

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

# ANALÝZA RIZIK MOŽNOSTÍ POSUZOVÁNÍ CHARAKTERISTICKÝCH HODNOT VLASTNOSTÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

RISK ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF EVALUATING CHARACTERISTIC VALUES OF  
BUILDING MATERIAL PROPERTIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VLASTISLAV BOHÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MISÁK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Ústav soudního inženýrství  
Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Vlastislav Boháč

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Řízení rizik stavebních konstrukcí (3901T044)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Analýza rizik možností posuzování charakteristických hodnot vlastností stavebních materiálů**

v anglickém jazyce:

### **Risk analysis of the possibilities of evaluating characteristic values of building material properties**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat analýzou rizik spojených s různorodostí posuzování charakteristické hodnoty v různých Evropských a Českých normách.

Cíle diplomové práce:

Diplomant shrne postupy pro stanovení tzv. charakteristické hodnoty, které jsou uvedeny v současně platných Evropských a Českých normách. Cílem práce bude popsat tyto rozdíly, provést analýzu jednotlivých výstupů a navrhnout řešení této problematiky.

Seznam odborné literatury:

Tichý, Milík. Ovládání rizika. Analýza a management. 1. vydání. Praha : Nakladatelství C. H Beck, 2006. ISBN 80-7179-415-5.

Vymazal, Tomáš. Možnosti predikce, identifikace, analýzy, hodnocení a řízení rizik ve stavební praxi. Teze habilitační práce. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2010.

EN a ČSN normy

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Misák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 24.10.2014

L.S.

---

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.  
Ředitel vysokoškolského ústavu

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá shrnutím postupů stanovení tzv. charakteristické hodnoty stavebních materiálů, které jsou uvedeny v Evropských a Českých normách třídy 72 - Stavební suroviny, materiály a výrobky a 73 - Navrhování a provádění staveb. Cílem diplomové práce je popsat rozdíly a provést analýzu jednotlivých postupů a navrhnout řešení této problematiky.

### ***Abstrakt***

The thesis is concerned with summarization of steps to determine of the characteristic values of building materials which are listed in European and Czech standards number 72 - Building raw materials, materials and products and number 73 - Design and construction of buildings. The aim of thesis is to describe differences and perform analysis of individual processes and propose the solution of these problems.

## **Klíčová slova**

Riziko, analýza, charakteristická hodnota, vlastnosti stavebních materiálů.

### ***Keywords***

Risk, analysis, characteristic value, bulding material properties

***Bibliografická citace***

BOHÁČ, V. *Analýza rizik možností posuzování charakteristických hodnot vlastností stavebních materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2015. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Misák, Ph.D..

***Prohlášení***

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne .....

.....

Podpis diplomanta

### *Poděkování*

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Misákovi, Ph.D. za vedení, trpělivost, věnovaný čas a cenné rady, které byly pro mě velikou pomocí při zpracování této práce.

# OBSAH

Úvod.....	11
<b>1 Stanovení charakteristických hodnot .....</b>	<b>12</b>
1.1 Vlastnosti materiálů a charakteristická hodnota.....	12
1.2 Vztah mezi normami a jejich hierarchie .....	14
1.3 ČSN EN 1990 EC1.....	15
1.4 ČSN ISO 13822.....	18
1.5 ČSN ISO 2394.....	19
1.6 ČSN ISO 2854.....	21
<b>2 Beton, betonové a železobetonové prvky a konstrukce.....</b>	<b>22</b>
2.1 ČSN EN 206.....	22
2.1.1 Třídy pevnosti betonu.....	22
2.1.2 Odběr vzorků a zkoušky.....	23
2.1.3 Kritéria shody pro pevnost v tlaku .....	24
2.2 ČSN EN 13791.....	27
2.3 Ostatní normy .....	29
2.3.1 ČSN EN 1992.....	29
2.3.2 ČSN EN 12390-3.....	29
2.3.3 ČSN EN 12504-1.....	29
2.3.4 ČSN EN 13369.....	29
2.3.5 ČSN EN 1338.....	29
<b>3 Dřevěné konstrukce.....</b>	<b>31</b>
3.1 ČSN EN 14358.....	31
3.2 Ostatní normy týkající se charakteristických vlastností dřeva.....	32
3.2.1 EN 1995-1-1 .....	32
3.2.2 ČSN EN 14545 .....	32



