podkladní vrstva keramické dlažby tj. cementový potěr popřípadě betonová mazanina nepřenáší užité zatížení v čekárně do ocelových nosníků. Toto užité zatížení je přenášeno přes betonovou mazaninu do desek Hurdis a teprve pak do ocelových nosníku I 220. Nejvýraznější poruchy keramické dlažby jsou v místě častého pohybu osob v čekárně středem místnosti a dále v místě sezení.

e) analýza údajů

Údaje dostupné z předběžné prohlídky jsou dostatečné pro určení příčiny poruch stropní konstrukce nad 1.NP. Z důvodu provozu v uvedeném prostoru bude podrobná prohlídka skladby stropní konstrukce nad 1.NP provedena při zahájení prací na navržených opatřeních.

f) posouzení možných variant opatření

Variantou opatření je odstranění stávajících vrstev podlahy shora, vybourání betonu nad deskou Hurdis a provedení nové skladby stropní konstrukce. Po odstranění uvedených vrstev bude prohlídkou na místě rozhodnuto, zda a za jakých opatření je možné ponechat desky Hurdis ve stropní konstrukci.

g) závěry a doporučení

Z dostupných údajů vyplývá, že poruchy stropní konstrukce nad 1.NP pod prostorem čekárny jsou způsobeny nevhodným technickým řešením skladby stropní konstrukce a to:

- plným zabetonováním desek Hurdis po celé ploše horního povrchu
- chybějící vrstvou pro přenos zatížení užitého do ocelových nosníků
- Ocelové stropní nosníky I220 vyhovují stávajícímu zatížení.

Stávající stav stropní konstrukce pod čekárnou vykazuje poruchy, je v nebezpečném stavu a může dojít ke zřícení spodní části desek Hurdis včetně omítky. Je nutné bezodkladně provést následující opatření.

Stávající vrstvy podlahy stropu nad 1.NP budou v prostoru čekárny odstraněny až na stávající desky Hurdis. Po odkrytí bude prověřen stav desek Hurdis a desky jednotlivě vyhodnoceny pro možnost jejich dalšího využití.

Při provádění odstranění vrstvy betonu nad deskou Hurdis je možné, že dojde k jejímu porušení. Porušené desky Hurdis budou nahrazena za nové.

Na desky Hurdís bude uložen polystyren až k horní hraně příruby ocelového nosníku. Nad ocelovými nosníky bude provedena železobetonová deska v tl.60mm z betonu C16/20, výztuží z Kari sítí u dolního okraje s krytím 10mm, profil 8/8mm, oka 100/100mm.

Při provádění bude zamezeno pohybu osob v prostoru pod vyšetřovanou stropní konstrukcí.

Upozorňuji na skutečnost, že stropní konstrukce v ostatních částech může být řešena stejným nevhodným technickým řešením a rovněž může být v nebezpečném stavu. Doporučuji provést podrobný průzkum stavu stropní konstrukce nad 1.NP.

g) referenční dokumenty a literatura

NORMY ČSN EN 1990, 1991, 1993

ČSN ISO 13822

2 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Při hodnocení stropní konstrukce bylo postupováno dle metodika hodnocení konstrukcí podle ČSN ISO 13822. Důležité je stanovit, pro jaký účel je hodnocení prováděno. V tomto případě je účel hodnocení posoudit poruchy stávající stropní konstrukce pod čekárnou a vyloučit tak možné ohrožení osob v prostoru s přístupem veřejnosti.

Z výše uvedeného příkladu vyplývá, že někdy se bez provedení podrobného průzkumu i přes veškerou pečlivost při předběžném průzkumu nevyhneme nejasnostem. Tyto nejasnosti při hodnocení usuzujeme podle místních okolností a zprostředkovaných údajů a informací.

Proto je v tomto hodnocení doporučeno provést podrobný průzkum. Vzhledem k tomu, že jde o objekt s přístupem veřejnosti, byl upozorněn místně příslušný stavební úřad na stav stropní konstrukce pod čekárnou.

Protože pro majitele objektu je finančně náročné odstavit provoz na dobu nutnou k provedení podrobného průzkumu a dále k nápravným opatřením, bylo dohodnuto, že bude navržena podpurná konstrukce pro stropní konstrukci pod čekárnou. Dále bude odstraněn podhled ve všech prostorách 1.NP a provedena pečlivá prohlídka poruch spodní hrany stropu nad 1.NP.

PŘÍKLAD 2 - PRŮZKUM A HODNOCENÍ OBJEKTU HUDEBNÍHO PAVILONU

Obsah

Z důvodu poruch stávajícího objektu hudebního pavilonu bylo vyžádáno statické hodnocení konstrukčního stavu objektu. Účelem statického hodnocení je rozhodnutí o dalším postupu zajištění objektu popřípadě provedení nové spodní stavby objektu.

Spodní stavba stávajícího objektu byla provedena v roce 1923. Ve čtyřicátých letech 20.století byl na spodní část stavby postavena dřevěná konstrukce zastřešení a stěn.

V současné době je prováděna rekonstrukce kmenové stoky pomocí razícího štítu. Došlo k poklesu přední části celého objektu o 130mm. Schodiště na pravé i levé straně je v místě uložení na železobetonový skelet porušeno trhlinami. Bylo provedeno provizorní zajištění stability objektu pomocí ocelových nosníků I podvlečených pod spodní hranu železobetonového průvlastku.

Archivní projektová dokumentace objektu nebyla nalezena.

Byla zpracována následující zpráva hodnocení stávajícího objektu.

1 ZPRÁVA O HODNOCENÍ KONSTRUKCE

1.1 Úvod

Hodnocený objekt Hudebního pavilonu, který se nachází na pozemku p.č..... k.ú..... V současné době probíhá v blízkosti Hudebního pavilonu rekonstrukce kmenové stoky pomocí razícího štítu.

1.2 Souhrn

Po zahájení rekonstrukce kmenové stoky došlo k poruchám existující konstrukce. Byla provedena předběžná prohlídka existujících konstrukcí. Na čelní straně Hudebního pavilonu došlo k poklesu horní hrany železobetonové desky o cca 130mm. Železobetonový skelet včetně monolitické desky je nakloněný směrem do středu sadů.

Z předběžné prohlídky existujících konstrukcí bylo možné provést závěry a doporučení. Nebyla tedy prováděna podrobná prohlídka a nebyl navržen odběr vzorků.

Na základě předběžné prohlídky je navrženo provizorní přemístění dřevěné konstrukce pavilonu a demolice existující železobetonové konstrukce včetně založení. Po dokončení rekonstrukce kmenové stoky bude provedena nová železobetonová konstrukce navržená dle platných norem ČSN EN. Návrh této konstrukce bude součástí samostatné projektové dokumentace. Po provedení navržené železobetonové konstrukce bude původní dřevěná konstrukce osazena a kotvena k této konstrukci.

1.3 Obsah

a) účel hodnocení

Účelem hodnocení je posoudit konstrukční stav objektu - vyhodnotit poruchy v souvislosti s ražením podzemní stoky v blízkosti objektu a dále vyhodnotit celkový konstrukční stav objektu. Provést návrh opatření pro zajištění objektu. Hodnocení je požadováno v rozsahu celého objektu.

b) popis objektu

Stávající pavilon [1,2,3]. je konstrukčně složen ze dvou částí, které byly postaveny ve dvou etapách.

I. V roce 1923 byla postavena spodní část stavby tzv. pódium o půdorysných rozměrech 7,32 x 8,85m.

Založení je na plošných základech z prostého betonu – základových patkách. Nosnou konstrukci tvoří železobetonový monolitický skelet. Železobetonové sloupy rozměru 250 x 250 mm jsou doplněny obousměrnými železobetonovými průvlaky. Na železobetonové průvlaky je uložena železobetonová monolitická deska ve třech výškových úrovních. Uprostřed čelní strany pódia (při pohledu ze sadů) navazuje na nosnou konstrukci železobetonový balkon. Na obou stranách čelní strany jsou čtvrtkruhová schodiště. Na železobetonovou desku navazuje po obvodu železobetonové zábradlí.

Podlahu 1.NP tvoří pouze dusaná hlína. Podlahu 2.NP tvoří železobetonová monolitická deska. Výška nosné konstrukce pódia je 1,44m, 1,62m a 1,80m od podlahy 1.NP.

Prostor pod nosnou železobetonovou konstrukcí je po obvodě uzavřen výplňovým režným zdívkem v tl.150mm.

II. Ve čtyřicátých letech 20.století byl na spodní část stavby postavena dřevěná konstrukce zastřešení a stěn.

Zastřešení půdorysně navazuje na tvar železobetonové konstrukce, v zadní části přechází do půlkruhu. Nosnou konstrukci tvoří obloukové vazníky kotvené přes sloupky do železobetonové konstrukce. Z čelní strany je dřevěná konstrukce zastřešení otevřená, obloukový vazník je doplněn ocelovým táhlem. Z ostatních stran je dřevěná konstrukce oboustranně opláštěná dřevěnými palubkami. Krytina je z měděného plechu.



Obrázek 1 – čelní pohled na hudební pavilon



Obrázek 2 – boční pohled na hudební pavilon



Obrázek 3 – zadní pohled na hudební pavilon

c) podklady

Prohlídka na místě dne XX.XX.XXXX

Stavební projektová dokumentace stávajícího stavu objektu

Fotodokumentace objektu před zahájením prací na ražení kmenové stoky

Fotodokumentace současného stavu

Odpovídající normy ČSN EN

d) předběžná prohlídka

Na čelní straně Hudebního pavilonu došlo k poklesu horní hrany železobetonové desky o cca 130mm. Železobetonový skelet včetně monolitické desky je nakloněný směrem do středu sadů. Schodiště na pravé i levé straně je v místě uložení na železobetonový skelet porušeno trhlinami. Na pravé boční straně je ve střední části zábradlí porušeno svislými trhlinami.

Bylo provedeno provizorní zajištění stability objektu pomocí ocelových nosníků I podvlečených pod spodní hranu železobetonového průvlastku. Nosníky přesahují objekt na čelní straně o cca 2,5m. Ocelový nosník I je na volném konci podložen a uložen na stávající terén.

Na zadní straně jsou zřejmé vodorovné trhliny železobetonových sloupů v úrovni spodní hrany železobetonového průvlastku. Tyto trhliny již byly v minulosti opravovány. Na levé boční straně jsou svislé trhliny v železobetonovém zábradlí, které rovněž již byly dříve opravovány.

Na spodní straně železobetonové desky je místně opadaná betonová krycí vrstva nosné výztuže desky. Výztuž je zcela zkorodována, je možné lehce odlupovat. Výztuž již není schopná přenášet účinky zatížení v železobetonové desce (tahové síly). Spodní strana desky je souvisle porušena trhlinami [5].

Železobetonový střední průvlastek má zcela obnaženou dolní nosnou výztuž, beton je opadaný v tloušťce až několika centimetrů, v prostřední třetině délky průvlastku úplně chybí spodní část betonu. Výztuž průvlastku je zcela zkorodovaná a nemůže již plnit nosnou funkci v železobetonovém průřezu – přenášet tahové síly [4].

Železobetonové průvlastky jsou porušeny v místě uložení svislými až šikmými trhlinami.

Střední nosné sloupy jsou porušeny vodorovnými trhlinami v úrovni spodní hrany průvlastků.

Krycí vrstva výztuže železobetonové desky je pouze cca 5mm. Beton v železobetonové konstrukci je s příměsí plniva s velkou frakcí.

Na horní straně železobetonové desky jsou viditelné trhliny v liniích podporujících průvlastků. Na rozhraní balkonu je trhlina po celé délce.

Předběžná prohlídka dřevěné nosné konstrukce byla provedena vizuálně a pomocí jednoduchých nástrojů. Návrtem byla hodnocena změna barvy dřeva, tvrdost dřeva a struktura. Dále byla hodnocená akustická ozvěna při poklepu. Dřevěná nosná konstrukce střechy a stěn nevykazuje poruchy. Poklesem nosných sloupů na čelní straně nedošlo ke ztrátě tvarové stability této části objektu.



Obrázek 4 – poruchy železobetonového průvlaku a desky



Obrázek 5 – poruchy železobetonového průvlaku a desky

e) předběžné ověření

K poklesu čelních základových patek došlo v souvislosti s rekonstrukcí kmenové stoky Palackého sady pomocí razícího štítu v důsledku poklesu podloží.

Další poruchy nosných konstrukcí nemají souvislost s rekonstrukcí kmenové stoky. Železobetonová monolitická nosná konstrukce Hudebního pavilonu je v havarijním stavu. V tomto havarijním stavu byla i před zahájením rekonstrukce kmenové stoky na Palackého sadech.

Nosná výztuž v železobetonových konstrukcích v důsledku koroze neplní již svojí nosnou funkci - přenášení tahových sil v železobetonovém průřezu. Krytí výztuže je nedostatečné.

Podle stáří trhlin a i podle fotografické dokumentace objektu z doby před zahájením rekonstrukce stoky je patrné, že z části k poruchám na nosných částech železobetonových konstrukcí docházelo již před poklesem podloží v důsledku rekonstrukce kmenové stoky na Palackého sadech. Trhliny na spodní a horní hraně železobetonové desky, trhliny v místě uložení železobetonových průvlaků, vodorovné trhliny v krajních a vnitřních železobetonových sloupech a některé trhliny železobetonového zábradlí vznikly již před zahájením rekonstrukce stoky v důsledku nedostatečné únosnosti nosných železobetonových konstrukcí.

K poruchám na únosnosti železobetonových konstrukcí docházelo zřejmě vlivem působení vlhkosti z uzavřeného prostoru pod železobetonovou deskou a zároveň neodpovídajícímu krytí výztuže v konstrukci. Charakter poruch nevylučuje možnost oprav stávajících nosných železobetonových konstrukcí.

f) analýza údajů

Údaje dostupné z předběžné prohlídky jsou dostatečné pro určení příčiny poruch objektu.

g) posouzení možných variant opatření

Variantou opatření je dle požadavků investora provizorní přemístění stávající dřevěné konstrukce pavilonu, vybourání železobetonové konstrukce a nahrazení novou železobetonovou konstrukcí.

h) závěry a doporučení

Je možné konstatovat, že železobetonová monolitická část konstrukce objektu Hudebního pavilonu je v havarijním stavu. Poruchy stávající železobetonové konstrukce nemají souvislost s prováděním rekonstrukce kmenové stoky a byly způsobeny vlivem prostředí. Poruchy stability celého objektu nastaly vlivem provádění rekonstrukce kmenové stoky.

Navrhují tuto železobetonovou konstrukci odstranit včetně stávajícího založení objektu a nahradit novou železobetonovou konstrukcí.

Navrhují dočasné přemístění dřevěné konstrukce pavilonu a následné odstranění stávající železobetonové nosné konstrukci včetně založení. Dále doporučuji provést nový konstrukční návrh spodní stavby pavilonu. Po provedení nového založení a nové nosné konstrukce pódia je možné dřevěnou konstrukci zastřešení a stěn osadit zpět na novou nosnou konstrukci.

Protože Hudební pavilon je v současné době v havarijním stavu není možné tento Hudební pavilon užívat a je nutné ho pro veřejnost uzavřít. Navržené konstrukce budou provedeny až po dokončení rekonstrukce kmenové stoky.

i) přílohy

- Fotodokumentace poruch objektu před zahájením rekonstrukce kmenové stoky
- Fotodokumentace poruch objektu ze dne 27.7.20XX

j) referenční dokumenty a literatura

NORMY ČSN EN 1990, 1991, 1992, 1995
ČSN ISO 13822
ČSN 730038

2 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Pro hodnocení stropní konstrukce bylo postupováno podle původní normy ČSN 730038. Zpráva byla upravena podle metodiky hodnocení konstrukcí podle ČSN ISO 13822. V tomto případě je účel hodnocení posoudit poruchy stávajícího objektu a doporučit další postup pro nápravná opatření s ohledem na ekonomickou stránku řešení.

Z výše uvedeného příkladu vyplývá, že norma ČSN ISO 13822 není v rozporu s ČSN 730038, norma ČSN ISO 13822 normu ČSN 730038 rozšiřuje o další kritéria a poznatky.

Při předběžné hodnocení konstrukcí byly shromážděny dostatečné podklady pro rozhodnutí a není doporučeno provést podrobný průzkum.



Obrázek 6 – fotografie současného stavu

Navržená opatření byla provedena a na fotografii je hudební pavilon v současné době na nové železobetonové konstrukci.

PŘÍKLAD 3 - PRŮZKUM A HODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO OBJEKTU VILY

Vladislava Návarová²

²SPŠS, České Budějovice, Czech Republic

Obsah

Z důvodu navržených stavebních úprav a požadavku na prodloužení životnosti objektu je provedeno hodnocení stávajícího objektu vily, která se nachází v ulici Půlkruhová, Praha.

Stávající objekt byl proveden v letech 1920 – 1923, původní účel objektu byl budova pro bydlení. Tento účel nebyl v průběhu změněn. V současné době je navržena změna užívání stávajícího půdního prostoru na prostor bytový.

Objekt je umístěn samostatně stojící, nosný systém objektu je kombinovaný stěnový. Tvar střešní konstrukce je valbový s vikýři, nosnou konstrukci krovu tvoří klasická vaznicová soustava.

Vlastní objekt se sestává se z 1.PP 1.NP, 2.NP a prostoru podkroví. Nosné stěny obvodové a vnitřní jsou z cihelného zdiva, ve spodní části přechází do kamenného zdiva na původní maltu. Ostatní stěny jsou z cihelného zdiva.

Severozápadní roh objektu vykazuje poruchy, jsou zde trhliny vodorovného až šikmého charakteru.

Stěna mezi schodištěm a pokojem je porušena trhlinami šikmého charakteru.

Nosnou konstrukci krovu tvoří vaznicová soustava, střední vaznicový věnec a vrcholová vaznice.

Byla zpracována následující zpráva hodnocení části stávající stropní konstrukce.

1 ZPRÁVA O HODNOCENÍ KONSTRUKCE

1.1 Úvod

Účelem hodnocení je posoudit konstrukční stav objektu a provést případný návrh opatření. V rozsahu celého objektu jsou navrženy stavební úpravy, v prostoru 3.NP je navržena změna využití na obytný prostor. Hodnocení je požadováno v rozsahu celého objektu.

1.2 Souhrn

Stávající objekt byl proveden v letech 1920 – 1923, původní účel objektu byl budova pro bydlení. Tento účel nebyl v průběhu změněn. V současné době je navržena změna užívání stávajícího půdního prostoru na prostor bytový.

Je navrženo zesílení některých nosných prvků a náhrada prvků za nové. Stávající objekt je po provedení navržených opatření vyhovující pro navržené stavbení úpravy.

1.3 Obsah

a) rozsah hodnocení

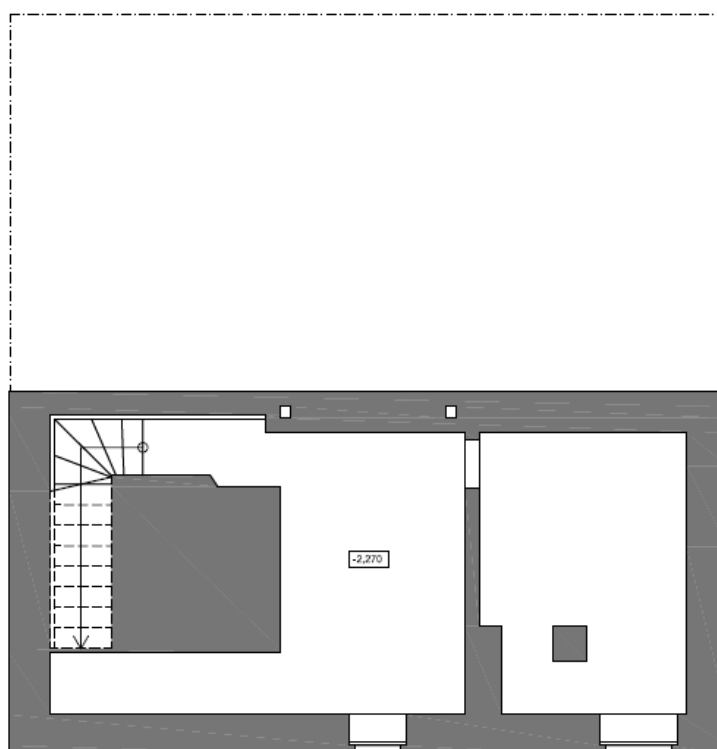
Účelem hodnocení je posoudit konstrukční stav objektu, vyhodnotit poruchy objektu a provést případný návrh opatření. V prostoru podkroví objektu je navržena změna využití na obytný prostor. Hodnocení je požadováno v rozsahu celého objektu.

b) popis objektu

Objekt je umístěn samostatně stojící půdorysného tvaru obdélníka 9,75m x 10,08m. Celková výška objektu nad terénem je 11,16m. Nosný systém objektu je podélný stěnový. Tvar střešní konstrukce je valbový, nosnou konstrukci krovu tvoří klasická vaznicová soustava s vaznicovým věncem.

Vlastní objekt se sestává se z 1.PP 1.NP, 2.NP a prostoru podkroví. 1.PP je pouze pod zhruba ½ objektu (obr.1). Prostory 1.NP a 2.NP jsou v současné době využívány jako obytné prostory. Prostor podkroví je využíván pouze jako úložný.

Nosné stěny obvodové a vnitřní jsou z cihelného zdiva, ve spodní části přechází do kamenného zdiva na původní maltu.. Ostatní stěny jsou z cihelného zdiva.



Obrázek 1 – stávající 1.PP

c) podklady

1. Prohlídka objektu na místě dne 27.8.2008
2. Stavební projektová dokumentace pro stavební povolení
4. Fotodokumentace
3. Odpovídající normy ČSN EN

d) předběžná prohlídka

Byla provedena úředněná předběžná prohlídka objektu. V objektu byly zdokumentovány tyto konstrukce:

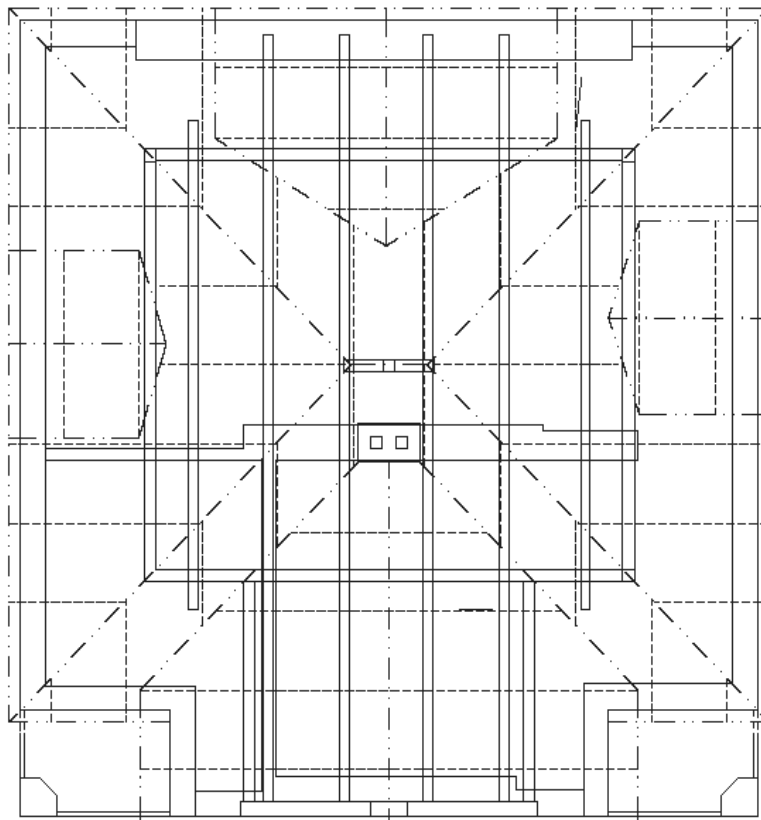
d1) konstrukce krovu (obr.2)

Nosnou konstrukci krovu tvoří vaznicová soustava, střední vaznicový věnc a vrcholová vaznice. Krokve jsou zaměřeny profilu 100/120mm ve vzdálenostech cca 1,0m.

Střední vaznice jsou řešeny jako dřevěné nosníky profilu 160/200mm. Jsou podporovány v rozích sloupky profilu 160/160mm a u volného-nepodepřeného rohu jsou podporované stávajícím zdivem tl. 150mm, přes které přechází vaznice jako konzoly. Sloupky

konstrukce krovu jsou uloženy na stropní konstrukci nad 1.NP. V místě mezi schodištěm a pokojem je vaznice zřejmě uložena na stěnu tl.150mm.

Vrcholová vaznice je podporována sloupkem, který je uložen nosníky stropu nad 2.NP pomocí dřevěné výměny. Ztužení konstrukce krovu je zajištěno bedněním.



Obrázek 2 – půdorys krovu

Byla provedena vizuální prohlídka dřevěných prvků krovu a dále zkoušení povrchových vlastností trámů vrypů. Při předběžné prohlídce nebyly nalezeny povrchové známky poruch prvků krovu ani přítomnosti dřevokazného hmyzu a hub. Pomocí vrypů byla zjištěna zdravá dřevěná hmota.

Nebyly nalezeny nadměrné deformace krovu.

d2) konstrukce stropu nad 2.NP (obr.3)

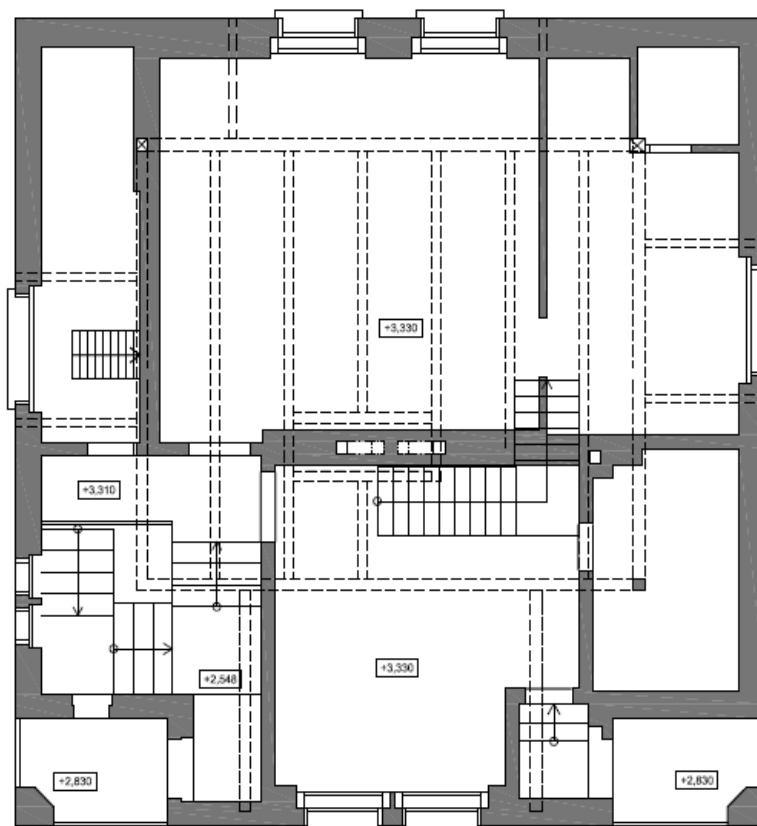
Stropní konstrukci nad 2.NP tvoří dřevěné stropní trámy v rovině pod vaznicovým věncem profilu 130/150mm po maximální vzdálenosti 1,0m. Tyto stropní trámy jsou pomocí hřebíků kotveny vždy ke dvojici krokví a tvoří kleštiny krovu. Tyto dřevěné nosníky jsou podepřeny konstrukcí krovu a střední nosnou stěnou.

Byla provedena vizuální prohlídka trámů a zkoušení povrchových vlastností trámů vrypů. Při předběžné prohlídce nebyly nalezeny povrchové známky poruch trámů ani přítomnosti dřevokazného hmyzu a hub. Nebyly nalezeny nadměrné deformace trámů.

d3) svislé konstrukce ve 2.NP

Obvodové svislé nosné zdivo ve 2.NP je cihelné v tl. 330mm včetně omítky. Střední nosné zdivo je v rozmezí 380mm – 450mm. Pevnost malty byla určena pomocí nedestruktivní zkoušky Schmidtovo kladivem v hodnotě 1MPa.

Obvodové nosné zdivo vykazuje poruchy na severozápadním rohu objektu. Poruchy – trhliny navazují na poruchy zdiva v 1.NP.



Obrázek 3 – půdorys 2.NP

d4) konstrukce stropu nad 1.NP (obr.4)

Stropní konstrukce nad 1.NP je z dřevěných trámů po vzdálenosti cca 0,95m. Trámy byly zaměřeny profilu 160/230mm pro světlý rozpon 4,78m a profilu 160/215mm pro světlý rozpon 3,98m. Na trámy byl proveden prkenný záklop v tl.24mm a doplněno podbití v tl.24mm s omítkou. Byla provedena vizuální prohlídka trámů a zkoušení povrchových vlastností trámů vrypů. Při předběžné prohlídce nebyly nalezeny povrchové známky poruch trámů ani přítomnosti dřevokazného hmyzu a hub. Pomocí vrypů byla zjištěna zdravá dřevěná hmota a to i v blízkosti zhlaví trámů. Stropní trámy vykazují viditelné deformace.

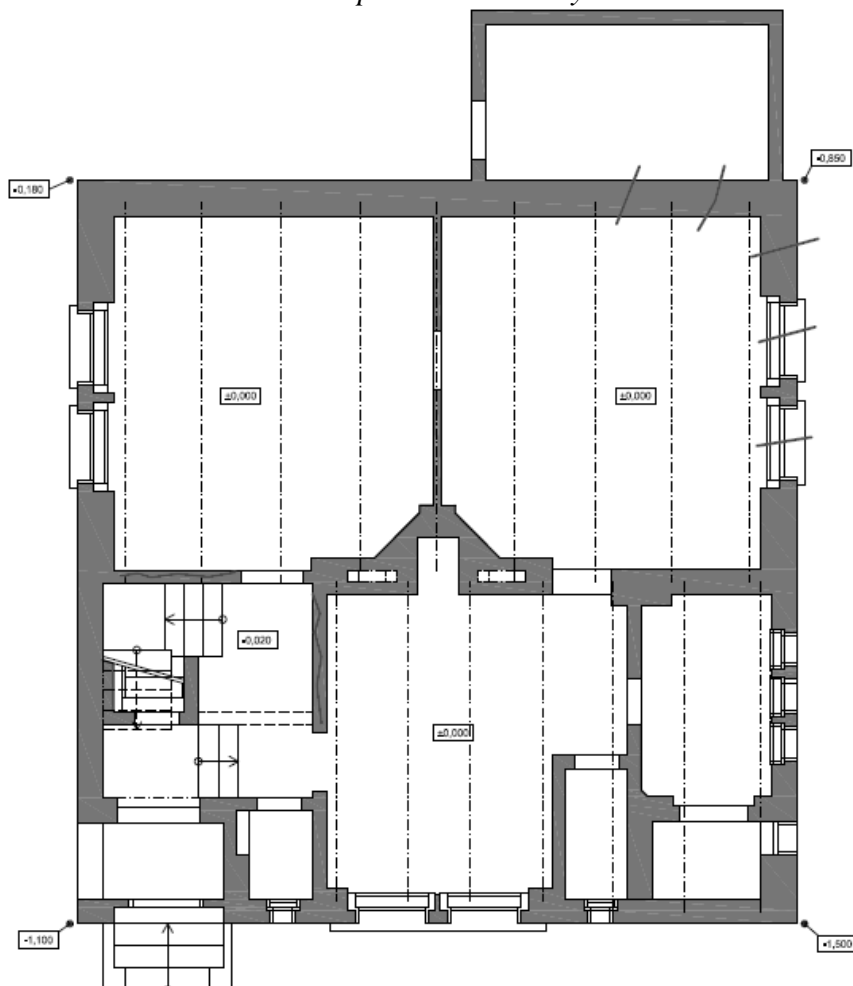
d5) svislé konstrukce ve 1.NP (obr.4)

Poruchy zdokumentované v 1.NP jsou znázorněny v obrázku 4 červeně.

Stávající cihelné zdivo v tl. 150mm mezi schodištěm a pokojem je porušené vodorovnými a šikmými trhlinami o šířce až 15mm. Z předběžné prohlídky vyplývá, že zdivo přenáší zatížení od konstrukce krovu. Obdobné poruchy se vyskytují i u zdiva mezi schodištěm a kuchyní.

Severozápadní roh objektu vykazuje poruchy. Trhliny šířky až 20mm vodorovného až šikmého charakteru zhruba v rozsahu 2m v obou směrech od tohoto rohu. Trhliny přechází z obvodového zdiva 1.NP až do základového zdiva.

V blízkosti rozhraní podsklepené a nepodsklepené části objektu jsou trhliny základového kamenného zdiva.



Obrázek 4 – půdorys 1NP, poruchy

e) analýza údajů

Údaje dostupné z předběžné prohlídky jsou dostatečné pro určení opatření nutných z důvodu změn a stavebních úprav .

Je navržena podrobná prohlídka základových poměrů objektu pro přesné určení příčin poruch severozápadního rohu objektu.

f) předběžné ověření

f1) nosná konstrukce krovu a stropu nad 2.NP (obr.5)

Podle projekčního návrhu budou stávající vrstvy konstrukce střechy včetně krytiny a bednění odstraněny. Ověření je provedeno pro navrženou novou skladbu střešní konstrukce. Zatížení sněhem je určeno pro oblast Prahy – I.SO.

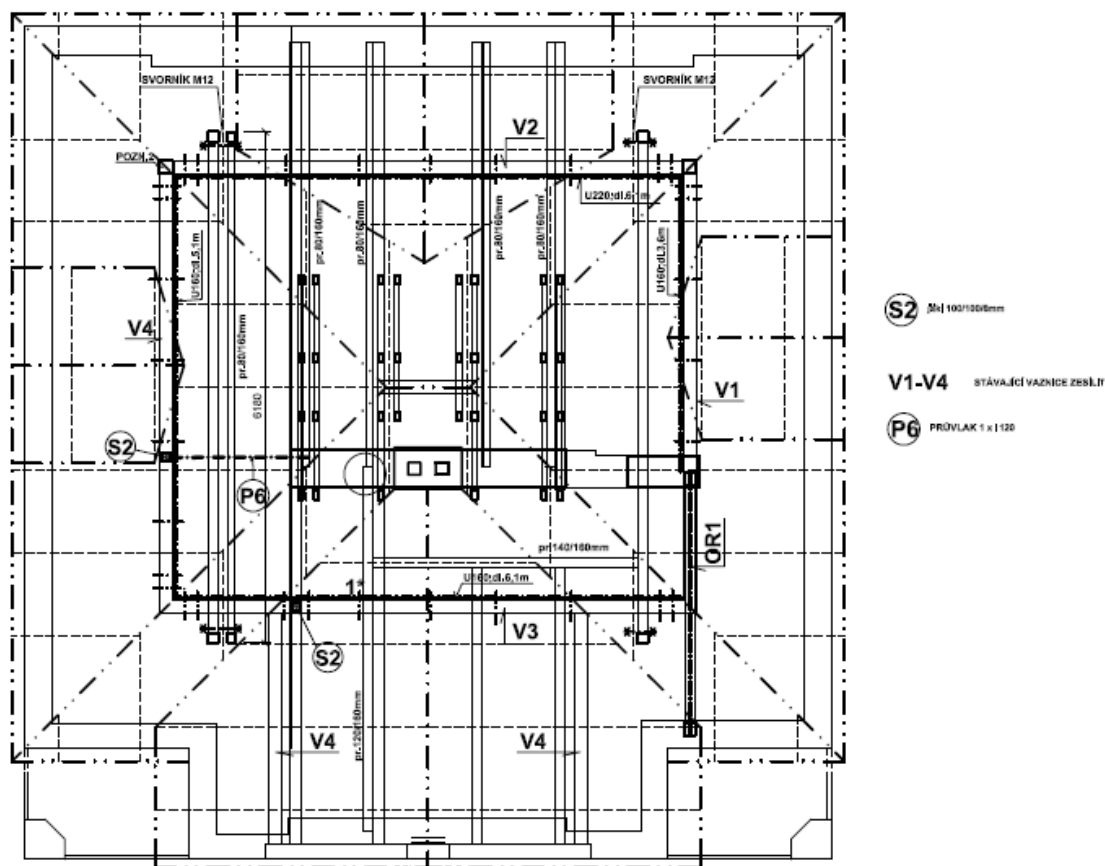
Stávající skladba stropu nad 2.NP bude rovněž odstraněna a je navržena v projekčním návrhu nová skladba, která předpokládá využití prostoru podkroví jako obytný prostor. Je uvažováno užitné zatížení stropní konstrukce nad 2.NP pro prostory A.

Stávající krokve vyhovují navrženému zatížení.

Vaznice nevyhovují navrženému zatížení, které je zvýšené o skladby podlahy nad 2.NP a navazující navržené užitné zatížení kleštin v hodnotě $1,5\text{KN/m}^2$ Je navrženo zesílení stávajících středních vaznic profilu 160/200mm ocelovou příložkou profilu U220 a U160 (obr.6).

Dále je navrženo zesílení stávajících nosníků stropu nad 2.NP – kleštin. Dle dokumentace bude ke stávajícímu trámu profilu 130/150mm doplněna fošna pr. 80/160mm. V místě uložení sloupku podporujícího vrcholovou vaznicí je navržena mezi trámy stropu nad 2.NP výměna.

SCHÉMA ZESÍLENÍ KONSTRUKCE KROVU



Obrázek 5 – navržené úpravy krovu a stropu nad 2.NP

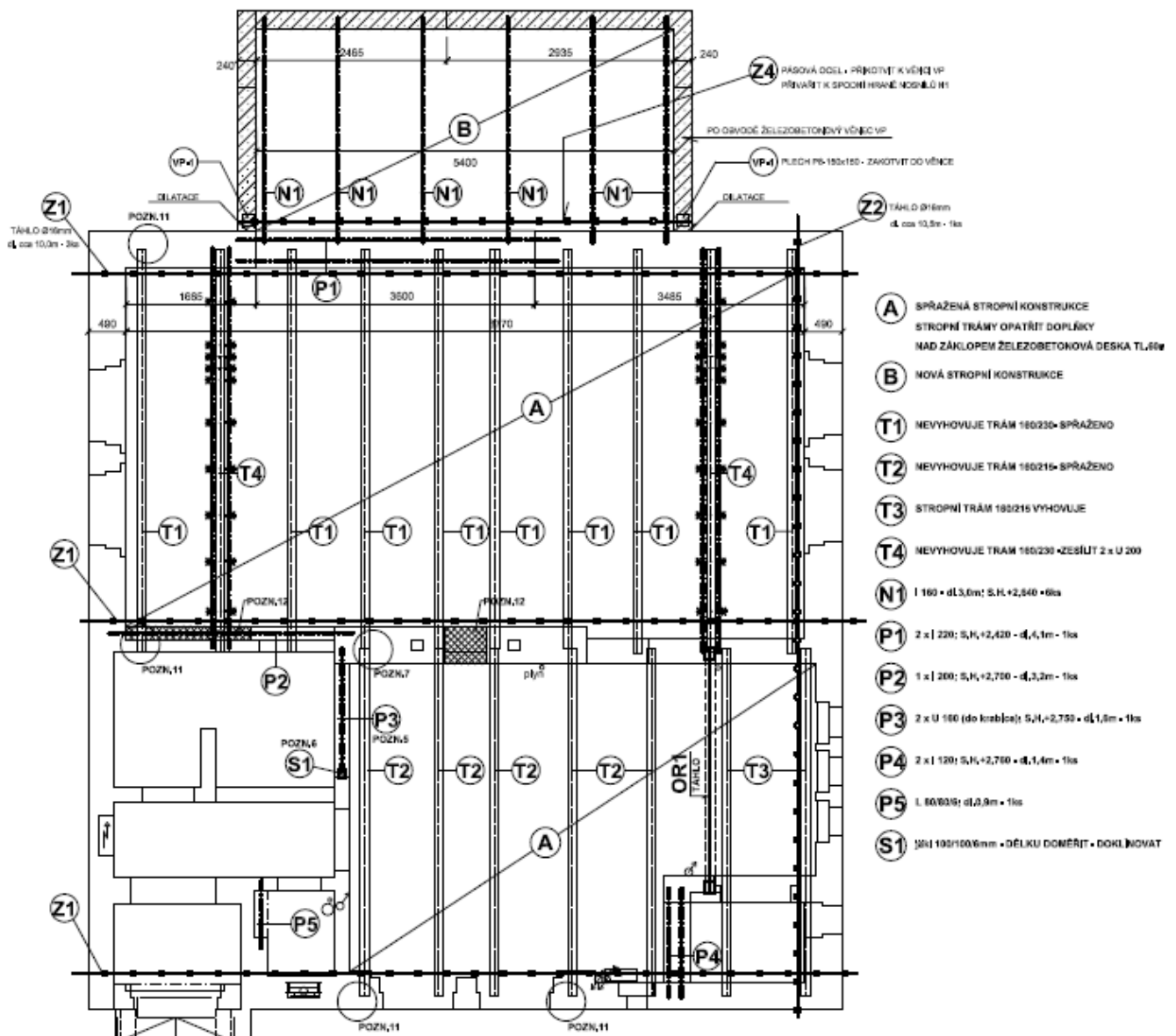
Sloupky konstrukce krovu profilu 160/160mm vyhovují navrženému zatížení. Nevyhovuje uložení sloupků na stropní konstrukci nad 1.NP. Pod dva sloupky je navržena výměna ve stropní konstrukci nad 1.NP – stávající stropní trám bude zesílen oboustrannou ocelovou příložkou. Spolupůsobení bude zajištěno svorníky. Dále je navrženo ocelový rám OR1 jako náhrada jednoho sloupku pod střední vaznicí. Rám je navrženo z ocelového profilu 2 x U 160 svařených do krabice.