3.2.3	ČSN EN 338.....	32
3.2.4	ČSN EN 384.....	33
3.2.5	ČSN EN 408.....	33
3.2.6	ČSN EN 1912.....	33
3.2.7	ČSN EN 14081.....	34
3.2.8	ČSN EN 12369.....	34
3.2.9	ČSN EN 1058.....	34
<b>4</b>	<b>Zdivo.....</b>	<b>35</b>
4.1	ČSN EN 1996-1-1+A1.....	35
4.2	ČSN EN 772-1.....	35
4.3	ČSN EN 1052-1.....	35
<b>5</b>	<b>Porovnání různých Postupů pro stanovení charakteristické hodnoty.....</b>	<b>37</b>
5.1	Všeobecně.....	37
5.2	Normální rozdělení 3 vzorky.....	38
5.3	Normální rozdělení 15 vzorků.....	41
5.4	Log-normální rozdělení 3 vzorky.....	44
5.5	Log-normální rozdělení 15 vzorků.....	46
<b>6</b>	<b>Závěr a vyhodnocení.....</b>	<b>50</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>53</b>

## ÚVOD

Charakteristické hodnoty vlastností materiálů jsou v normách používaných v České republice a Evropské unii definovány jako stejný parametr a to jako 5% kvantil. I když se jedná o stejně definovaný parametr, tak jednotlivé normy udávají různá kritéria a postupy pro jeho určení. Při použití různých kritérií a postupů vycházejí i rozdílné hodnoty, přitom se ale předpokládá, že pokud je materiál ve shodě s normou, tak má právě takové vlastnosti, jaké nám uvádí tato norma.

Diplomová práce shrnuje postupy, pro stanovení tzv. charakteristické hodnoty, které jsou uvedeny v současně platných Evropských a Českých normách třídy 72 - Stavební suroviny, materiály a výrobky a 73 - Navrhování a provádění staveb.

Cílem práce je popsat rozdíly v jednotlivých normách, provést analýzu jednotlivých výstupů a navrhnout řešení problematiky, která vzniká různorodostí posuzování charakteristické hodnoty v Evropských a Českých normách.

# 1 STANOVENÍ CHARAKTERISTICKÝCH HODNOT

## 1.1 Vlastnosti materiálů a charakteristická hodnota

Charakteristická hodnota je hodnota vlastnosti materiálu nebo výrobku, která má určitou pravděpodobnost, že nebude splněna v neomezeném souboru zkoušek. Tato hodnota obecně odpovídá danému kvantilu u předpokládaného pravděpodobnostního rozdělení určité vlastnosti materiálu nebo výrobku. V některých případech se používá nominální hodnota, která je obvykle používána jako charakteristická hodnota a je stanovena z příslušného dokumentu, jako je například evropská norma. Určení nominální hodnoty je na základě předchozí zkušenosti nebo fyzikálních podmínek a zákonů [1].

Vlastnosti materiálů nebo výrobků se mají popsat pomocí charakteristických hodnot. Pokud je dolní hodnota vlastnosti materiálu nebo výrobku nepříznivá, pak se má její charakteristická hodnota definovat jako její 5% kvantil. Pokud je horní hodnota vlastnosti materiálu nebo výrobku nepříznivá, pak se má její charakteristická hodnota definovat jako její 95% kvantil [1].

Hodnota jednotlivých vlastností materiálů nebo výrobků se stanovuje na základě předepsaných zkoušek, které se provádějí za předem stanovených podmínek. Pokud je nutné převést celkové výsledky z těchto zkoušek na hodnoty reprezentující chování daného materiálu nebo výrobku v konstrukci, musí se použít daný převodní součinitel, který se nachází například v přílohách jednotlivých norem k danému materiálu [1].

Pokud nejsou k dispozici dostatečná statistická data pro určování charakteristických hodnot vlastnosti materiálů nebo výrobků, lze považovat nominální hodnoty jako charakteristické, nebo je možné určit přímo návrhové hodnoty dané vlastnosti. Návrhové hodnoty materiálu se musí při určení přímo zvolit tak, aby jejich pravděpodobnost překročení uvažovaného mezního stavu nepříznivějšími hodnotami byla podobná jako pro jiné návrhové hodnoty daného modelu [1].

V případě spojité náhodné veličiny  $X$ , která má distribuční funkci  $F_x(x)$ , je  $p$ -kvantil  $x_p$  taková hodnota náhodné veličiny  $X$ , pro niž platí, že výskyt hodnot menších než  $x_p$

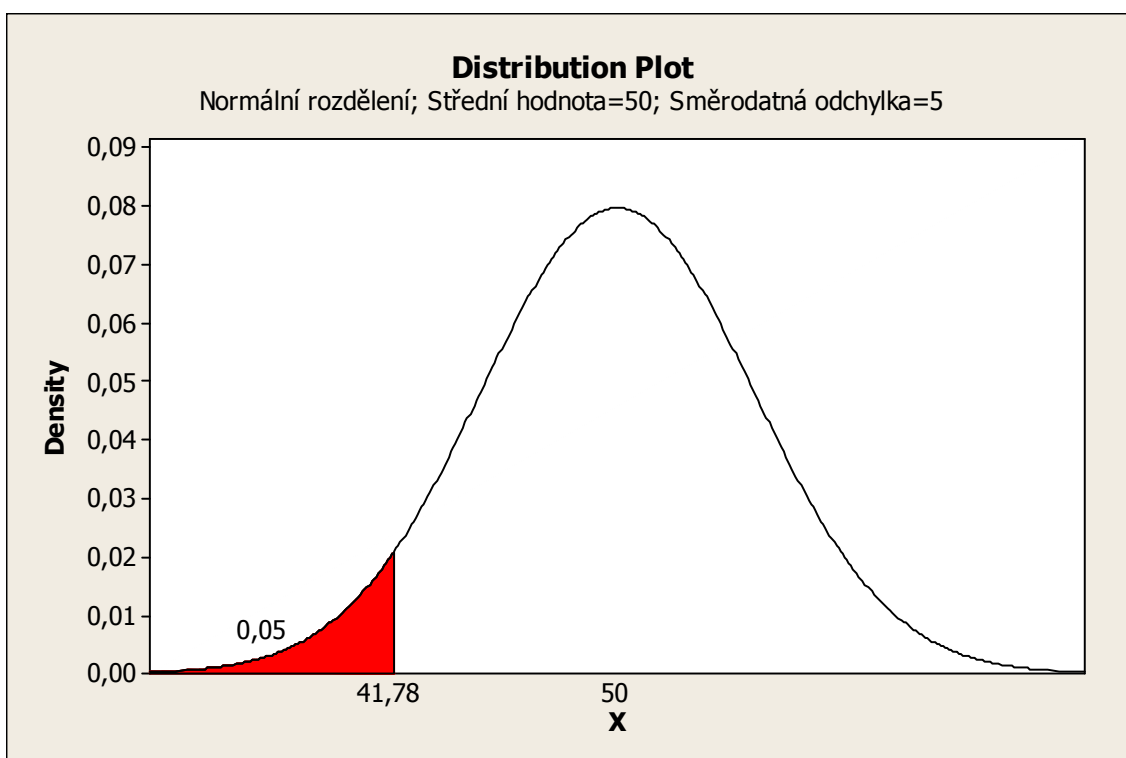
nastane pouze s pravděpodobností  $p$ , tj. pro niž je distribuční funkce  $FX(x_p)$  rovna pravděpodobnosti  $p$  [3], tedy platí:

$$P(X < x_p) = F_x(x_p) = p. \quad (1)$$

Tabulka 1 Hodnoty kvantilů normálního rozdělení se střední hodnotou 1 a směrodatnou odchylkou 1 [27]

$p$	0,5	0,9	0,95	0,975	0,99	0,995
$x_p$	0,0	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