Stávající řešení uložení vaznice na stěnu mezi schodištěm a pokojem v tl.150mm je nevyhovující. Je navrženo doplnění sloupku podporující vaznici, který bude uložen na nosné zdivo v 1.NP.

Veškeré spoje dřevěných prvků krovu je nutno zajistit svorníkem.

Ztužení konstrukce krovu je zajištěno stávajícím bedněním.

f2) nosná konstrukce stropu nad 1.NP (obr.6)



Obrázek 6 - navržené úpravy stropu nad 1.NP a v 1.NP

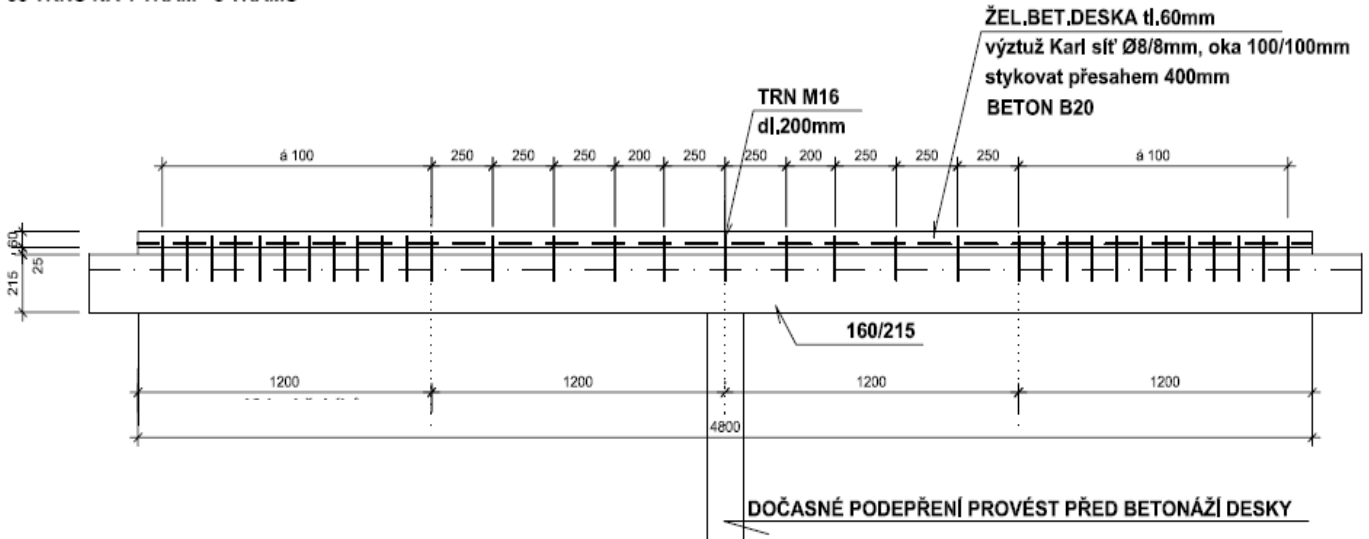
Stropní trámy nevyhovují navrženému zatížení podlahou. Je navrženo zesílení – sprážení se železobetonovou deskou. Nad záklop bude nadbetonována železobetonová deska v tl. 50mm s výztuží sítěmi Kari. Spára mezi trámem a deskou bude zajištěna z hlediska smyku trny (obr.7,8).

Je navrženo zesílení stávajících trámů pro uložení sloupků krovu. Stávající trám bude zesílen oboustannou ocelovou příložkou profilu U200. Spolupůsobení bude zajištěno svorníky (obr.9,10).

Je navrženo ztužení objektu v rovině pod stropní konstrukcí nad 1.NP obousměrnými táhly průměru 12mm zakotvenými vně objektu pomocí roznášecí desky.

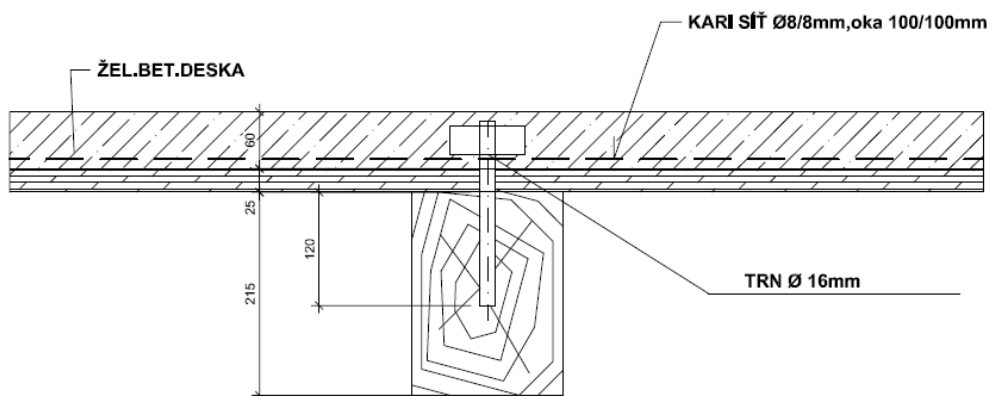
SCHEMA ROZMÍSTĚNÍ TRNŮ TRÁMU T1 - SPŘAŽENÍ

33 TRNŮ NA 1 TRÁM - 8 TRÁMŮ



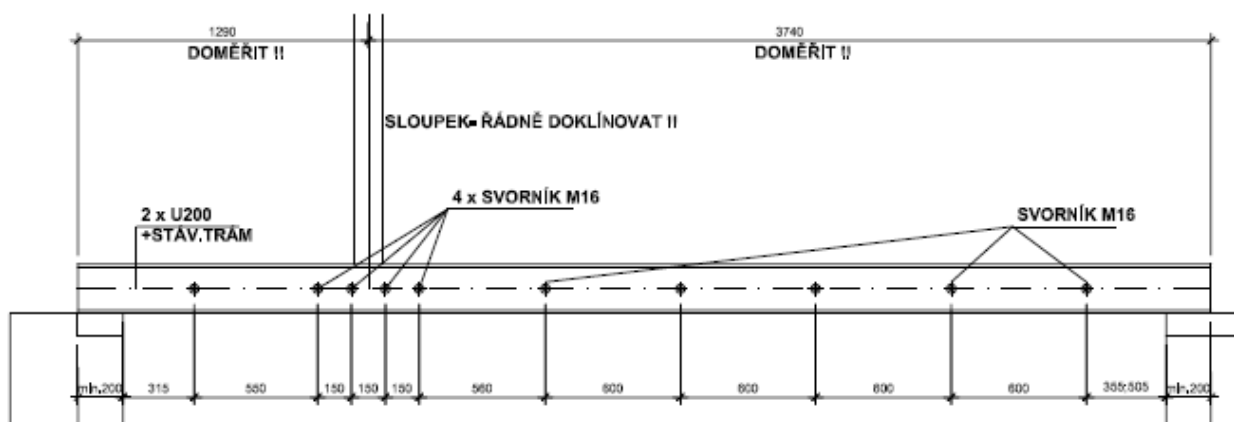
Obrázek 7 – spřažení trámu s deskou

SCHEMA UMÍSTĚNÍ TRNŮ - SPŘAŽENÍ



Obrázek 8 – spřažení trámu s deskou - řez

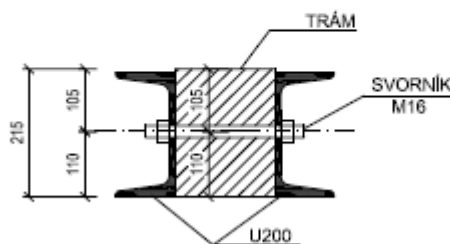
SCHEMA ROZMÍSTĚNÍ SVORNÍKŮ - STROPNÍ TRÁM T4 - 2x



Obrázek 9 – ocelové příložky trámu

PŘÍČNÝ ŘEZ ZESÍLENÝM TRÁMEM

M 1:10



Obrázek 10 – ocelové příložky trámu - řez

f3) svíslé nosné konstrukce

V 1.NP je navrženo zesílení stávajícího porušeného zdiva tl.150mm mezi schodištěm a pokojem zdívem v tl.175mm – cihly P10 a maltu pevnosti 5Mpa. Stávající zdivo je nutné s novým zdívem propojit trny vkládanými do vodorovných spar (obr.6).

Dále je navrženo vložení již výše uvedeného ocelového sloupku – jakl 100/100/6mm v 1.NP i ve 2.NP. Uložení ocelového sloupku bude na obou koncích pomocí ocelových kotevních plechů P10. Sloupky je nutné umístit tak, aby navazovaly na vaznici a tvořily její podporu (obr. 5, 6).

Porušené zdivo u severozápadního rohu bude zajištěno vnějšími vodorovnými ocelovými táhly profilu U120 kotvenými pomocí chemických kotev do zdiva.

f4) ztužení objektu

Stávající objekt není ztužen železobetonovými věnci. Je navrženo ztužení objektu v obou směrech a to v rovině pod stropní konstrukcí nad 1.NP a částečně v rovině podlahy 1.NP. Jsou navrženy táhla průměru 14mm a budou zakotvené vně objektu pomocí roznášecí desky z plechu P10.

f5) základové konstrukce

Navrhují provést podrobný průzkum základových poměrů. V blízkosti poruch budou provedeny sondy v blízkosti základových konstrukcí až na základovou spáru. Po provedení sond bude navrženo zajištění základových konstrukcí .

g) posouzení možných variant opatření

První varianta je provést výše uvedená zesílení stávajících konstrukcí a prvků. Další variantou navržených zesílení je nahrazení stávajících prvků novými vyhovujícími prvky.

g) závěry a doporučení

Z dostupných údajů vyplývá, že stávající konstrukce nejsou vyhovující pro navrženou změnu objektu a pro navržené prodloužení životnosti objektu.

Doporučují provést navržená zesílení stávajících konstrukcí.

Je nutné provést podrobný průzkum základových konstrukcí.

g) referenční dokumenty a literatura

NORMY ČSN EN 1990, 1991, 1992, 1993, 1995, 1996

ČSN ISO 13822

3 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Při hodnocení existujících konstrukcí bylo postupováno podle původní normy ČSN 730038. Zpráva byla upravena podle metodiky hodnocení konstrukcí podle ČSN ISO 13822. V tomto případě je účel hodnocení posoudit konstrukce stávajícího objektu pro navržené změny a dále pro navržené prodloužení životnosti objektu. Dále doporučit další postup pro nápravná opatření s ohledem na ekonomickou stránku řešení.

Při předběžné hodnocení konstrukcí byly shromážděny dostatečné podklady pro posouzení konstrukcí vyjma základových konstrukcí. Je doporučeno provést podrobný průzkum základových konstrukcí. Tento podrobný průzkum může být proveden po zahájení stavebních prací .

Z výše uvedeného příkladu vyplývá, že i přes veškerou pečlivost při předběžném průzkumu je nutné doplnit podrobný průzkum pro vyloučení nejasností.

Bylo dohodnuto, že podrobný průzkum základových konstrukcí bude proveden po zahájení stavebních prací na objektu.

PŘÍLOHA A: STATISTICKÉ HODNOCENÍ DAT

Milan Holický, Karel Jung¹

¹Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze

A.1 ÚVOD

Hodnocení existujících stavebních konstrukcí se často stěrává s nedostatečným množstvím informací o základních veličinách, především o odolnostech použitých materiálů. V takovýchto případech lze při odhadu pevnosti materiálů použít různé statistické postupy. Obvykle je třeba stanovit charakteristickou nebo návrhovou hodnotu (x_k nebo x_d) základní veličiny X z naměřených dat, tj. stanovit p -procentní kvantil x_p na základě omezeného souboru měření. Ukazuje se, že mezi operativní metody stanovení odhadu kvantilu patří zejména pokravná nebo předpovědní metoda.

A.2 KVANTIL TEORETICKÉHO MODELU

Veličina X , která při uskutečnění souboru stanovených podmínek π , tj. při realizaci určitého náhodného jevu, nabývá právě jednu hodnotu x , se nazývá náhodná veličina. Příkladem je síla při porušení betonové kostky zatěžované za stanovených podmínek ve zkušební stroji. Náhodné veličiny se zpravidla označují velkými písmeny, např. X , Y , jejich konkrétní realizace malými písmeny, např. x , y . Při hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí se používají především spojité náhodné veličiny (nabývající libovolné hodnoty v určitém oboru).

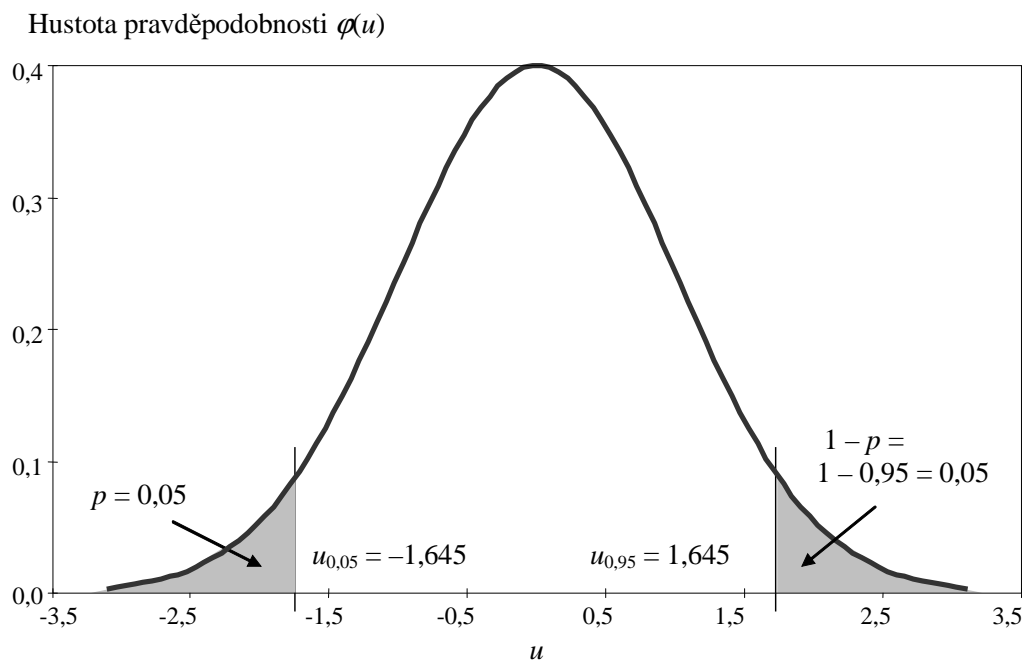
Klíčovým pojmem aplikací teorie spolehlivosti ve stavebnictví je kvantil náhodné veličiny. V případě spojité náhodné veličiny X , která má distribuční funkci $\Phi_X(x)$, je p -kvantil x_p taková hodnota náhodné veličiny X , pro niž platí, že výskyt hodnot menších než x_p nastane pouze s pravděpodobností p , tj. pro niž je distribuční funkce $\Phi_X(x_p)$ rovna pravděpodobnosti p

$$P(X < x_p) = \Phi_X(x_p) = p \quad (\text{A.1})$$

Jestliže $p < 0,5$, pak se hodnota x_p nazývá dolní kvantil, pro $p > 0,5$ se x_p nazývá horní kvantil. Obrázek 1 znázorňuje dolní a horní kvantil u_p normované náhodné veličiny U (viz další text) s normálním rozdělením pro pravděpodobnosti $p = 0,05$ a $0,95$, označené tedy $u_{0,05}$ a $u_{0,95}$.

Kvantil odpovídající pravděpodobnosti $p = 0,05$ se obvykle uplatňuje při stanovení charakteristické hodnoty materiálových vlastností (pevnosti betonu, meze kluzu oceli, pevnosti zdiva). Návrhové hodnoty dominantních veličin jsou obvykle kvantily odpovídající menší pravděpodobnosti (např. $p \cong 0,001$), návrhové hodnoty nedominantních veličin jsou kvantily odpovídající naopak větší pravděpodobnosti (např. $p \cong 0,10$).

Při hodnocení existujících stavebních konstrukcí je obvykle k dispozici omezené množství dat. Odhad kvantilu odpovídající „nízkým“ pravděpodobnostem p ($p \sim 0,001$) může být v takovýchto případech ovšem značně nepřesný. Proto se často stanoví z dat charakteristická hodnota x_k náhodné veličiny (tj. kvantil x_p odpovídající „vyšším“ pravděpodobnostem p , $p \sim 0,05$) a návrhová hodnota x_d se následně stanoví s využitím dílčího součinitele $\gamma_M(\gamma_G, \gamma_Q)$.



Obrázek č. 1. Dolní a horní kvantil normované náhodné veličiny U s normálním rozdělením.

Náhodné veličiny X se obvykle popisují teoretickými modely rozdělení pravděpodobností s danou distribuční funkcí $\Phi_X(x)$. Mezi nejčastěji používané teoretické modely rozdělení pravděpodobností spojitých náhodných veličin patří:

- normální rozdělení (použití: materiálové vlastnosti, zatížení vlastní tíhou, geometrické údaje)
- tříparametrické lognormální rozdělení a lognormální rozdělení s počátkem v „0“ (materiálové vlastnosti, zatížení, geometrické údaje)
- Gumbelovo a gama rozdělení (zatížení)
- Weibullovo rozdělení (materiálové charakteristiky).

Podrobnosti k uvedeným teoretickým modelům a bližší specifikace jejich použití pro popis náhodných vlastností jednotlivých základních veličin X jsou srozumitelně popsány v [2]. Doporučené modely pro veličiny X jsou také dostupné v publikaci Joint Committee for Structural Safety [3]. V dalším textu této kapitoly se výklad omezí na stanovení kvantilu veličin popsanych normálním nebo lognormálním rozdělením.

Pro jednotlivé teoretické modely se kvantil x_p zpravidla stanoví prostřednictvím normované náhodné veličiny U s příslušným typem rozdělení (výpočet kvantilu s využitím MS Excelu pro různá rozdělení je ukázán v numerickém příkladu „Stanovení kvantilu náhodné veličiny“). Normovaná náhodná veličina U se stanoví na základě veličiny X prostřednictvím následujícího transformačního vztahu

$$U = (X - \mu_X) / \sigma_X \quad (\text{A.2})$$

kde μ_X je průměr a σ_X směrodatná odchylka náhodné veličiny X . Tyto statistické charakteristiky musí být pro veličinu X známy. Poznamenejme, že normovaná veličina U má stejné rozdělení pravděpodobností jako veličina X , průměr $\mu_U = 0$ a směrodatnou odchylku $\sigma_U = 1$. Hodnoty distribučních funkcí $\Phi_U(x)$ a jejich kvantilů u_p lze najít např. ve skriptech [4,5] nebo v normě ISO 12491 [6].

Hledaný kvantil x_p se stanoví s využitím hodnoty normované náhodné veličiny u_p odpovídající dané pravděpodobnosti p

$$x_p = \mu_X + u_p \sigma_X = \mu_X (1 + u_p V_X) \quad (\text{A.3})$$

kde $V_X = \sigma_X / \mu_X$ je variační koeficient náhodné veličiny X .

Tabulka č. 1 uvádí hodnoty u_p dolního kvantilu normované náhodné veličiny U s normálním rozdělením pro vybrané pravděpodobnosti p . Vzhledem k symetrii normálního rozdělení se hodnoty horního kvantilu u_p stanoví z tabulky č. 1 tak, že se p nahradí hodnotou $1 - p$ a u hodnot u_p se změni znaménko (ze záporného na kladné), $u_p = -u_{1-p}$.

Tabulka č. 1. Kvantil u_p normované náhodné veličiny s normálním rozdělením.

p	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	0,001	0,010	0,050	0,100	0,200	0,500
u_p	-5,199	-4,753	-4,265	-3,719	-3,091	-2,327	-1,645	-1,282	-0,841	0,000

Pro normovanou náhodnou veličinu s obecným tříparametrickým lognormálním rozdělením je hodnota normované náhodné veličiny u_p závislá na šikmosti ω_X . Tabulka č. 2 uvádí hodnoty u_p pro vybrané šikmosti ω_X a pravděpodobnosti p . Poznamenejme, že vzhledem k asymetrii lognormálního rozdělení ($\omega_X \neq 0$) neplatí vztah $u_p = -u_{1-p}$ pro normální rozdělení.

Tabulka č. 2. Kvantil u_p normované náhodné veličiny s lognormálním rozdělením.

ω_X	Pravděpodobnosti p												
	10^{-4}	10^{-3}	0,01	0,05	0,10	0,20	0,50	0,80	0,90	0,95	0,99	$1-10^{-3}$	$1-10^{-4}$
-2,0	-9,52	-6,24	-3,52	-1,89	-1,24	-0,61	0,24	0,77	0,97	1,10	1,28	1,42	1,49
-1,5	-7,97	-5,51	-3,31	-1,89	-1,29	-0,68	0,20	0,81	1,04	1,21	1,45	1,65	1,77
-1,0	-6,40	-4,70	-3,03	-1,85	-1,32	-0,74	0,15	0,84	1,13	1,34	1,68	1,99	2,19
-0,5	-4,94	-3,86	-2,70	-1,77	-1,32	-0,80	0,08	0,85	1,21	1,49	1,98	2,46	2,81
0,0	-3,72	-3,09	-2,33	-1,65	-1,28	-0,84	0,00	0,84	1,28	1,65	2,33	3,09	3,72
0,5	-2,81	-2,46	-1,98	-1,49	-1,21	-0,85	-0,08	0,80	1,32	1,77	2,70	3,86	4,94
1,0	-2,19	-1,99	-1,68	-1,34	-1,13	-0,84	-0,15	0,74	1,32	1,85	3,03	4,70	6,40
1,5	-1,77	-1,65	-1,45	-1,21	-1,04	-0,81	-0,20	0,68	1,29	1,89	3,31	5,51	7,97
2,0	-1,49	-1,42	-1,28	-1,10	-0,97	-0,77	-0,24	0,61	1,24	1,89	3,52	6,24	9,52

Pro lognormální rozdělení s dolní mezí v nule je možno kvantil stanovit z hodnoty kvantilu normované náhodné veličiny s normálním rozdělením

$$x_p = \frac{\mu_X}{\sqrt{1+V_X^2}} \exp\left(u_p \sqrt{\ln(1+V_X^2)}\right) \quad (\text{A.4})$$

kde u_p je kvantil normované náhodné veličiny s normálním rozdělením. Často se uplatňuje aproximace vztahu (4) ve tvaru

$$x_p \cong \mu_X \exp(u_p V_X) \quad (\text{A.5})$$

jejíž přesnost je zcela vyhovující pro $V_X < 0,2$, běžně se však používá i pro větší V_X .

Příklad č. 1. Stanovme kvantil normálního a lognormálního rozdělení s dolní mezí v nule pro $p = 0,001; 0,01; 0,05$ a $0,10$, je-li $V = 0,3$. Lognormální rozdělení s dolní mezí v nule má šikmost $\omega = 3V + V^3 = 0,927$ [9], kterou je třeba znát pro interpolaci v tabulce č. 2. Výsledné hodnoty x_p jsou uvedeny v následující tabulce č. 3 ve tvaru bezrozměrných součinitelů x_p/μ_X (vyjadřující podíl kvantilu a průměru) stanovených různým způsobem pro normální i lognormální rozdělení.

Tabulka č. 3. Součinitel x_p/μ_X k příkladu č. 1.

Součinitel x_p/μ_X stanoven pro	Pravděpodobnosti p			
	0,001	0,010	0,050	0,100
normální rozdělení podle rovnice (A.3) a tabulky č.1	0,073	0,302	0,506	0,615
lognormální rozdělení podle rovnice (A.3) a tabulky č.2	0,385	0,483	0,591	0,658
lognormální rozdělení podle rovnice (A.4) a tabulky č.1	0,387	0,484	0,591	0,657
lognormální rozdělení podle rovnice (A.5) a tabulky č.1	0,396	0,496	0,610	0,681

Z tabulky č. 3 je patrný očekávaný rozdíl mezi kvantilem normálního a lognormálního rozdělení. Zejména pro malé pravděpodobnosti p je dolní kvantil normálního rozdělení výrazně nižší než odpovídající kvantil lognormálního rozdělení. Tabulka rovněž ukazuje, že přibližný vzorec (5) poskytuje pro výpočet kvantilu lognormálního rozdělení uspokojivé výsledky (chyba bude menší pro nižší hodnoty variační koeficientu V).

Kvantil gama rozdělení je možno stanovit z dostupných tabulek pro Pearsonovo rozdělení typu III [4,5]. Přibližně lze také kvantil gama rozdělení i dalších typů rozdělení stanovit z rovnice (A.3) na základě tabulkových hodnot u_p pro normované lognormální rozdělení se stejnou šikmostí ω .

Jednoduše lze kvantil x_p stanovit u Gumbelova rozdělení:

$$x_p = x_{\text{mod}} - \frac{1}{c} \ln[-\ln(p)] \cong \mu_X - \{0,45 + 0,78 \ln[-\ln(p)]\} \sigma_X \quad (\text{A.6})$$

kde $x_{\text{mod}} = \mu_X - 0,577\sqrt{6}\sigma_X/\pi$ je modus a $c = \pi/(\sqrt{6}\sigma_X)$ parametr Gumbelova rozdělení.

A.3 NÁHODNÝ VÝBĚR

Předchozí text vycházel z předpokladu, že známe teoretický model veličiny X a příslušnou distribuční funkci $\Phi_X(x)$. Při hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí máme však často k dispozici pouze omezené množství dat a musíme stanovit kvantil (tedy např. charakteristickou hodnotu pevnosti betonu f_{ck}) z tzv. náhodného výběru.

Opakovanou realizací podmínek π (zkoušením betonové kostky za stanovených podmínek) se získá výběr (za určitých podmínek náhodný výběr) $\{x_i\}$ o určitém rozsahu n . Podle rozsahu se zpravidla rozlišují velmi malé výběry ($n \leq 10$), malé výběry ($10 < n \leq 30$) a velké výběry ($30 < n$). Výběrem se rozumí soubor odebraný z určitého základního souboru (všech betonových kostek daného typu), který je určen k tomu, aby poskytl informace o základním souboru.

Prvním krokem rozboru jakéhokoli výběru by mělo být jeho grafické znázornění pomocí histogramu (viz numerický příklad – „Stanovení charakteristické pevnosti“), popř. jiných grafů a prověření extrémních hodnot (odlehklých pozorování) a opravení (vyloučení) chybných hodnot. Je to velmi důležitý, často náročný a pracný krok, který by měl však předcházet dalšímu numerickému zpracování výběru pro odhad vlastností základního souboru.

Upravené (opravené) výběry lze použít pro stanovení charakteristik (statistik), které popisují polohu, rozptýlení, nesouměrnost, popř. další vlastnosti výběru. V technické praxi jsou nejdůležitější momentové charakteristiky, které nejlépe vystihují celkové vlastnosti výběru. Momentové charakteristiky jsou definovány analogicky k momentovým parametrům základního souboru. Parametry základního souboru a charakteristiky (statistiky), stanovené z výběru, je však třeba odlišovat. Výběrové charakteristiky se používají pro odhad parametrů základního souboru.

Důležitá problematika odhadu parametrů základního souboru na základě informací získaných z výběru je velmi obsáhlá oblast matematické statistiky, která je v této kapitole zahrnuta jen částečně. Uvedeme takové charakteristiky výběru, které jsou tzv. nestrannými bodovými odhady („nejlepšími“ bodovými odhady) příslušných parametrů základního souboru. Přesnější význam pojmu "nestranný odhad" a ostatní statistické postupy (např. intervalové odhady pro zadanou konfidenci) jsou podrobně popsány ve skriptech [4] nebo v mezinárodním dokumentu ISO [6].

Základní charakteristikou výběru, popisující jeho polohu, je výběrový průměr (také aritmetický průměr nebo prostě průměr), který je dán obecným momentem prvního řádu

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_i x_i \quad (\text{A.7})$$

Výběrový průměr m_x je také nestranným bodovým odhadem průměru μ_x příslušného základního souboru.

Základní charakteristikou popisující míru rozptýlení je výběrový rozptyl s_x^2 , který je definován na základě centrálního momentu druhého řádu

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - m_x)^2 \quad (\text{A.8})$$

Takto definovaný výběrový rozptyl s_x^2 je nestranným bodovým odhadem rozptylu základního souboru σ_x^2 . Druhá odmocnina rozptylu označuje výběrovou směrodatnou odchylku, která se v praktických aplikacích používá častěji než výběrový rozptyl

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - m_x)^2} \quad (\text{A.9})$$

V technické praxi, zejména ve stavebnictví, se velmi často používá bezrozměrná charakteristika souboru, která je podílem výběrové směrodatné odchylky s_x a výběrového průměru m_x a která se nazývá výběrový variační koeficient

$$v_x = \frac{s_x}{m_x} \quad (\text{A.10})$$

Výběrová šikmost w_x (též koeficient šikmosti) je bezrozměrná veličina charakterizující nesymetrii souboru. Je to nestranný bodový odhad šikmosti ω_x základního souboru, který je stanoven na základě třetího centrálního momentu

$$w_x = \frac{n}{(n-1)(n-2)s_x^3} \sum_i (x_i - m_x)^3 \quad (\text{A.11})$$

Poznámáme opět, že zlomek na pravé straně vztahu (11) vyplývá z požadavku nestrannosti odhadu šikmosti ω_x základního souboru.

Šikmost je citlivá na extrémní výběrové hodnoty (na extrémní odchylky $x_i - m_x$) a může být snadno zatížena významnou (nenáhodnou) chybou. K výpočtu šikmosti je v každém případě třeba použít pokud možno velké soubory ($n > 30$). Jestliže však vychází podezřelá hodnota (např. velká záporná hodnota nebo $|w_x| > 1$), je třeba ověřit odlehlá pozorování a odstranit případné chybné extrémní hodnoty.

Další výběrové charakteristiky jako např. výběrová špičatost e_x (též koeficient špičatosti) se v praxi používají zřídka a nejsou proto dále v textu vysvětleny. Bližší informace lze nalézt např. ve skriptech [4].

A.4 POKRYVNÁ METODA ODHADU

V části 2 „Náhodný výběr“ jsou vysvětleny základní statistické charakteristiky náhodného výběru (např. n výsledků zkoušek pevnosti betonu v tlaku na krychlích). Důležitým krokem při stanovení např. odolnosti konstrukce na základě zkoušek je následně stanovení odhadu kvantilu z náhodného výběru.

Základním pojmem odhadu kvantilu z výběru o rozsahu n pokryvnou metodou je konfidence γ , tj. pravděpodobnost (zpravidla 0,75, 0,90 nebo 0,95), se kterou stanovený odhad pokrývá hledaný kvantil (proto se mluví o pokryvné metodě, anglicky covering method). Odhad $x_{p,\text{cover}}$ dolního kvantilu x_p je pokryvnou metodou stanoven tak, že platí

$$P(x_{p,\text{cover}} < x_p) = \gamma \quad (\text{A.12})$$

tj. že s pravděpodobností γ je odhad menší (na bezpečné straně) než neznámý kvantil x_p .

V následujícím textu jsou bez odvození uvedeny praktické vzorce za předpokladu, že základní soubor (např. soubor všech betonových krychlí) má tříparametrické rozdělení s průměrem μ_X , směrodatnou odchylkou σ_X a šikmostí ω_X , o které se předpokládá, že je vždy známa z předchozí zkušenosti. Kromě toho se předpokládá, že průměr základního souboru μ_X není nikdy předem znám a při odhadu se proto vždy vychází z výběrového průměru m_X , zatímco směrodatná odchylka základního souboru σ_X je buď známá a pak se z ní vychází, nebo je neznámá a pak se místo ní uvažuje výběrová směrodatná odchylka s_X .

Jestliže směrodatná odchylka σ_X základního souboru je známá z předchozí zkušenosti, odhad $x_{p,\text{cover}}$ dolního p -kvantilu je dán vztahem

$$x_{p,\text{cover}} = m_X - \kappa_p \sigma_X \quad (\text{A.13})$$

Jestliže je směrodatná odchylka základního souboru σ_X neznámá, uvažuje se výběrová směrodatná odchylka s_X

$$x_{p,\text{cover}} = m_X - k_p s_X \quad (\text{A.14})$$

Koeficienty odhadu $\kappa_p = \kappa(\omega_X, p, \gamma, n)$ a $k_p = k(\omega_X, p, \gamma, n)$ závisí na typu rozdělení, šikmosti ω_X , pravděpodobnosti p odpovídající hledanému kvantilu x_p , konfidenci γ a na rozsahu výběru n . Znalost konfidence γ , že odhad $x_{p,\text{cover}}$ bude na bezpečné straně od skutečné hodnoty x_p , je největší předností klasické pokryvné metody. Konfidence $\gamma = 0,75$ se doporučuje v dokumentech [1,7]. V náročných případech, kdy se vyžaduje podrobný rozbor spolehlivosti, může být vhodnější vyšší hodnota konfidence, např. 0,95 [8].

Další podrobnosti lze najít v části „Součinitele pokryvné a předpovědní metody“.

A.5 PŘEDPOVĚDNÍ METODA ODHADU

Podle předpovědní metody [8] se dolní kvantil x_p odhaduje z výběru o rozsahu n tzv. předpovědní mezí $x_{p,\text{pred}}$, pro kterou platí, že další hodnota x_{n+1} náhodně vybraná ze základního souboru podkročí odhad $x_{p,\text{pred}}$ pouze s pravděpodobností p , tj. platí

$$P(x_{n+1} < x_{p,\text{pred}}) = p \quad (\text{A.15})$$

Lze ukázat, že takto definovaný odhad $x_{p,\text{pred}}$ se asymptoticky blíží k neznámému kvantilu x_p , jestliže n se zvyšuje. Ukazuje se také, že odhad $x_{p,\text{pred}}$ numericky přibližně odpovídá odhadu pokryvnou metodou $x_{p,\text{cover}}$ stanovenému pro konfidenci $\gamma = 0,75$ [8].

Jestliže veličina X má lognormální rozdělení a směrodatná odchylka základního souboru σ_X je známá, dolní kvantil je odhadnut hodnotou $x_{p,\text{pred}}$ podle vztahu

$$x_{p,\text{pred}} = m_X + u_p (1/n + 1)^{1/2} \sigma_X \quad (\text{A.16})$$

kde $u_p = u(\omega_X, p)$ je kvantil normovaného lognormálního rozdělení se šikmostí ω_X .

Jestliže však směrodatná odchylka základního souboru je neznámá, pak je třeba místo σ_X uvažovat výběrovou směrodatnou odchylku s_X

$$x_{p,\text{pred}} = m_X + t_p (1/n + 1)^{1/2} s_X \quad (\text{A.17})$$

kde $t_p = t(\omega_X, p, \nu)$ je p -kvantil zobecněného Studentova t -rozdělení pro $\nu = n - 1$ stupňů volnosti, které má šikmost ω_X . Další informace o Studentovu rozdělení a počtu stupňů volnosti je možno získat např. ze skript [4].

Pokryvná a předpovědní metoda představují dva základní postupy pro odhad kvantilu základního souboru na základě dostupného výběru o omezeném rozsahu n . V případě, že směrodatná odchylka základního souboru σ_X je známá, aplikují se rovnice (A.13) a (A.16), ve kterých vystupují analogické součinitele κ_p a $-u_p(1/n+1)^{1/2}$. Oba součinitele závisí na typu rozdělení, rozsahu výběru n , součinitel κ_p u pokryvné metody navíc ještě na konfidenci γ . Za předpokladu normálního rozdělení základního souboru uvádí tabulka č. 4 součinitele κ_p a $-u_p(1/n+1)^{1/2}$ pro $p = 0,05$ a vybrané hodnoty n a γ .

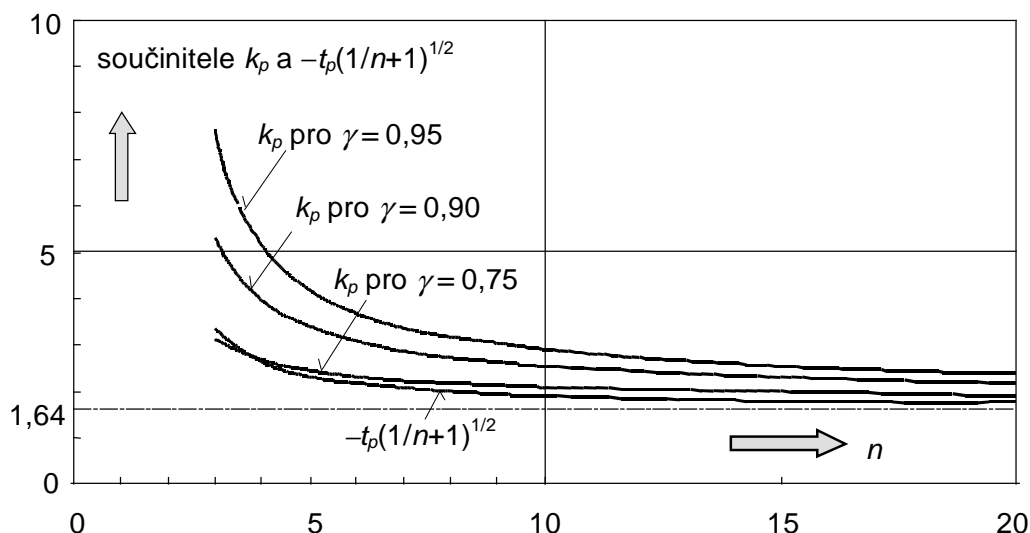
Tabulka č. 4. Součinitele κ_p a $-u_p(1/n+1)^{1/2}$ z rovnic (13) a (16) pro $p = 0,05$ a normální rozdělení základního souboru (σ_X známé).

Součinitel		Rozsah souboru n								
		3	4	5	6	8	10	20	30	∞
κ_p	$\gamma = 0,75$	2,03	1,98	1,95	1,92	1,88	1,86	1,79	1,77	1,64
	$\gamma = 0,90$	2,39	2,29	2,22	2,17	2,10	2,05	1,93	1,88	1,64
	$\gamma = 0,95$	2,60	2,47	2,38	2,32	2,23	2,17	2,01	1,95	1,64
$-u_p(1/n+1)^{1/2}$		1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64

Z tabulky č. 4 je zřejmé, že se zvyšujícím se rozsahem výběru n se oba součinitele blíží k hodnotě 1,64, která platí pro teoretický model normálního rozdělení (viz tabulka č. 1). U pokryvné metody se součinitel κ_p zvětšuje s rostoucí konfidencí γ . Pro konfidenci $\gamma = 0,75$ platí, že $\kappa_p \cong -u_p(1/n+1)^{1/2}$ a pokryvná metoda vede přibližně ke stejnému odhadu jako předpovědní metoda, $x_{p,\text{cover}} \cong x_{p,\text{pred}}$ (pro vyšší konfidenci $\gamma > 0,75$ je $x_{p,\text{cover}} < x_{p,\text{pred}}$).

V případě, že směrodatná odchylka základního souboru σ_X je neznámá, aplikují se rovnice (A.14) a (A.17), ve kterých vystupují analogické součinitele k_p a $-t_p(1/n+1)^{1/2}$. Oba součinitele závisí opět na typu rozdělení, rozsahu výběru n , součinitel k_p u pokryvné metody navíc ještě na konfidenci γ . Za předpokladu normálního rozdělení zachycuje tabulka č. 5 a obrázek č. 2 hodnoty součinitelů k_p a $-t_p(1/n+1)^{1/2}$ pro $p = 0,05$ a vybrané hodnoty n a γ .