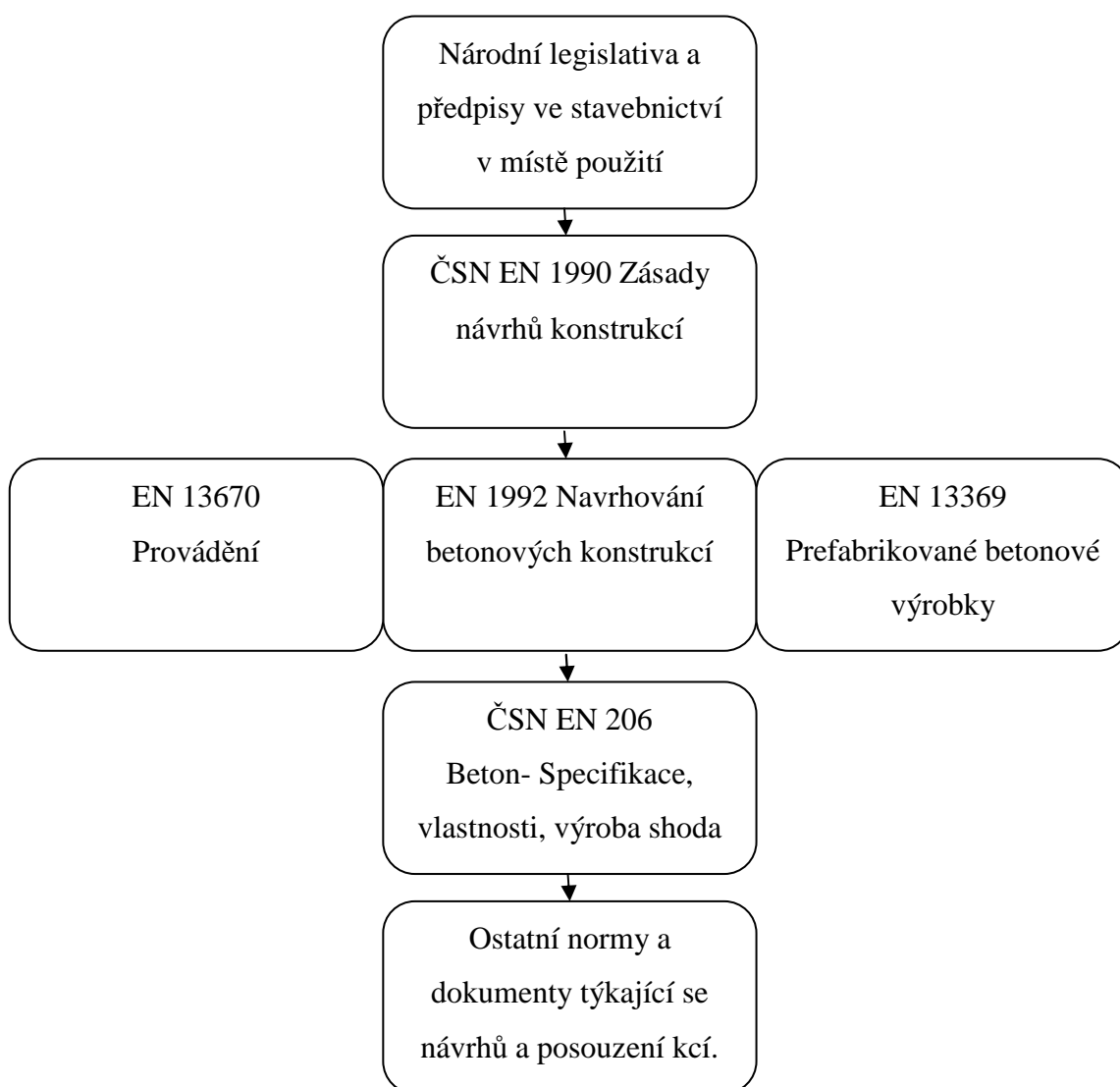
Obrázek 1 Charakteristická hodnota pro normální rozdělení



## 1.2 Vztah mezi normami a jejich hierarchie

Všechny normy používané v České republice nejprve podléhají národní legislativě a stavebním předpisům v daném místě použití. Jako základní norma pro návrh a posouzení konstrukcí je dále brána ČSN EN 1990 [1], která je nadřazena všem ostatním normám. Po normě ČSN EN 1990 [1] následují na stejné úrovni normy ČSN EN 13670, ČSN EN 1992 [7] a ČSN EN 13369, které jsou nadřazeny normě ČSN EN 206 [2], pod kterou jsou ostatní normy týkající se návrhu a posouzení stavebních konstrukcí [2].