Z tabulky č. 5 a z obrázku č. 2 je zřejmé, že s rostoucím rozsahem výběru n se oba součinitele blíží k hodnotě 1,64, která platí pro teoretický kvantil normálního rozdělení (viz tabulka č. 1). U pokryvné metody se součinitel k_p zvětšuje s rostoucí konfidencí γ a příslušné odhady $x_{p,\text{cover}}$ dolního kvantilu jsou nižší (na straně bezpečnosti). Pro konfidenci $\gamma = 0,75$ opět platí, že $k_p \cong -t_p(1/n+1)^{1/2}$ a pokryvná metoda vede přibližně ke stejnému odhadu jako předpovědní metoda, $x_{p,\text{cover}} \cong x_{p,\text{pred}}$ stejně jako v případě známé směrodatné odchylky σ_X .



Obrázek č. 2 Součinitele k_p a $-t_p(1/n+1)^{1/2}$ pro $p = 0,05$ a normální rozdělení základního souboru (σ_X neznámé).

Tabulka č. 5. Součinitele k_p a $-t_p(1/n+1)$ z rovnic (14) a (17) pro $p = 0,05$ a normální rozdělení základního souboru (σ_X neznámé).

Součinitel		Rozsah souboru n								
		3	4	5	6	8	10	20	30	∞
k_p	$\gamma = 0,75$	3,15	2,68	2,46	2,34	2,19	2,10	1,93	1,87	1,64
	$\gamma = 0,90$	5,31	3,96	3,40	3,09	2,75	2,57	2,21	2,08	1,64
	$\gamma = 0,95$	7,66	5,14	4,20	3,71	3,19	2,91	2,40	2,22	1,64
$-t_p(1/n+1)^{1/2}$		3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Šikmost (asymetrie) základního souboru ω_X může mít rovněž výrazný vliv na odhad kvantilu základního souboru. Tabulky č. 6 a 7 uvádí součinitele k_p z rovnice (14) za předpokladu tříparametrického lognormálního rozdělení pro tři šikmosti $\omega_X = -1,0, 0,0$ a $1,0$, pro pravděpodobnost $p = 0,05$ a konfidenci $\gamma = 0,75$ (tabulka č. 6) a $\gamma = 0,95$ (tabulka č. 7). Hodnoty součinitelů z tabulky č. 7 jsou znázorněny na obrázku č. 3.

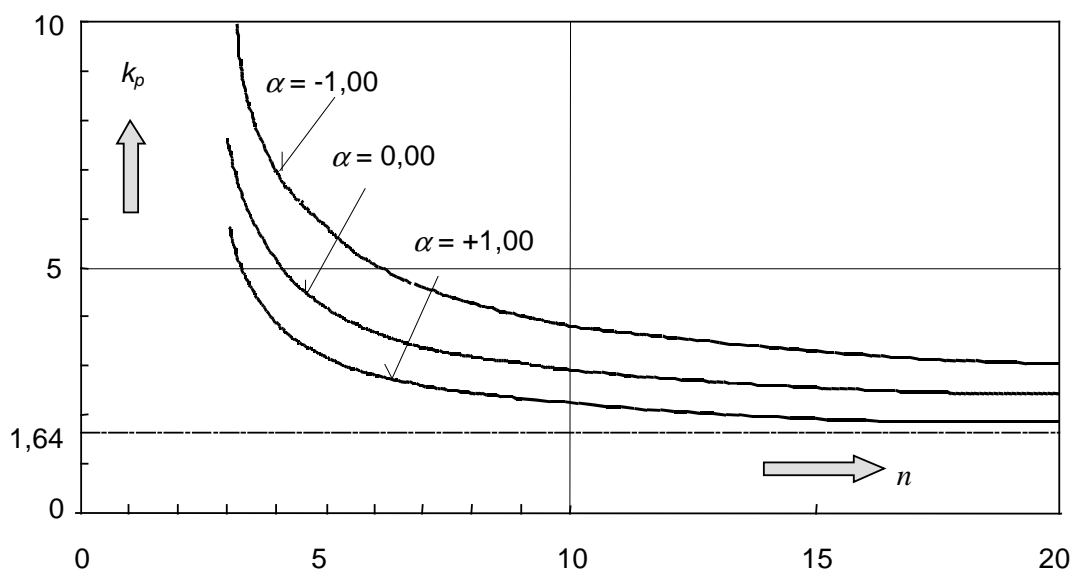
Tabulka č. 6. Součinitel k_p z rovnice (A.14) pro $p = 0,05$, $\gamma = 0,75$ a lognormální rozdělení se šikmostí ω_X (σ_X neznámé).

Šikmost	Rozsah souboru n								
	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$\omega_X = -1,00$	4,31	3,58	3,22	3,00	2,76	2,63	2,33	2,23	1,85
$\omega_X = 0,00$	3,15	2,68	2,46	2,34	2,19	2,10	1,93	1,87	1,64
$\omega_X = 1,00$	2,46	2,12	1,95	1,86	1,75	1,68	1,56	1,51	1,34

Tabulka č. 7. Součinitel k_p z rovnice (A.14) pro $p = 0,05$, $\gamma = 0,95$ a lognormální rozdělení se šikmostí ω_X (σ_X neznámé).

Šikmost	Rozsah souboru n								
	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$\omega_X = -1,00$	10,9	7,00	5,83	5,03	4,32	3,73	3,05	2,79	1,85
$\omega_X = 0,00$	7,66	5,14	4,20	3,71	3,19	2,91	2,40	2,22	1,64
$\omega_X = 1,00$	5,88	3,91	3,18	2,82	2,44	2,25	1,88	1,77	1,34

Z tabulek č. 6 a č. 7 je zřejmé, že s rostoucím rozsahem výběru n se součinitele k_p blíží k hodnotám u_p platným pro teoretický model lognormálního rozdělení, které jsou uvedeny v tabulce č. 2. Vliv šikmosti tedy zůstává i pro $n \rightarrow \infty$, je však výrazný zejména pro malé soubory a vyšší konfidenci $\gamma = 0,95$ (viz obrázek č. 3).



Obrázek č. 3. Součinitel k_p pro $p = 0,05$ a konfidenci $\gamma = 0,95$ (σ_X neznámé).

Podobnou závislost na šikmosti lze pozorovat u zobecněného Studentova t -rozdělení, jehož kvantily t_p jsou uvedeny v tabulce č. 8. Tyto hodnoty t_p se uplatní v předpovědní metodě ve vzorci (17) a dále v Bayesovské metodě (20). Proto jsou v tabulce č. 8 uvedeny přímo hodnoty kvantilů t_p v závislosti na počtu stupňů volnosti $\nu = n - 1$. Uvažuje se opět pravděpodobnost $p = 0,05$ a tři šikmosti $\omega_X = -1,0, 0$ a $1,0$.

Tabulka č. 8. Součinitel $-t_p$ z rovnice (A.17) pro $p = 0,05$ a lognormální rozdělení se šikmostí ω_X (σ_X neznámé).

Šikmost	Součinitel $-t_p$ pro počet stupňů volnosti $\nu = n - 1$								
	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$\omega_X = -1,00$	2,65	2,40	2,27	2,19	2,19	2,04	1,94	1,91	1,85
$\omega_X = 0,00$	2,35	2,13	2,02	1,94	1,86	1,81	1,72	1,70	1,64
$\omega_X = 1,00$	1,92	1,74	1,64	1,59	1,52	1,48	1,41	1,38	1,34

Z tabulky č. 8 je zřejmé, že se zvyšujícím se rozsahem výběru n se hodnoty t_p blíží k teoretickým hodnotám u_p platným pro model lognormálního rozdělení s odpovídající šikmostí, které jsou uvedeny v tabulce č. 2. Vliv šikmosti tedy opět (stejně jako u součinitele

k_p) zůstává i pro $n \rightarrow \infty$, je však zejména výrazný pro malé soubory (vzrůstá s klesajícím rozsahem výběru n).

Příklad č. 2. Výběr o rozsahu $n = 5$ měření pevnosti betonu má průměr $m_X = 29,2$ MPa a směrodatnou odchylku $s_X = 4,6$ MPa. Předpokládáme, že základní soubor má normální rozdělení a že jeho směrodatná odchylka σ_X je neznámá. Charakteristická pevnost $f_{ck} = x_{0,05}$ je nejdříve stanovena pokryvnou metodou. Jestliže konfidence je $\gamma = 0,75$, vyplývá z (A.14) a tabulky č. 5

$$x_{p,\text{cover}} = 29,2 - 2,46 \times 4,6 = 17,9 \text{ MPa}$$

Jestliže se však vyžaduje vyšší konfidence $\gamma = 0,95$, pak

$$x_{p,\text{cover}} = 29,2 - 4,20 \times 4,6 = 9,9 \text{ MPa}$$

Při předpovědní metodě se zjistí z rovnice (A.17) a tabulky č. 5

$$x_{p,\text{pred}} = 29,2 - 2,33 \times 4,6 = 18,5 \text{ MPa}$$

Podle předpovědní metody je tedy charakteristická pevnost pouze nepatrně větší než podle pokryvné metody s konfidencí $\gamma = 0,75$. Jestliže by se však požadovala vyšší konfidence $\gamma = 0,95$, pak pokryvná metoda vede k hodnotě, která je téměř poloviční než hodnota podle předpovědní metody.

Jestliže výběr pochází ze základního souboru s tříparametrickým lognormálním rozdělením a kladnou šikmostí $\omega_X = 1$, pak pokryvná metoda s konfidencí $\gamma = 0,75$ (tabulka č. 6) poskytuje odhad

$$x_{p,\text{cover}} = 29,2 - 1,95 \times 4,6 = 20,2 \text{ MPa}$$

což je hodnota o 13 % vyšší než při nulové šikmosti.

Podobně pro předpovědní metodu z tabulky č. 8 plyne

$$x_{p,\text{pred}} = 29,2 - 1,74 \times \sqrt{\frac{1}{5} + 1} \times 4,6 = 20,4 \text{ MPa}$$

kde hodnota $t_p = -1,74$ je uvedena v tabulce č. 8 pro $\omega_X = 1,0$ a $v = 5 - 1 = 4$. Výsledná pevnost je v tomto případě o 10% vyšší než hodnota odpovídající normálnímu rozdělení ($\omega_X = 0$).

Další informace lze najít v numerickém příkladu „Stanovení charakteristické pevnosti“.

A.6 BAYESOVSKÁ METODA ODHADU

Jestliže jsou u náhodné veličiny X k dispozici předchozí zkušenosti (např. v případě opakovaných měření), je možno využít tak zvaný Bayesovský postup, který sleduje myšlenku aktualizace pravděpodobností popsanou v [4]. Bayesovský postup odhadu kvantilu je popsán bez odvození příslušných vztahů. Podrobnější informace jsou uvedeny např. v dokumentech ISO [6,7].

Předpokládejme, že je k dispozici výběr o rozsahu n , který má průměr m_X a směrodatnou odchylku s_X . Kromě toho je z předchozí zkušenosti (předchozí zkoušky na posuzované konstrukci) znám výběrový průměr m_X' a výběrová směrodatná odchylka s_X' , které byly stanoveny z neznámého výběru o neznámém rozsahu n' . Předpokládá se ovšem, že oba výběry pocházejí ze stejného základního souboru, který má průměr μ_X a směrodatnou

odchylku σ_X . Oba soubory je tedy možno sloučit. Jestliže by byly známy jednotlivé hodnoty předchozího souboru, bylo by toto sloučení jednoduché. To však není v tomto případě možné. Je proto nutno využít Bayesovské úvahy.

Parametry sloučeného souboru obecně jsou dány vztahy [6,7]

$$\begin{aligned} n'' &= n + n' \\ \nu'' &= \nu + \nu' - 1 \text{ je-li } n' \geq 1, \nu'' = \nu + \nu' \text{ je-li } n' = 0 \\ m_X'' &= (mn + m_X'n') / n'' \\ s_X''^2 &= (\nu s_X^2 + \nu' s_X'^2 + n m_X^2 + n' m_X'^2 - n'' m_X''^2) / \nu'' \end{aligned} \quad (\text{A.18})$$

Neznámé hodnoty n' a ν' mohou být stanoveny na základě vztahů pro variační koeficienty průměru a směrodatné odchylky $\nu(\mu_X)$ a $\nu(\sigma_X)$ (parametry μ_X a σ_X se v Bayesovském pojetí považují za náhodné veličiny), pro které platí [6,7]

$$n' = [s_X' / (m_X' \nu(\mu_X))]^2, \nu' = 1 / (2 \nu(\sigma_X)^2) \quad (\text{A.19})$$

Obě neznámé veličiny n' a ν' mohou být stanoveny nezávisle na sobě (obecně $\nu' \neq n'-1$), avšak v závislosti na předchozí zkušenosti o stupni nejistoty odhadu průměru μ_X a směrodatné odchylky σ_X základního souboru.

Další krok postupu navazuje na předpovědní metodu. Bayesovský odhad $x_{p,\text{Bayes}}$ kvantilu je dán vztahem analogickým k rovnici (17) pro předpovědní odhad za předpokladu, že směrodatná odchylka σ_X základního souboru není známa

$$x_{p,\text{Bayes}} = m_X'' + t_p'' (1/n'' + 1)^{1/2} s_X'' \quad (\text{A.20})$$

kde $t_p'' = t_p''(\omega_X, p, \nu'')$ je p -kvantil zobecněného Studentova t -rozdělení, které má odpovídající šikmost ω_X , pro ν'' stupňů volnosti (obecně odlišné od hodnoty $n'' - 1$).

Jestliže se Bayesovský postup aplikuje pro stanovení pevnosti materiálů, s výhodou lze využít skutečnosti, že variabilita je zpravidla dlouhodobě ustálená. Pak nejistota při stanovení σ_X vyjádřená hodnotou $\nu(\sigma_X)$ je poměrně malá, veličina ν' stanovená podle rovnice (A.19) a ν'' stanovená podle první z rovnic (18) jsou velké. Tato okolnost může vést k příznivému snížení hodnoty t_p'' a tím ke zvýšení odhadu hodnoty dolního kvantilu $x_{p,\text{Bayes}}$ podle rovnice (A.20). Často však nejistoty při stanovení průměru μ_X a tedy hodnota $\nu(\mu_X)$ jsou obvykle velké, takže předchozí informace nemusí významně ovlivnit výsledné hodnoty n'' a m_X'' .

Pokud nejsou k dispozici žádné předchozí informace, pak $n' = \nu' = 0$ a výsledné charakteristiky m_X'' , n'' , s_X'' , ν'' se rovnají výběrovým charakteristikám m_X , n , s_X , ν . V tomto případě se Bayesovská metoda redukuje na předpovědní metodu a rovnice (A.20) přechází na rovnici (A.17), popř. (jestliže je σ_X známé) použije se rovnice (A.16). Tento zvláštní případ Bayesovské metody, kdy nejsou k dispozici žádné předchozí informace, se uvažuje v mezinárodních dokumentech CEN [1] a ISO [6,7].

Příklad č. 3. Jestliže v příkladu č. 2 jsou k dispozici předchozí zkušenosti, lze využít Bayesovskou metodu. Předpokládejme, že tyto informace jsou

$m_X' = 30,1$ MPa, $\nu(\mu_X) = 0,50$, $s_X' = 4,4$ MPa, $\nu(\sigma_X) = 0,28$. Z rovnice (A.19) plyne

$$n' = \left(\frac{4,4}{30,1 \cdot 0,50} \right)^2 < 1, \nu' = \frac{1}{2 \times 0,28^2} \approx 6$$

Dále se tedy uvažují hodnoty: $n' = 0$ a $\nu' = 6$. Protože $\nu = n - 1 = 4$, z rovnice (A.18) plyne $n'' = 5$, $\nu'' = 10$, $m'' = 29,2$ MPa, $s'' = 4,5$ MPa. Z rovnice (A.20) se zjistí pro normální rozdělení odhad

$$x_{p,\text{Bayes}} = 29,2 - 1,81 \times \sqrt{\frac{1}{5} + 1} \times 4,5 = 20,3 \text{ MPa}$$

kde hodnota $t_p'' = 1,81$ je z tabulky č.8 pro $\omega_X = 0$ a $\nu'' = 10$. Výsledná pevnost je tedy vyšší (o 10 %) než hodnota získaná z předpovědní metody. Numerický příklad ukazující využití naznačeného postupu prostřednictvím MS Excelu bude vypracován a uveřejněn na www.konstrukce.cvut.cz.

Jestliže základní soubor má lognormální rozdělení se šikmostí $\omega_X = 1$, pak ze vztahu (20) a tabulkové hodnoty $t_p'' = 1,48$ uvedené v tabulce č. 9 vyplývá

$$x_{p,\text{Bayes}} = 29,2 - 1,48 \times \sqrt{\frac{1}{5} + 1} \times 4,5 = 21,9 \text{ MPa}$$

což je hodnota o 8% vyšší než Bayesovský odhad za předpokladu normálního rozdělení (pro šikmost $\omega_X = 0$).

Příklady č. 2 a 3 zřetelně ukázaly, že odhad charakteristické pevnosti (kvantilu s pravděpodobností $p = 0,05$) na základě jednoho výběru se může pohybovat v širokém rozmezí (v příkladech č. 2 a 3 od 9,9 MPa do 21,9 MPa) v závislosti na použité metodě, na požadované konfidenci, na předchozích informacích a na předpokladech o základním souboru. Poznamenejme, že kromě alternativ uvažovaných v příkladech č. 2 a 3 se může navíc uplatnit znalost směrodatné odchylky σ_X základního souboru a předpoklad záporné šikmosti ω_X (např. u některých materiálů s vysokou pevností).

Ještě výraznější rozdíly výsledných hodnot mohou nastat při odhadu návrhových hodnot pevností, tj. odhadu kvantilů, které odpovídají malé pravděpodobnosti (např. $p \cong 0,001$). Přímý odhad takového kvantilu na základě omezeného výběru ze základního souboru se však doporučuje jen v těch případech, kdy je k dispozici dostatek věrohodných údajů o chování příslušné náhodné veličiny. V těchto případech je účelné postupovat obezřetně a pokud možno ve spolupráci se specialisty v oblasti matematické statistiky.

A.7 ODHADY KVANTILŮ PODLE EUROKÓDŮ

Eurokód EN 1990 [1] uvádí tabulky součinitelů pro odhad kvantilu náhodné veličiny s normálním rozdělením (nesymetrická rozdělení se neuvažují) na základě výběru pro dvě pravděpodobnosti $p = 0,05$ (např. pro charakteristickou hodnotu x_k), $p = 0,001$ (např. pro návrhovou hodnotu x_d hlavní (dominantní) veličiny. Předběžná norma ENV 1991-1 navíc uvádí hodnotu pravděpodobnosti $p = 0,1$ (např. pro návrhovou hodnotu x_d vedlejší (nedominantní) veličiny. Jak již bylo uvedeno, charakteristické hodnoty x_k a návrhové hodnoty x_d jsou definovány jako kvantily x_p , které odpovídají dané pravděpodobnosti p .

Pro charakteristickou hodnotu materiálových vlastností se zpravidla uvažuje kvantil odpovídající pravděpodobnosti $p = 0,05$ (u veličin popisujících nahodilá zatížení je však p zpravidla menší), tj. platí

$$P(X < x_k) = 0,05 \quad (\text{A.21})$$

Pro návrhovou hodnotu x_d dominantní veličiny přibližně vychází $p = 0,001$ (nebo hodnota blízká), tj. platí

$$P(X < x_d) = 0,001 \quad (\text{A.22})$$

Konečně pro návrhovou hodnotu x_d nedominantní veličiny přibližně vychází $p = 0,1$, tj. platí

$$P(X < x_d) = 0,1 \quad (\text{A.23})$$

Popis dominantních a nedominantních veličin je uveden např. ve skriptech [9].

Následující tři tabulky, které uvádějí potřebné součinitele pro odhad veličin x_k a x_d podle rovnic (21) a (22), jsou záměrně převzaty z dokumentu [1] v plném znění (tabulka č. 9 se částečně překrývá s předchozími tabulkami č. 4 a 5). Poznamenejme, že všechny součinitele jsou v [1] označeny symbolem k_n , který v těchto tabulkách přebíráme.

Tabulka č. 9. Součinitele k_n pro 5% charakteristickou hodnotu (viz tabulky č. 5 a 4).

Součinitel	Rozsah souboru n										
	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$-u_p(1/n+1)^{1/2}$, σ_X známé	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$-t_p(1/n+1)^{1/2}$, σ_X neznámé	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

V dokumentu [1] se předpoklad o znalosti směrodatné odchylky nahrazuje (nepřesně) předpokladem o znalosti variačního koeficientu V_X . V originálu [1] tabulky č. 10 je pro rozsahu souboru $n = \infty$ chybně uvedena hodnota součinitele 3,08 (má být 3,09).

Tabulka č. 10. Součinitele k_n pro návrhovou hodnotu x_d dominantní veličiny, $P(X < x_d) = 0,001$.

Součinitel	Rozsah souboru n										
	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$-u_p(1/n+1)^{1/2}$, σ_X známé	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,09
$-t_p(1/n+1)^{1/2}$, σ_X neznámé	-	-	-	11,4	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,09

Tabulka č. 11. Součinitele k_n pro návrhovou hodnotu x_d nedominantní veličiny, $P(X < x_d) = 0,1$.

Součinitel	Rozsah souboru n										
	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$-u_p(1/n+1)^{1/2}$, σ_X známé	1,81	1,57	1,48	1,43	1,40	1,38	1,36	1,34	1,31	1,30	1,28
$-t_p(1/n+1)^{1/2}$, σ_X neznámé	-	3,77	2,18	1,83	1,68	1,56	1,51	1,45	1,36	1,33	1,28

Všimněme si, že za předpokladu známé směrodatné odchylky jsou v tabulkách č. 9 až č. 11 uvedeny hodnoty součinitelů již pro rozsahy souboru $n = 1$ až 3. Využití těchto hodnot je však spojeno se značnými statistickými nejistotami a doporučuje se proto minimální rozsah výběru $n = 3$.

A.8 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Hodnocení existujících stavebních konstrukcí se střetává s nedostatečným množstvím informací především o odolnostech materiálů. Při hodnocení odolnosti je obvykle nutné stanovit charakteristickou nebo návrhovou hodnotu (x_k nebo x_d) základní veličiny X z náhodného výběru, tj. stanovit p -procentní kvantil x_p na základě omezeného souboru měření.

Ukazuje se, že pro odhad kvantilu je možné obecně použít pokryvnou, předpovědní nebo Bayesovskou metodu. Zjednodušující operativní metodou je postup doporučený v nedávném Eurokódu EN 1990 [1].

Numerické příklady zřetelně ukazují, že odhad charakteristické pevnosti (obvykle kvantil s pravděpodobností $p = 0,05$) na základě náhodného výběru o omezeném rozsahu se může pohybovat v širokém rozmezí v závislosti na:

- použité metodě
- požadované konfidenci γ u pokrývné metody
- znalosti směrodatné odchylky σ_x základního souboru
- dalších předchozích informací o základním souboru.

Významné rozdíly mohou nastat zejména při přímém odhadu návrhových hodnot pevností stavebních materiálů, které odpovídají pravděpodobnostem $p \sim 0,001$. Doporučuje se, aby přímý odhad návrhových pevností byl proveden ve spolupráci se specialisty v oblasti teorie spolehlivosti konstrukcí a matematické statistiky.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČNI 2004.
- [2] Holický M., Marková J., Základy teorie spolehlivosti a hodnocení rizik, ČVUT v Praze, 2005.
- [3] Probabilistic Model Code, JCSS, 2001.
- [4] Vorlíček M., Holický M., Špačková M., Pravděpodobnost a matematická statistika pro inženýry. ČVUT Praha 1984.
- [5] Vorlíček M., Holický M., Špačková M., Numerické tabulky ke skriptu Pravděpodobnost a matematická statistika pro inženýry. ČVUT Praha 1986.
- [6] ISO 12491 Statistical methods for quality control of building materials and components. 1997.
- [7] ISO 2394, General principles on reliability for structures. 1998. Zavedená v ČR jako ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí, ČSNI, 2003.
- [8] Holický M., Vorlíček M., Distribution Asymmetry in Structural Reliability. Acta Polytechnica, Vol. 35, No. 3/ 1995, str. 75 - 85.
- [9] Holický M., Marková J., Základy teorie spolehlivosti a hodnocení rizik, ČVUT v Praze, 2005.

PŘÍLOHA B: DÍLČÍ SOUČINITELE

Milan Holický, Karel Jung¹

¹Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze

B.1 ÚVOD

Platné předpisy pro ověřování spolehlivosti stavebních konstrukcí se systematicky opírají o koncepci mezních stavů ve spojení s metodou dílčích součinitelů v EN 1990 [1], která systematicky vychází z poznatků pravděpodobnostní teorie spolehlivosti, zejména metody FORM (First Order Reliability Method). EN 1990 [1] umožňuje také přímé použití pravděpodobnostních metod pro ověření spolehlivosti konstrukcí jako alternativní postup k metodě dílčích součinitelů. Rovněž platné mezinárodní předpisy ISO [3,4,5] i normy ČSN [6,7] již řadu let umožňují přímé použití pravděpodobnostních metod při ověřování spolehlivosti konstrukcí podobně jako nový dokument EN 1990 [1].

Pravděpodobnostní základy nových předpokladů vytvářejí předpoklady k postupné harmonizaci (sjednocování) výpočtů v jednotlivých členských zemích CEN. Odlišnosti se mají omezit pouze na numerické hodnoty některých ukazatelů spolehlivosti, jako jsou charakteristické hodnoty klimatických zatížení a různé dílčí součinitele, které jsou závislé na regionálních podmínkách. Podobné snahy o sjednocení předpisů pro navrhování konstrukcí se uplatňují nejen v rámci mezinárodní organizace pro standardizaci ISO [3,4,5], ale i v normotvorné činnosti různých územních seskupení na celém světě.

Tento pozoruhodný vývoj mezinárodních předpisů pro navrhování stavebních konstrukcí by nebyl možný bez mimořádného rozvoje pravděpodobnostních metod teorie spolehlivosti v posledních letech [9,10] a bez postupného pronikání základních poznatků k širší technické veřejnosti. Dnes jsou již komerčně dostupné také softwarové produkty [12,13,14], které usnadňují efektivní zavedení těchto postupů do běžné praxe. Přesto se však praktické aplikace střetávají s mnohými nesnáze [15,16].

Předložený příspěvek úzce navazuje na normu EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí [1], která je základním dokumentem pro celou soustavu Eurokódů. Používá se společně s Eurokódy EN 1991 až 1999 pro navrhování pozemních a inženýrských staveb včetně geotechnických konstrukcí. I když je EN 1990 [1] určená pro navrhování nových konstrukcí, lze obecná pravidla použít pro hodnocení existujících konstrukcí, pro jejich opravy a přestavby. EN 1990 [1] je normou materiálově nezávislou, její zásady a aplikační pravidla se proto uplatňují při navrhování konstrukcí z různých materiálů.

Kapitola „Dílčí součinitele“ má usnadnit správný výklad důležitých pojmů nových předpisů a ukázat jejich návaznost na základní poznatky pravděpodobnostní teorie spolehlivosti. Jde zejména o termíny index spolehlivosti, součinitele citlivosti, návrhové hodnoty metody FORM a dílčí součinitele, které jsou klíčovými pojmy metodiky nových předpisů. Hlubší porozumění těchto pojmů by mělo usnadnit správné využití nově zaváděných dokumentů v praxi.

B.2 FUNDAMENTÁLNÍ ÚLOHA DVOU VELIČIN S NORMÁLNÍM ROZDĚLENÍM

Základní principy metody dílčích součinitelů čerpají z rozboru spolehlivosti fundamentálního případu dvou vzájemně nezávislých základních veličin popisujících účinek zatížení E a odolnost konstrukce R , které lze aproximovat normálním rozdělením. Předpokládá se, že konstrukce je spolehlivá, jestliže je účinek zatížení E menší než odolnost

konstrukce R a platí jednoduchá nerovnost $E < R$. V teorii spolehlivosti hraje důležitou roli rovnost obou veličin vyjádřená implicitní funkcí

$$Z = g(\mathbf{X}) = R - E = 0 \quad (\text{B.1})$$

která je základní formou funkce mezního stavu (meze porušení). V teorii spolehlivosti se funkce mezního stavu obecně označuje $g(\mathbf{X})$, kde \mathbf{X} označuje vektor základních veličin.

Obě základní veličiny E a R jsou náhodné veličiny a nerovnost $E < R$ nelze proto splnit absolutně (s pravděpodobností 1). Zpravidla je nezbytné připustit určitou malou pravděpodobnost p_f , že bude platit $E > R$ a že tedy dojde k poruše konstrukce. Formálně se pravděpodobnost p_f v tomto jednoduchém případě definuje pravděpodobnostním vztahem

$$p_f = P(E > R) \quad (\text{B.2})$$

Pravděpodobnost poruchy p_f lze obecně stanovit různými postupy. Jednoduchou možností je odvodit rozdělení rozdílu R a E

$$Z = R - E \quad (\text{B.3})$$

který se nazývá rezerva spolehlivosti. Průměr μ_Z a rozptyl σ_Z^2 rezervy spolehlivosti Z pro vzájemně nezávislé veličiny R a E (bez ohledu na typ jejich rozdělení) se stanoví ze vztahů

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_E, \quad \sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_E^2 \quad (\text{B.4})$$

Jestliže obě veličiny E a R lze popsat (alespoň přibližně) normálním rozdělením, má také jejich rozdíl Z normální rozdělení a pravděpodobnost poruchy p_f lze stanovit na základě distribuční funkce rezervy Z ze vztahu

$$p_f = P(E > R) = P(Z < 0) = \Phi_Z(0) \quad (\text{B.5})$$

Distribuční funkce $\Phi_Z(z)$ veličiny Z pro $(z = 0)$ udává pravděpodobnost výskytu záporných hodnot rezervy Z , tj. pravděpodobnost poruchy. Ta se snadno stanoví přechodem na normovanou náhodnou veličinu U , která je definována transformačním vztahem

$$U = (Z - \mu_Z) / \sigma_Z \quad (\text{B.6})$$

Podle tohoto vztahu hodnotě $z = 0$ původní náhodné veličiny Z odpovídá transformovaná hodnota u_0 normované veličiny U

$$u_0 = (0 - \mu_Z) / \sigma_Z = -\mu_Z / \sigma_Z \quad (\text{B.7})$$

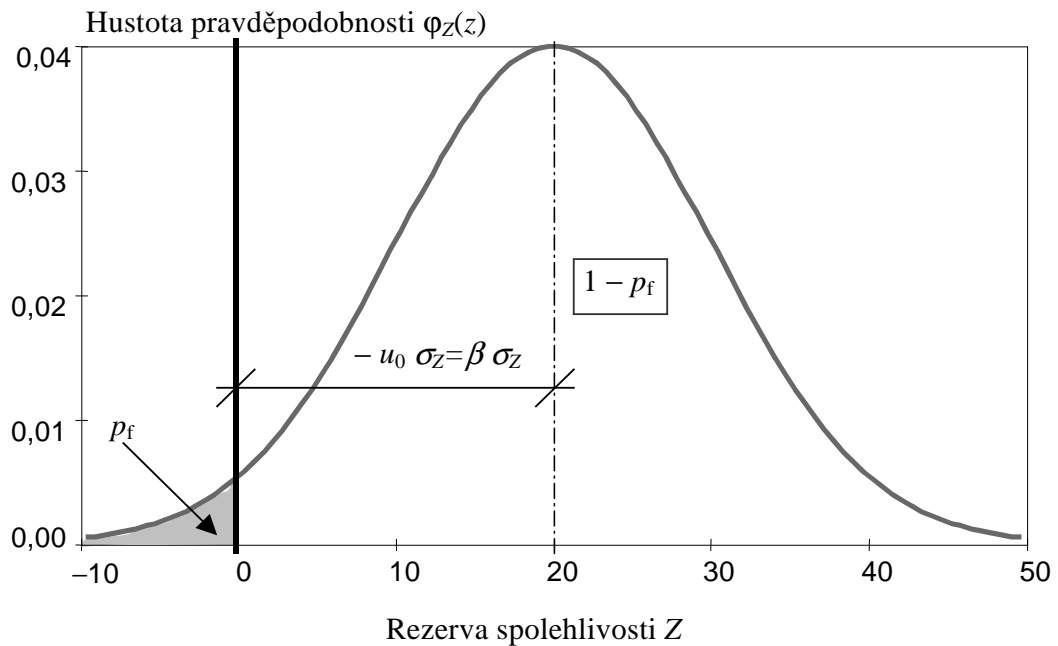
Pravděpodobnost poruchy p_f se pak stanoví z distribuční funkce $\Phi_U(u_0)$ normované veličiny s normálním U

$$p_f = \Phi_Z(0) = \Phi_U(u_0) \quad (\text{B.8})$$

Distribuční funkce $\Phi_U(u_0)$ je dostupná v běžných matematických tabulkách i softwarových produktech. Jestliže Z má normální rozdělení, hodnota $-u_0$ se nazývá index spolehlivosti a označuje se symbolem β . Z rovnic (B.4) a (B.7) pak pro index spolehlivosti vyplývá vztah

$$\beta = \mu_Z / \sigma_Z = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \quad (\text{B.9})$$

Hustota pravděpodobnosti $\varphi_Z(z)$ rezervy spolehlivosti Z je zachycena na obrázku 1, šedá plocha pod křivkou $\varphi_Z(z)$ odpovídá pravděpodobnosti p_f .

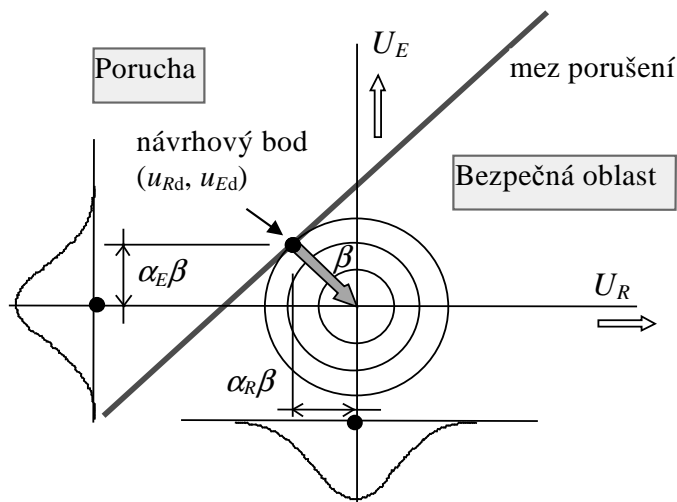
Obr. 1. Rozdělení rezervy spolehlivosti Z .

Takto definovaný index spolehlivosti β lze jednoduše popsat geometricky jako vzdálenost průměru μ_Z rezervy spolehlivosti Z od počátku, stanovenou v jednotkách směrodatné odchylky σ_Z (viz obrázek 1).

Fundamentální úlohu dvou základních veličin s normálním rozdělením lze popsat v dvourozměrném grafu, který je základem pro potřebné zobecnění úlohy pro více základních veličin s libovolným typem rozdělení. Jestliže se původní veličiny R a E transformují na základě vztahu (B.6) (ve kterém se postupně zamění Z za R a E) na normované veličiny U_R a U_E lze funkci mezního stavu (1) vyjádřit prostřednictvím normovaných veličin v transformovaném tvaru

$$U_R \sigma_R - U_E \sigma_E + \mu_R - \mu_E = 0 \quad (\text{B.10})$$

Jde o "přímku mezního stavu" zapsanou v obecném tvaru, která je graficky zachycena na obrázku 2.



Obr. 2. Návrhový bod stanovený metodou FORM pro veličiny U_E a U_R s normálním rozdělením.

Z analytické geometrie v rovině plyne, že vzdálenost přímky (10) od počátku je dána vztahem

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \quad (\text{B.11})$$

který je shodný se vztahem (B.9) pro index spolehlivosti (proto je použit symbol β). Je tedy zřejmé, že ve dvourozměrném znázornění fundamentální úlohy teorie spolehlivosti lze index spolehlivosti β definovat jako vzdálenost přímky mezního stavu od počátku v souřadném systému normovaných veličin s normálním rozdělením. Tento poznatek je základem obecné metody FORM pro rozbor obecného případu více základních veličin s libovolným typem rozdělení jak popisuje následující oddíl.

Z analytické geometrie dále plyne, že normálový vektor $\mathbf{n}(\sigma_R, \sigma_E)$ kolmý na přímku mezního stavu a směřujícího do bezpečné oblasti má souřadnice σ_R a σ_E . Směrové kosiny normálového vektoru se v teorii spolehlivosti nazývají součinitele citlivosti a označují se symboly α_R a α_E . Poskytují totiž relativní míru vlivu jednotlivých základních veličin na σ_Z a tedy i na index spolehlivosti β . Přesněji řečeno druhá mocnina součinitelů citlivosti α_R^2 udává podíl rozptylu σ_R^2 na σ_Z^2 . Součinitele citlivosti mají důležitý praktický význam: základní veličiny, jejichž součinitele citlivosti jsou blízké nule, lze pokládat za deterministické a zredukovat tak počet náhodných veličin. Součinitele citlivosti také udávají souřadnice návrhového bodu (u_{Rd} , u_{Ed}), tj. bodu na mezi porušení, který je nejbližší k počátku, a který jednoznačně určuje pravděpodobnost poruchy.

V souladu se znaménkovou konvencí dokumentu EN 1990 (a některých softwarových produktů - například [12]) se součinitele citlivosti (směrové kosiny normálového vektoru) stanoví ze vztahů

$$\alpha_R = \sigma_R / (\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0,5}, \quad \alpha_E = -\sigma_E / (\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0,5} \quad (\text{B.12})$$

Souřadnice návrhového bodu v souřadném systému normovaných veličin s normálním rozdělením jsou tedy $u_{Rd} = -\alpha_R \beta$ a $u_{Ed} = -\alpha_E \beta$ (viz obrázek 2).

Návrhový bod původních veličin R a E s normálním rozdělením se stanoví zpětnou transformací (úpravou vztahu (B.6)) normovaných veličin

$$r_d = \mu_R - u_{Rd} \sigma_R = \mu_R - \alpha_R \beta \sigma_R, \quad e_d = \mu_E - u_{Ed} \sigma_E = \mu_E - \alpha_E \beta \sigma_E \quad (\text{B.13})$$

Všimněme si zde znamének "minus", které odpovídají zmíněné znaménkové konvenci v EN 1990 [1]. Poznamenáme, že některé softwarové produkty (například v [13]) přijímají pro součinitele citlivosti opačnou znaménkovou konvenci.

Ze vztahů (B.13) a transformačního vztahu (B.6) plyne, že návrhovými body r_d a e_d odpovídají normované hodnoty $-\alpha_R \beta$ a $-\alpha_E \beta$. Z rovnosti distribučních funkcí původních veličin R a E a normovaných veličin pak plyne

$$\Phi_R(r_d) = \Phi_U(-\alpha_R \beta), \quad \Phi_E(e_d) = \Phi_U(-\alpha_E \beta) \quad (\text{B.14})$$

Tyto vztahy nejsou pro rozbor fundamentální úlohy pro dvě veličiny R a E s normálním rozdělením nezbytné, jejich zobecnění pro případ více základních veličin s libovolným typem rozdělení je však velmi důležité.

B.3 OBECNÝ PŘÍPAD VÍCE ZÁKLADNÍCH VELIČIN S LIBOVOLNÝM ROZDĚLENÍM

Výpočet pravděpodobnosti poruchy v obecném případě více náhodných veličin s libovolným rozdělením se zde omezuje na rozšířenou metodu FORM (First Order Reliability Method), která je teoretickým základem metody dílčích součinitelů v Eurokódech.

Metoda FORM zobecňuje postup výpočtu indexu spolehlivosti v případě dvou základních veličin na obecný případ více základních veličin X . Postup stanovení indexu spolehlivosti se opírá o geometrickou analogii s fundamentální úlohou teorie spolehlivosti pro dvě základní veličiny zachycené na obrázku 2. Podkladem metody FORM jsou tři základní myšlenky

- transformace základních veličin X na normované náhodné veličiny U s normálním rozdělením a odpovídající transformace meze porušení $g(X)=0$ na $g(U)=0$.
- mez porušení $g(U)=0$ se aproximuje lineární funkcí (tečnou nadrovinou) v návrhovém bodě u_a , což je bod na mezi porušení $g(U)=0$ nejbližší počátku.
- index spolehlivosti β se stanoví jako vzdálenost návrhového bodu od počátku a na základě indexu spolehlivosti β se stanoví pravděpodobnost poruchy $p_f = \Phi_U(-\beta)$.

Tyto základní kroky metody FORM jsou dnes již detailně propracované a využity v řadě alternativních výpočetních postupů [9,10], pro něž jsou k dispozici komerčně dostupné softwarové produkty [12,13,14].