Obrázek 2 Hierarchie norem [2]



### 1.3 ČSN EN 1990 EC1

Norma ČSN EN 1990 zásady navrhování konstrukcí [1] společně s ČSN EN 1991 až ČSN EN 1999 slouží v České republice jako základní dokument pro navrhování nových konstrukcí a stanovuje jednotlivé požadavky a zásady při jejich návrhu. Tuto normu lze použít při posuzování vlastností materiálů, které nejsou obsaženy v normách ČSN EN 1991 až ČSN EN 1999. Dále lze tuto normu použít i při hodnocení existujících konstrukcí a při jejich úprav a oprav [1].

Návrhové hodnoty materiálových vlastností, modelových parametrů nebo odolnosti se mají podle této normy odvodit z výsledků zkoušek jedním z následujících postupů. Stanovená charakteristická hodnota se dělí dílčím součinitelem a v případě potřeby se násobí převodním součinitelem. V takovém případě se má uvážit při odvození charakteristické hodnoty ze zkoušek rozptyl zkušebních dat, statistická nejistota z hlediska počtu zkoušek a apriorní statistická znalost. Dále se může návrhová hodnota určit přímo, s implicitním nebo explicitním uvážením konverze výsledků a celkové požadované spolehlivosti. Pokud je shoda zkoušek a běžného rozsahu aplikace dílčích součinitelů při numerickém ověřování dostatečná, potom se pro charakteristickou hodnotu daného materiálu má použít dílčí součinitel podle příslušného Eurokódu [1].

Při hodnocení výsledků zkoušek se musí porovnat chování jednotlivých zkušebních vzorků a způsoby porušení s teoretickými předpoklady. Pokud nastane značná odchylka od teoretického předpokladu, je třeba hledat vysvětlení, proč k tomuto došlo. To může zahrnovat doplňující zkoušky, pravděpodobně za jiných podmínek, nebo dokonce změnu teoretického modelu. Výsledky u jednotlivých zkoušek se mají hodnotit na základě statistických metod, pomocí dostupných statistických znalostí, přičemž se musí uvážit typ rozdělení a jeho příslušné parametry. Metody uvedené v příloze této normy se mají použít, pokud jsou statistické údaje (včetně apriorních informací) převzaty ze známých základních souborů, které jsou dostatečně homogenní, a je k dispozici dostatečný počet výsledků z pozorování nebo měření [1].

U hodnocení výsledků se rozlišují tři hlavní kategorie:

1. Při provádění pouze jedné nebo velmi malého počtu zkoušek, není možné použít klasické statistické hodnocení. Pouze za použití rozsáhlých apriorních informací spojených s hypotézou o relativních stupních důležitosti těchto informací a výsledků zkoušek, jde toto hodnocení brát jako statistické [1].
2. Pokud se při odhadu parametru provádí velký počet zkoušek, je možné použít klasické statistické hodnocení. Při tomto hodnocení je vyžadováno použití apriorní informace o parametru, které v běžném případě nebude tolik potřebné jako v předchozím případě [1].
3. Pokud se provádí řada zkoušek s jedním nebo více parametry z důvodu kalibrace modelu jako funkce, je možné použít klasické statistické hodnocení [1].

Výsledky při hodnocení jednotlivých zkoušek se mají považovat za platné pouze pro specifikace a charakteristiky zatížení stejné jako jsou uvažované při zkouškách. Pokud se tyto výsledky extrapolují tak, aby se pokryly další návrhové parametry, musí se použít doplňující informace známé z předchozích zkoušek nebo založené na teoretickém podkladě, který odpovídá danému chování zkoušeného materiálu [1].

Jedna nezávislá vlastnost  $X$  může představovat například odolnost výrobku, potom se může použít přímo pro stanovení charakteristické hodnoty nebo jinou vlastnost, která přispívá k odolnosti výrobku. Dále se musí uvažovat, že návrhová hodnota odolnosti zahrnuje také účinky dalších vlastností, modelové nejistoty a další účinky [1].