Následující stručný popis metody FORM se omezuje pouze na důležité kroky celého postupu pro nezávislé základní veličiny. Klíčovým krokem je transformace libovolného typu rozdělení na tak zvané ekvivalentní normální rozdělení, které splňuje v zadaném bodě x^* , $g(x^*)=0$ (který se iteračním postupem přibližuje k návrhovému bodu), dvě důležité podmínky: přírůstek (diferenciál) hustoty pravděpodobnosti a hodnota distribuční funkce ekvivalentního normálního rozdělení jsou v bodě x^* stejné jako u původní veličiny. Označme původní distribuční funkci a hustotu pravděpodobnosti X symboly $\Phi_X(x)$ a $\varphi_X(x)$. Distribuční funkce a hustota pravděpodobnosti ekvivalentního normálního rozdělení (označené symboly $\Phi_U(u)$ a $\varphi_U(u)$) mají tedy splňovat podmínky

$$\Phi_X(x^*) = \Phi_U\left(\frac{x^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right) \quad (B.15)$$

$$\varphi_X(x^*) = \frac{1}{\sigma_X^e} \varphi_U\left(\frac{x^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right) \quad (B.16)$$

kde symboly μ_X^e a σ_X^e označují průměr a směrodatnou odchylku ekvivalentního normálního rozdělení.

Jestliže postupnými iteracemi bod x^* přejde u veličiny X_i do návrhového bodu x_{id} platí pro součinitel citlivosti a návrhové body analogické vztahy k rovnicím (B.12) a (B.14). Pro součinitele citlivosti α_{xi} platí obecný vztah

$$\alpha_{xi} = \frac{\frac{\partial g(U)}{\partial U_i}}{\sqrt{\sum_j \left(\frac{\partial g(U)}{\partial U_j}\right)^2}} \left[= \frac{\sigma_{xi}^e}{\sqrt{\sum_j (\sigma_{xj}^e)^2}} \right] \quad (B.17)$$

kde ilustrativní výraz v hranatých závorkách platí pro lineární funkci $g(U)$ s jednotkovými součiniteli podobně jako v rovnici (B.10). Součet druhých mocnin součinitelů citlivosti všech

veličin je roven jedné. Všimněme si, že v rovnici vystupují směrodatné odchylky $\sigma_{X_i}^e$ ekvivalentního normálního rozdělení a nikoli původního rozdělení veličiny X_i . Pro návrhové body x_{id} pak z rovnice (B.15) plyne analogický vztah k rovnici (B.14) ve tvaru

$$\Phi_{X_i}(x_{id}) = \Phi_U(-\alpha_i\beta) \quad (\text{B.18})$$

Tento důležitý vztah platí pro libovolné rozdělení $\Phi_{X_i}(x_{id})$. Jestliže jsou pro jednotlivé základní veličiny X_i známy součinitele citlivosti α_i a požadovaný index spolehlivosti β , je možno na základě vztahu (B.18) stanovit návrhové hodnoty základních veličin. Nesnáz je v tom, že součinitele citlivosti nejsou známy předem pokud se neprovede analýza metodou FORM. V Eurokódu EN 1990 [1] jsou však uvedeny přibližné hodnoty součinitelů citlivosti α_i , které se doporučují pro účely tvorby norem. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1. Doporučené hodnoty součinitelů citlivosti α_i .

Základní veličina X_i	Doporučený součinitel citlivosti α_i
odolnosti, hlavní (dominantní)	0,8
odolnosti, vedlejší (nedominantní)	$0,4 \times 0,8 = 0,32$
zatížení, hlavní (dominantní)	- 0,7
zatížení, vedlejší (nedominantní)	$- 0,4 \times 0,7 = - 0,28$

Pro $\alpha_i > 0$ (odolnosti) návrhové body odpovídají dolním kvantilům, pro $\alpha_i < 0$ (zatížení) návrhové body odpovídají horním kvantilům (kvantil je podrobně popsán v kapitole „Základy statistických metod“. Je zřejmé, že doporučené hodnoty uvedené v tabulce 1 jsou na bezpečné straně (součet druhých mocnin součinitelů citlivosti všech veličin by měl být roven jedné) a vedou tedy ke konservativním odhadům návrhových hodnot základních veličin.

Metoda návrhových hodnot vychází z podmínky

$$g(\mathbf{x}_d) = g(x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{nd}) > 0 \quad (\text{B.19})$$

kde návrhové body x_{id} jednotlivých základních veličin X_i jsou závislé na typu rozdělení a parametrech veličiny, na součinitelích citlivosti α_i , které vyplývají z výpočtu metodou FORM a na indexu spolehlivosti β .

V souladu se zásadami Eurokódů se dílčí součinitele spolehlivosti γ_i základních veličin x_i u veličin s nepříznivým vlivem na pravděpodobnost poruchy p_f , pro které $\alpha_i < 0$ (veličiny zatížení), stanoví ze vztahu

$$\gamma_i = x_{id}/x_{ik} \quad (\text{B.20.a})$$

a u veličin s příznivým vlivem na p_f , pro které $\alpha_i > 0$ (veličiny odolnosti), ze vztahu

$$\gamma_i = x_{ik}/x_{id} \quad (\text{B.20.b})$$

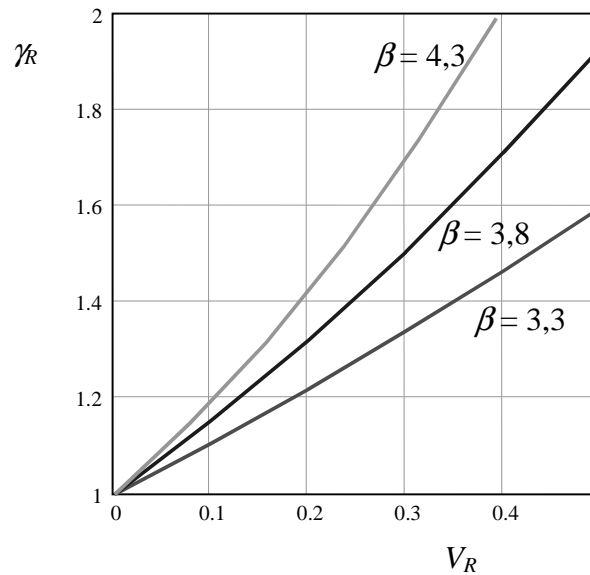
Takto definované dílčí součinitele spolehlivosti γ_i jsou zpravidla větší než 1. Podrobný postup uplatnění dílčích součinitelů spolehlivosti při ověřování spolehlivosti stavebních konstrukcí je uveden přímo v dokumentech [1, 2] a v příručce [11].

B.4 DÍLČÍ SOUČINITELE ODOLNOSTI

Odolnost R nosných prvků se obvykle popisuje dvouparametrickým lognormálním rozdělením s počátkem v nule [1,9,10]. Charakteristická hodnota odolnosti je v Eurokódech definována jako dolní kvantil odpovídající pravděpodobnosti 5 %. Pro dílčí součinitel odolnosti γ_R pak ze vztahu (B.20) plyne [1]

$$\gamma_R = \exp(-1.645 V_R)/\exp(-\alpha_R \beta V_R) \quad (\text{B.21})$$

kde V_R je variační koeficient odolnosti R a β požadovaný index spolehlivosti. Součinitel -1.645 je hodnota kvantilu normované náhodné veličiny s normálním rozdělením a s pravděpodobností 5 %, součinitel citlivosti $\alpha_R = 0,8$ plyne z tabulky 1. Obrázek 3 ukazuje závislost součinitele odolnosti γ_R na variačním koeficientu V_R pro vybrané hodnoty indexu spolehlivosti $\beta = 3,3, 3,8$ a $4,3$ (hodnoty uvažované v EN 1990 [1]). Jde o součinitel pro hlavní veličinu odolnosti ($\alpha_R = 0,8$). U odolnosti se však většinou nerozlišují hlavní a vedlejší veličiny a zpravidla se všechny základní veličiny ovlivňující odolnost považují za hlavní. To je zřejmě další zjednodušující předpoklad vedoucí ke konservativním odhadům návrhových hodnot veličin odolnosti.



Obr. 3. Dílčí součinitele odolnosti γ_R v závislosti na variačním koeficientu V_R pro vybrané β .

Z obrázku 3 je patrné, že pro variační koeficient 0,10 (beton, ocelové konstrukce) by dílčí součinitel odolnosti měl být asi $\gamma_R = 1,15$. Jde však o ryze teoretické výsledky, které jsou závislé na předpokládaném modelu (dvouparametrické lognormální rozdělení) odolnosti. Další okolnost, která znesnadňuje přímou aplikaci výsledků zachycených na obrázku 3, je skutečnost, že charakteristická hodnota pevnosti (meze kluzu) konstrukčních materiálů (betonu, oceli ale i jiných materiálů) odpovídá ve skutečnosti pravděpodobnosti nižší než 5 %, která se uvádí v EN 1990 [1] a uvažuje se také v předloženém rozboru. Tento jev vyvolává všeobecná snaha o zvýšení jakosti výroby materiálů, která vede zejména ke zvýšení průměru pevnosti skutečné produkce.

B.5 DÍLČÍ SOUČINITELE ZATÍŽENÍ

Zatížení stálé G se obvykle popisuje normálním rozdělením (symbol G se používá v Eurokódech). Charakteristická hodnota stálého zatížení je rovna průměru, $G_k = \mu_G$. Dílčí součinitel γ_G pak plyne ze vztahu (B.20) ve tvaru

$$\gamma_G = (1 + 0,7 \beta V_R) \quad (\text{B.22})$$

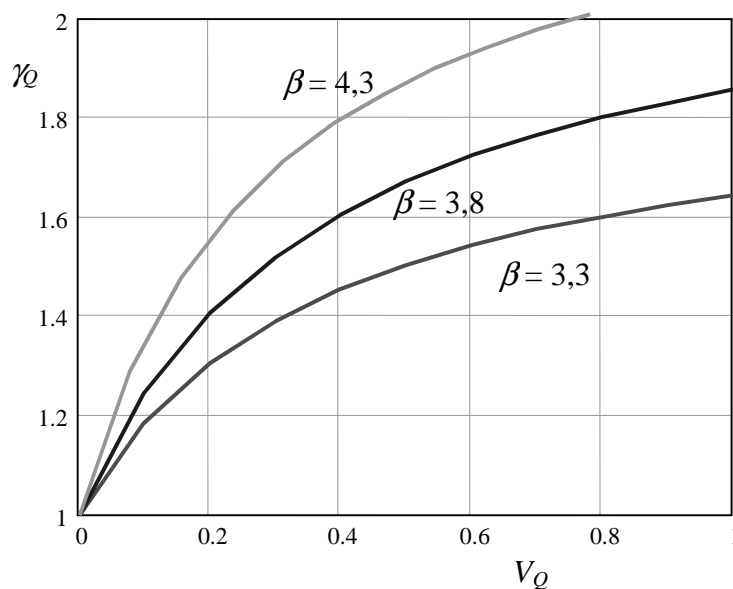
kde V_G je variační koeficient stálého zatížení, který se většinou pohybuje v okolí hodnoty 0,1. Pro $\beta = 3,8$ pak vychází $\gamma_G \cong 1,27$, s ohledem na modelové nejistoty se v Eurokódech doporučuje $\gamma_G = 1,35$.

Zatížení proměnné Q se často popisuje Gumbelovým rozdělením [1,9,10,11]. Charakteristická hodnota proměnného zatížení je v Eurokódech definována jako 2% horní

kvantil rozdělení pro vhodně zvolené referenční období (1 rok, 5 let). Za těchto předpokladů dílčí součinitel proměnného zatížení γ_Q plyne ze vztahu (B.20) ve tvaru

$$\gamma_Q = \frac{1 - V_Q(0,45 - 0,78 \ln(N) + 0,78 \ln(-(\ln(-\alpha_Q \beta))))}{1 - V_Q(0,45 + 0,78 \ln(-(\ln(0,98))))} \quad (\text{B.23})$$

kde V_Q označuje variační koeficient Gumbelova rozdělení pro referenční období (1 rok nebo 5 let) a N označuje počet očekávaných změn intenzity zatížení (například 50 nebo 10) během předpokládané životnosti konstrukce (například 50 let).

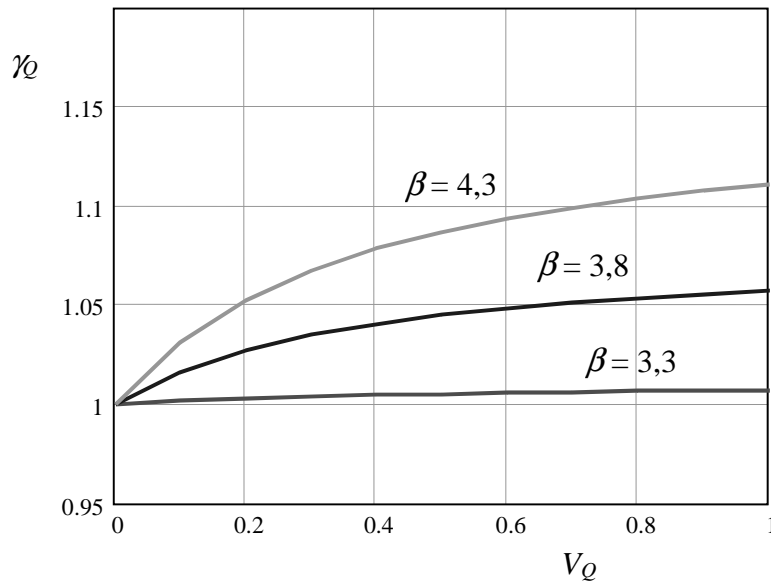


Obr. 4. Dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení pro $\alpha_Q = -0,7$ a $N = 10$.

Obrázek 4 zachycuje teoretické hodnoty dílčího součinitele hlavního proměnného zatížení (součinitel citlivosti $\alpha_Q = -0,7$) pro počet změn intenzity zatížení během celkové doby životnosti $N = 10$. Jde například o dlouhodobou složku užitného zatížení kancelářských prostor, pro kterou se zpravidla předpokládá změna každých 5 let, pro celkovou životnost 50 let je tedy $N = 10$.

Pro $\beta = 3,8$ a variační koeficient $V_Q \approx 1$ plyne z obrázku 4 dílčí součinitel $\gamma_Q \approx 1,8$ a potvrzuje se tak skutečnost, že doporučené hodnoty součinitelů citlivosti v tabulce 1 jsou na bezpečné straně. Jde však pouze o teoretické výsledky za předpokladu Gumbelova rozdělení, které nemusí být vždy pro užitná zatížení vystižným modelem. Navíc charakteristická hodnota udaná v předpisech, například v EN 1991-1-1 [2], je vyšší než kvantil s pravděpodobností 0,98. Například u kancelářských prostor se EN 1991-1-1 [2] uvádí tradiční rozmezí charakteristických hodnot od 2,5 do 3,0 kN/m², zatímco teoretický kvantil s pravděpodobností 0,98 je nižší, přibližně od 2,1 až 2,3 kN/m² (závisí na konstrukčním uspořádání). Tato okolnost vyvolaná historickými zvyklostmi pak vede ke snížení teoretických hodnot dílčího součinitele užitných zatížení na hodnotu $\gamma_Q = 1,5$.

Poněkud složitější situace nastává v případě, že proměnné zatížení Q vystupuje v kombinaci zatížení jako vedlejší zatížení. Pak podle tabulky 1 je součinitel citlivosti $\alpha_Q = -0,28$ a teoretické hodnoty odvozené za předpokladu Gumbelova rozdělení se dramaticky změní. Ukazuje to obrázek 5, který platí pro stejné předpoklady jako obrázek 4 kromě hodnoty součinitele citlivosti, pro který se uvažuje hodnota se $\alpha_Q = -0,28$.



Obr. 5. Dílčí součinitel vedlejšího proměnného zatížení pro $\alpha_Q = -0,28$ a $N = 10$.

Dílčí součinitel vedlejšího proměnného zatížení vychází tedy podstatně nižší než u hlavního proměnného zatížení. Ke snížení návrhové hodnoty vedlejšího proměnného zatížení však v [1] přihlíží součinitel kombinační hodnoty ψ_0 (pro kancelářské prostory $\psi_0 = 0,7$), kterým se vlastně redukuje výsledný součinitel proměnného zatížení z hodnoty $\gamma_Q = 1,5$ na hodnotu $\gamma_Q = 1,05$. Pro index spolehlivosti $\beta = 3,8$ tato redukce odpovídá velmi dobře výsledkům zachyceným na obrázku 5.

B.6 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Významný rozvoj pravděpodobnostních metod teorie spolehlivosti v posledních desetiletích umožnil pozoruhodný vývoj mezinárodních dokumentů pro navrhování stavebních konstrukcí. Také základní evropská norma EN 1990 "Zásady navrhování konstrukcí" se systematicky opírá o poznatky teorie a zpracované metody rozboru spolehlivosti. Koncepce součinitelů citlivosti, metoda návrhových hodnot a metodika stanovení dílčích součinitelů uvedená v EN 1990 úzce navazují na rozšířenou pravděpodobnostní metodu FORM (First Order Reliability Method). Doporučené hodnoty dílčích součinitelů a redukčních součinitelů pro kombinace zatížení jsou zčásti odvozeny z obecných postupů metody FORM. Tento přístup také umožňuje určit dílčí součinitele spolehlivosti pro stanovenou úroveň spolehlivosti a vhodné modely základních veličin. Umožňuje tedy uplatnit zásady diferenciací spolehlivosti, které mohou mít při hodnocení existujících konstrukcí velký význam.

Ukazuje se však, že systematické využití obecných postupů pravděpodobnostní teorie spolehlivosti pro stanovení operativních prvků spolehlivosti se však střetává s některými nesnáze. Základní otázkou při hodnocení existující konstrukce je stanovení požadované úrovně spolehlivosti, která by měla přihlížet k ekonomickým i společenským podmínkám. Zpravidla je však nutné přijmout různé zjednodušující předpoklady, které často souvisejí s nedostatky teoretických modelů běžně používaných pro popis náhodného chování základních veličin. To se týká rovněž existujících konstrukcí, u kterých není často možné stanovit dostatečně přesné teoretické modely některých základních veličin.

Hodnoty různých prvků spolehlivosti jsou proto stále výsledkem kompromisu mezi teoretickými poznatky a kalibračními postupy navazujícími na předchozí zkušenosti. Očekává se však, že další prohloubení teoretických metod umožní postupné vyladování současných mezinárodních předpisů a jejich zobecňování zejména pro hodnocení existujících materiálů a konstrukcí.

LITERATURA

- [1] EN 1990 Basis of structural design. European Committee for Standardization, 04/2002. Zavedená v ČR jako ČSN EN 1990 730002 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Český normalizační institut, 2004.
- [2] EN 1991-1-1 Eurocode1: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self-weight, imposed loads for building. European Committee for Standardization, 04/2002. Zavedená v ČR jako ČSN EN 1991-1-1, 730035 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Český normalizační institut, 2004.
- [3] ISO 2394 General principles on reliability for structures, ISO, 1998.
- [4] ISO 3898 Basis for design of structures – Notations – General symbols. ISO, 1997.
- [5] ISO 13822 Basis for design of structures - Assessment of existing structures, ISO, 2001.
- [6] ČSN 730031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd. Základní ustanovení pro výpočet. ČSNI 1977, změna a) 1983.
- [7] ČSN 731401 Navrhování ocelových konstrukcí, ČSNI 1998.
- [8] JCSS: Probabilistic model code. JCSS working materials, <http://www.jcss.ethz.ch/>.
- [9] MELCHERS R.E. Structural Reliability Analysis and Prediction. John Wiley & Sons, Chichester, 1999, 437 p.
- [10] NOWAK A.S. – COLLINS K.R. Reliability of Structures. Mc GRAW HILL, London, 2000.
- [11] GULVANESSIAN, H. – CALGARO, J.-A. – HOLICKÝ, M.: Designer's Guide to EN 1990, Eurocode: Basis of Structural Design; Thomas Telford, London, 2002, 192 p.
- [12] STRUREL, Reliability Consulting Programs, RCP MUNICH, 1999.
- [13] VaP, Variable Processor, version 1.6, ETH Zurich, 1997.
- [14] MAREK, P., GUŠTAR, M., ANAGOS, T. Simulation Based Reliability Assessment for Structural Engineers, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1995
- [15] HOLICKÝ, M. – MARKOVÁ J. Reliability of Concrete Elements Designed for Alternative Load Combinations Provided in Eurocodes. Acta Polytechnica, 2003/1.
- [16] HOLICKÝ, M.: Prospects for Advanced Engineering Design Based on Risk Assessment; Acta Polytechnica, Vol. 41, No. 4-5/2001, pp. 8-12.

PŘÍLOHA C: STRUKTURA ZPRÁVY

Michal Kronika¹

¹Střední průmyslová škola stavební, Resslova 2, České Budějovice

Souhrn

V této příloze C – Struktura zprávy je ukázána možnost zpracování závěrečné zprávy při hodnocení existujících konstrukcí. V první části je citována "Struktura závěrečné zprávy" dle přílohy G (informativní) ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí* z června 2005. Následně je ukázán jeden z mnoha praktických příkladů zpracování takovéto závěrečné práce.

C.1 ÚVOD

Hodnocení existující konstrukce se v běžných případech provádí způsobem, jenž zahrnuje řadu pracovních etap. Po ukončení jednotlivých pracovních etap se obvykle požaduje určitá forma zprávy. Následující ustanovení se především vztahují k formě závěrečné zprávy, která má být vydána po dokončení hodnocení.¹

Ve druhém bodu je ukázána "Struktura závěrečné zprávy" dle přílohy G (informativní) ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí* z června 2005.

Ve třetím bodě je uveden jeden možný praktický příklad takovéto závěrečné zprávy.

C.2 STRUKTURA ZPRÁVY DLE ČSN ISO 13822

Příloha G (Informativní) ČSN ISO 13822 **Struktura zprávy**

G. 1 Titulní strana

Mají se uvést následující položky: název, datum, objednatel a autor (plné jméno a adresa inženýra a/nebo firmy).

G. 2 Jméno inženýra a/nebo firmy

Uvedou se osoby provádějící hodnocení společně se zástupci objednatele a s dalšími účastníky.

G. 3 Souhrn

Na jedné až dvou stranách se problém výstižně a stručně shrne, uvedou se významné prvky vyšetřování, hlavní závěry a doporučení včetně všech důležitých výhrad a/nebo zamítnutí.

¹ Kloknerův ústav, ČVUT Praha, Prof. Ing. Milan Holický, DrSc., Ing. Jana Marková, PhD. *ČSN ISO 13822, Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Červen 2005, str. 16

G. 4 Obsah

Mají se zahrnout následující položky:

- a) rozsah hodnocení;
- b) popis konstrukce;
- c) vyšetřování;
 - zkoumané dokumenty,
 - předměty prohlídky,
 - postupy odběru vzorků a postupy zkoušek, výsledky zkoušek;
- d) analýza;
- e) ověření;
- f) analýza údajů;
- g) posouzení možných variant opatření;
- h) závěry a doporučení;
- i) referenční dokumenty a literatura;
- j) přílohy.

G. 5 Rozsah hodnocení

Zde se mají určit důvody hodnocení a rozsah práce, tak jak jsou dohodnuty mezi objednatelem a inženýrem. Má být popsán postup hodnocení (viz příloha B) a zaznamenány všechny činnosti během hodnocení. Určí se plán využití a plán bezpečnostních opatření.

G. 6 Popis konstrukce

Stručně a výstižně se mají uvést následující informace: název, místo (adresa), nosný systém včetně všech výkresů. Také se má uvést historie původní nosné konstrukce, následné změny, předchozí a současný způsob využívání.

G. 7 Vyšetřování

G. 7. 1 Zkoumané dokumenty

Má se uvést seznam dokumentů, které má inženýr k dispozici, včetně jejich původu (např. dopisy od objednatele nebo jeho zástupce, výkresy a/nebo zprávy od dalších osob zaslané objednatelem).

G. 7. 2 Počet prohlídek

Může být důležité ověřit, že příslušně kvalifikované osoby provedly odpovídající počet prohlídek. Zaznamenají se případná omezení účinnosti prohlídek vzniklá okolnostmi mimo dosah kontroly inženýra.

G. 7. 3 Postupy odběru zkušebních vzorků a postupy zkoušek

Uvede se původ, počet a datum odběru zkušebních vzorků s označením místa, odkud byly vzorky odebrány. Dále se uvede jméno laboratoře společně se smluvními opatřeními pro postupy odběru zkušebních vzorků a zkoušek. Má se uvést účel a podstata zkoušek/analýz následované shrnutím výsledků. Mají se přiložit kopie laboratorních protokolů o zkouškách. V případě zatěžovací zkoušky se plán zkoušky a další dokumenty uvedou v příloze.

G. 8 Analýza

Je třeba uvést způsob provedeního výpočtu a kritéria, která se použila při posouzení. Mají se stručně shrnout výsledky analýzy. Podrobné výpočty se mohou uvést v příloze.

G. 9 Ověření

Ověření bezpečnosti a použitelnosti konstrukce se má provést podle kapitoly 7.

G. 10 Analýza údajů

Jak naznačuje nadpis, v této části se podrobuje diskusi důležitost každého výsledku, tak jak je popsáno v G. 11 a G. 12, zejména jejich důležitost pro účel hodnocení. Uvede se zde každá nejistota, která po vyšetřování zůstává, a nezbytnost případného dalšího ověření.

G. 11 Posouzení možných variant opatření

Mají se posoudit možné varianty opatření. Pro každou z variant se mají odhadnout náklady.

G. 12 Závěry a doporučení

G. 12. 1 Závěry

Závěry mají být přísnými a logickými posudky, které vyplývají z pečlivého zhodnocení získaných informací. Je vhodné stručně popsat přesnost a omezení použitých metod a skutečný význam výsledků. Každý závěr má vycházet z věcných náležitostí, které jsou obsaženy v předchozích kapitolách zprávy.

G. 12. 2 Doporučení

Stručně a v logickém sledu se popíše průběh činností, které jsou pro objednatele proveditelné a vycházejí ze závěrů. Pro jednotlivé práce se poskytne hrubý odhad nákladů. Má se určit zbytková životnost, plán prohlídek a údržby a termín dalšího hodnocení.

G. 13 Přílohy

V přílohách mají být uvedeny: výkresy, fotografie, laboratorní protokoly o zkouškách, výpočty, atd.

C.3 PŘÍKLAD ZPRACOVÁNÍ ZÁVĚREČNÉ ZPRÁVY

3. 1 Titulní strana

Název akce: STATICKÉ POSOUZENÍ vlivu provedených stavebních úprav na konstrukční stav objektu "Kanceláře Magistrátu města" v ul. Normální č. p. 1, Popelín, PSČ 00 000
Datum: 30. 6. 2012
Objednatel: Statutární město xxxxxx, Magistrát města - stavební úřad, ul. Nová 28.
Autor: Statická kancelář XYZ, Kosmonautů 1825, Novákovice, PSČ 00 000

3. 2 Jména účastníků posudku

Zpracovatelé posudku: Ing. A. Novák - autorizovaný statik, soudní znalec
 Ing. P. Nová - autorizovaný statik
Zástupci objednatele: Ing. F. Starý - autorizovaný inženýr, technický dozor investora
Ostatní: Ing. B. Malý - specialista oboru zakládání staveb

3. 3 Souhrn

Důvodem posudku je zjištění příčin poruch v nosných konstrukcích, které byly objeveny v průběhu prací při úpravě skladových prostor a návrh opatření na jejich odstranění.

Na nosné příčné stěně sousedící s průjezdem a s prostorem s prováděnými úpravami byly zjištěny tyto poruchy:

- vpravo od vstupního otvoru do sklepních prostor (viz. zakres trhlín) je vodorovná prasklina v omítce. Na místě byla odstraněna omítka a bylo zjištěno, že trhlina nepokračuje do zdiva.

- vlevo od vstupního otvoru do sklepních prostor je v místě pilíře patrná vodorovná trhlina, výšková úroveň trhliny je v patě klenutého průvlaku nad průjezdem. Tato trhlina byla nalezena i na opačné straně průjezdu - klenutého průvlaku.

Dále je prokresleno svislé rozhraní pilíře uvedeného klenutého průvlaku nad průjezdem a stěny sousedící s průjezdem. V obou případech se jedná o vodorovné mikrotrhliny až trhliny (viz. zakres trhlín).

Před návrhem zabezpečovacích stavebních úprav byl proveden hydrogeologický průzkum v místě objektu, který prokazuje základové podmínky a únosnost základové spáry a dále odběry vzorků pro stanovení kvality a únosnosti stávajícího zdiva a základových konstrukcí.

Dále byl proveden statický výpočet, který řeší únosnost stávajících základových konstrukcí a jejich posouzení v souvislosti se stavebními úpravami. Dále řeší návrh nového překladu včetně posouzení oslabeného zděného pilíře.

Zdokumentované poruchy nosné stěny v průjezdu nejsou závažného charakteru a neohrožují v současném stavu statický (konstrukční) stav objektu – uvedené stavební úpravy nenarušily statickou koncepci domu.

Konstatuji, že ze vstupních informací a podkladů nevyplývá důvodná souvislost mezi poruchami nosné příčné stěny sousedící s průjezdem a stavebními úpravami provedenými dle uvedené projektové dokumentace.

Není však možné vyloučit, že k objevení trhlín došlo při vlastním provádění stavebních úprav, ale to je možné předpokládat u všech objektů, kde se provádí stavební úpravy. V tomto případě by se jednalo o ukončené poruchy, které neohrožují statiku objektu.

Protože není možné vyloučit jiné důvody vzniku poruch, než jsou uvedené stavební úpravy, doporučuji provést sledování trhlinek, např. pomocí sádrových pásků. V případě, že by byly trhlinky a tím i poruchy objektu ještě nedokonané tzn., že by se na páscích objevily totožné trhlinky a poruchy by pokračovaly, doporučuji přizvat odbornou osobu pro posouzení celého objektu.

3. 4 Obsah

3. 4. 1 Rozsah hodnocení

Důvodem posudku je zjištění příčin poruch v nosných konstrukcích a návrh opatření na jejich odstranění. Nosná příčná stěna sousedící s průjezdem a prostorem s prováděnými úpravami vykazuje poruchy.

S objednatel byl dohodnut tento rozsah práce:

1. Předběžné prověření:
 - prověření dostupné dokumentace a dalších údajů
 - předběžná prohlídka
 - předběžné ověření
 - rozhodnutí o okamžitých opatřeních
 - doporučení pro podrobné hodnocení

2. Rozsah práce pro podrobné hodnocení:
 - podrobné vyhledání a prověření dokumentace
 - podrobná prohlídka, odběry vzorků a zkoušky
 - stanovení zatížení
 - stanovení vlastností konstrukce
 - analýza konstrukce
 - ověření
3. Případná další prohlídka
4. Zpráva o výsledcích hodnocení
5. Posudek a rozhodnutí
6. Návrh opatření

3. 4. 2 Popis konstrukce

Název: Kanceláře Magistrátu města

Adresa: Normální č. p. 1, Popelín, PSČ 00 000

Popis: Objekt je umístění v původní řadové zástavbě, nosný systém objektu je podélný stěnový, nosné obvodové zdivo je v přímé návaznosti na sousední objekty. Tvar střešní konstrukce je sedlový, nosnou konstrukci krovu tvoří klasická vaznicová soustava se stojatými stolicemi.

Vlastní objekt se sestává se z 1. PP, 1. NP, 2. NP, 3. NP a prostoru podkroví. Nosné stěny obvodové a vnitřní jsou z cihelného zdiva, ve spodní části přechází do kamenného zdiva na původní maltu neurčené pevnosti. Ostatní stěny jsou zřejmě z cihelného zdiva.

Historie: Nosné konstrukce jsou původní, bez jakýchkoli zásahů v průběhu životnosti.

Způsob používání: Využití budovy je od počátku stejné. Budova byla vyprojektována a používána pro kancelářské účely až do současnosti.

3. 4. 3 Vyšetřování

3. 4. 3. 1 Zkoumané dokumenty

1. Původní projekt z doby výstavby od Ateliéru OPR z dubna 1956
2. Stavební projektová dokumentace pro stavební povolení objektu „Oprava a úprava skladových prostor – Kanceláře Magistrátu města z 06/2004
3. Projekt „Odvádění podzemních vod a hydroizolace, autor Vodaři spol. s.r.o. ve spolupráci s Ing. J. Klapkou.
4. Stavební deník prováděné rekonstrukce vedený stavební firmou XYZ

3. 4. 3. 2 Počet prohlídek

1. Předběžná prohlídka objektu na místě dne 18. 9. 2007
za účasti: - Ing. P. Nová - autorizovaný statik, Statická kancelář XYZ
- Ing. F. Starý - autorizovaný inženýr, technický dozor investora

2. Podrobná prohlídka objektu na místě dne 5. 11. 2007
za účasti : - Ing. A. Novák - autorizovaný statik, soudní znalec
- Ing. P. Nová - autorizovaný statik, Statická kancelář XYZ
- Ing. F. Starý - autorizovaný inženýr, technický dozor investora
- Ing. B. Malý - specialista oboru zakládání staveb

3. 4. 3. 3 Odběry zkušebních vzorků a postupy zkoušek

Vzorky byly odebrány dne 12. 11. 2007 na základě objednávky Statické kanceláře XYZ. Bylo odebráno 9 vzorků pro zjištění únosnosti základové půdy, 6 vzorků pro stanovení únosnosti zdiva a základů. Vzorky odebral a analyzoval TAZUS se sídlem v Českých Budějovicích, ul. Nemanická č. 8.

Zkoušky a vyhodnocení výsledků zkoušek proběhlo v souladu s ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí.

Kopie laboratorních protokolů o zkouškách a výsledky zkoušek jsou uvedeny v přílohách posudku.

3. 4. 4 Analýza

Na základě zjištěných výsledků ze zkoušek byl proveden statický výpočet, který řeší únosnost stávajících základových konstrukcí a jejich posouzení v souvislosti se stavebními úpravami. Dále řeší návrh nového překladu včetně posouzení oslabeného zděného pilíře. Výpočet byl proveden v souladu ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí a ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí.

Výsledkem výpočtů je návrh zesílení zdiva kolem nového dveřního otvoru betonem s výztuží o půdorysném rozměru vždy 80mm x 600mm z betonu B20 – C16/20, který je pomocí kotevních trnů vodorovně přikotven do stávajícího zdiva. Takto zesílený pilíř bezpečně vyhovuje zvýšenému zatížení v souvislosti s provedenými úpravami.

Podrobné výpočty jsou uvedeny v příloze.

3. 4. 5 Ověření

Ve výpočtech byla ověřena bezpečnost a použitelnost existující konstrukce. Při hodnocení spolehlivosti byla brána v úvahu zbytková životnost existující konstrukce, skutečný stav a změny v konstrukcích vzniklé stavebními úpravami při úpravě budovy.

Ověřování vycházelo z koncepce mezních stavů - únosnosti a použitelnosti. Ověřování bylo prováděno metodou dílčích součinitelů uvedených v současných normách. Součinitelé byly upraveny s ohledem na výsledky provedených zkoušek materiálů a na jakost práce zhotovitele při stavebních úpravách.

3. 4. 6 Analýza údajů

Na základě prohlídek, provedených zkoušek a výpočtů lze konstatovat, že poruchy v místě uložení klenutého průvlaku průjezdu na pilíř jsou v místě uložení obou konců a ve výškové úrovni vyšší, než je uložení provedený překlad. Je možné předpokládat, že důvodem poruch není provedení stavebních úprav v pravé části objektu (při pohledu z ulice).

K poruchám mohlo dojít vlivem dočasného zvýšení popř. snížení hladiny spodní vody, která je dle dokumentace v úrovni nad základovou spárou objektu. Dále mohlo k poruchám dojít vlivem zvýšeného zatížení klenutého průvlaku.

Není však možné zcela vyloučit, že k prokreslení spáry mezi pilířem pod patou klenutého průvlaku a stěnou průjezdu mohlo dojít při vlastním provádění otvoru v nosné stěně. Ale v tomto případě by se jednalo o ukončené poruchy, které neohrožují statiku objektu.

Přesto byly navrženy dvě varianty zvýšení únosnosti zdiva v místě stavebních úprav.

3. 4. 7 Posouzení možných variant opatření

Pro zesílení zdiva byly navrženy dvě varianty. V první variantě je navržena výměna stávajícího zdiva za zdivo s vyšší únosností. Ve druhé variantě je navrženo zesílení stávajícího zdiva železobetonem. U obou variant byl proveden ve spolupráci se stavební firmou odhad nákladů. Po konzultaci s investorem a stavební firmou byla vybrána druhá varianta.

3. 4. 8 Závěr

Zdokumentované poruchy nosné stěny v průjezdu nejsou závažného charakteru a neohrožují v současném stavu statický (konstrukční) stav objektu – uvedené stavební úpravy nenarušily statickou koncepci domu.

Konstatuji, že ze vstupních informací, získaných podkladů a provedených statických výpočtů nevyplývá důvodná souvislost mezi poruchami nosné příčné stěny sousedící s průjezdem a stavebními úpravami provedenými dle uvedené projektové dokumentace.

3. 4. 9 Doporučení

Vzhledem k tomu, že trhliny byly objeveny až při provádění stavebních úprav, není však možné vyloučit, že zde trhliny byly již před započítáním stavebních prací a taktéž, že se trhliny objevily až při vlastním provádění stavebních úprav, ale to je možné předpokládat u všech objektů, kde se provádí stavební úpravy. V tomto případě by se jednalo o ukončené poruchy, které neohrožují statiku objektu.

Protože není možné vyloučit jiné důvody vzniku poruch, než jsou uvedené stavební úpravy, doporučuji provést sledování trhlinek, např. pomocí sádrových pásků. V případě, že by byly trhlinky a tím i poruchy objektu ještě nedokonané, tzn., že by se na páscích objevily totožné trhlinky a poruchy by pokračovaly, doporučuji přizvat odbornou osobu pro posouzení celého objektu.

3. 4. 10 Referenční literatura

Skripta:

- Konstrukce pozemních staveb - Poruchy, údržba, rekonstrukce a modernizace budov: díl - SNTL Praha 1985, II. díl VUT Brno 1984
- Konstrukce pozemních staveb - Vady, poruchy, údržba a změny staveb. Cvičení - VUT Brno 1984
- Konstrukce pozemních staveb 60 - Poruchy a rekonstrukce staveb I. a II. díl - ČVUT Praha 1994
- D. Pume, F. Čermák a kol. - Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí - ARCH Praha 1993
- Eichler: Mechanika zemin a zakládání staveb
- Rukověť znalce oboru 35 "Stavebnictví", Diagnostika vad a poruch v zakládání staveb obytných, průmyslových a zemědělských
- T. Vaněk: Rekonstrukce staveb
- Vyhláška MMR č. 268/2009 Sb. o obecných technických požadavcích na výstavbu
- J. Witzany: Poruchy a rekonstrukce zděných budov, ČKAIT Praha 1999
- Ing. P. Linhart a kol. - Rekonstrukce staveb v obrazech
- R. Drochytka, J. Bydžovský - Stavební vady od A do Z
- O. Makýš - Technologie renovace budov
- Z. Bažant, L. Klusáček - Statika při rekonstrukci objektů

Normy:

- ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. Červen 2005
- ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí. Listopad 2003

3. 4. 11 Přílohy

- č. 1 stavební výkresy
- č. 2 laboratorní protokoly o zkouškách a výsledky zkoušek
- č. 3 statické výpočty
- č. 4 fotografie
- č. 5 zápisy z prohlídek objektu
- č. 6 kopie zápisů ze stavebního deníku
- č. 7 zápisy z jednání o výsledcích prohlídek, výpočtů a návrzích úprav
- č. 8 zákres trhlin

C.4 ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Ve výše uvedeném příkladu závěrečné zprávy je ukázána jedna z možností provedení závěrečné zprávy při hodnocení existujících konstrukcí (nebo jinými slovy při statickém posouzení stávajících konstrukcí), které se provádí při rekonstrukcích, změně užívání objektů či jiných případech zásahů do budov.

Doporučuji zpracovateli hodnocení existujících konstrukcí vytvoření závěrečné zprávy dle výše uvedené citace přílohy G (informativní) "Struktura závěrečné zprávy" z ČSN ISO 13822 *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí* z června 2005.

Myslím si, že většina zadavatelů posudků hodnocení existujících konstrukcí se nejprve seznámí se zprávou, kde se jednoduše dozví výsledky a závěry z provedených výpočtů. S konkrétními výpočty a doporučeními autora hodnocení existující konstrukce se pak dále seznamují zpracovatelé potřebných projektových dokumentací.

Závěrečná zpráva je nejrychlejším seznámením se investora se stavem jeho budovy.

Použitá literatura

Kloknerův ústav, ČVUT Praha, Prof. Ing. Milan Holický, DrSc., Ing. Jana Marková, PhD. *ČSN ISO 13822, Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Červen 2005.

Tento projekt byl realizován za finanční podpory Evropské komise.
Tato publikace (sdělení) vyjadřuje pouze názory autora a komise nemůže být zodpovědná za
jakákoli užití, která mohou být vytvořena z informací obsažených v této publikaci