Charakteristická hodnota veličiny  $X$  se stanoví ze vztahu

$$X_{k(n)} = m_X \{1 - k_n V_X\}. \quad (2)$$

Podle normy ČSN EN 1990 [1] se má použít variační koeficient  $V_X$  známý, jestliže je on nebo jeho reálná horní hranice apriorně známa. V opačném případě se má použít  $V_X$  neznámý, pokud hodnota variačního koeficientu  $V_X$  není apriorně známa, je potřeba ho odhadnout z náhodného výběru jako:

1. Pro normální rozdělení je variační koeficient  $V_X$  odhadován jako

$$V_X = s_X/m_X, \quad (3)$$

kde rozptyl  $s_X^2$  je roven

$$s_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2. \quad (4)$$

2. Pro log-normální rozdělení se charakteristická hodnota  $X_{k(n)}$  vypočítá jako

$$X_{k(n)} = \exp [m_y - k_n S_y], \quad (5)$$

kde střední hodnota  $m_y$  je rovna

$$m_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i). \quad (6)$$

Variační koeficient  $V_X$  známý pro log-normální rozdělení je roven

$$S_y = \sqrt{\ln (V_X^2 + 1)^2} \approx V_X, \quad (7)$$

a pro variační koeficient  $V_X$  neznámý

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln (x_i) - m_y]^2}. \quad (8)$$

Dle normy ČSN EN 1990 [1] je výhodnější použít variační koeficient  $V_x$  známý s konzervativním horním odhadem než aplikovat pravidla pro variační koeficient  $V_x$  neznámý. Pokud je  $V_x$  neznámý, nemá se jeho hodnota uvažovat menší než 0,10 [1].

Tabulka 2 Hodnoty součinitele  $k_n$  při známém a neznámém variačním koeficientu [1]

$n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_X$ 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	1,74	1,73	1,64



## 1.4 ČSN ISO 13822

Norma ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - hodnocení existujících konstrukcí [3] stanovuje základní požadavky a postupy při hodnocení existujících konstrukcí. Tuto normu lze použít pro stávající konstrukce s jakéhokoliv materiálu, musí se ale dbát na to, jestli není vyžadována úprava hodnot vlastností materiálu jinými normami. Neobsahuje ale národní přílohu a pokyny pro používání této normy jsou uvedeny v ČSN 73 0038. Dále odkazuje na dokument ČSN ISO 2394 [5], podle kterého lze upřesnit hodnoty některých používaných koeficientů [3].

Vlastnosti materiálů, které se použijí pro hodnocení, musí odpovídat skutečným vlastnostem materiálů existující konstrukce, a ne vlastnostem materiálů specifikovaným v původním návrhu konstrukce, v návrhové metodě nebo předpisu. Při určování vlastností materiálů se musí uvážit degradace a možné vlivy zatížení v průběhu existence konstrukce [3].

Stanovení charakteristické hodnoty  $x_k$  pro normální rozdělení dle vzorce

$$x_k = \mu(1 - kV). \quad (9)$$

Stanovení charakteristické hodnoty  $x_k$  pro log-normální rozdělení dle vzorce

$$x_k = \mu \exp(-k\sigma - 0,5\sigma^2), \quad (10)$$

kde se  $\sigma^2$  vypočítá ze vztahu

$$\sigma^2 = \ln(1 + V^2). \quad (11)$$

Obvykle se používá hodnota součinitele  $k = 1,64$ .

Dále tato norma stanovuje vztah mezi návrhovou a charakteristickou hodnotou, ale norma přímo neuvádí, zda lze tento vztah použít i opačně pro získání charakteristické hodnoty z hodnoty návrhové [3].

$$x_d = x_k / \gamma_m \quad (12)$$

Stanovení přímo návrhové hodnoty  $x_d$  pro normální rozdělení dle vzorce

$$x_d = \mu(-\alpha\beta\sigma - 0,5\sigma^2). \quad (13)$$

Stanovení přímo návrhové hodnoty  $x_d$  pro log-normální rozdělení

$$x_d = \mu \exp(1 - \alpha\beta V). \quad (14)$$

Pro podrobnější výpočet návrhové hodnoty tato norma odkazuje na ČSN ISO 2394 [5], kde jsou uvedeny jednotlivé hodnoty součinitelů  $\alpha$  a  $\beta$ .

## 1.5 ČSN ISO 2394

Na ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí [5] odkazuje norma ČSN EN 13822 [3], a to v případě doplnění hodnot některých koeficientů. Dále stanovuje postupy pro stanovení návrhové a charakteristické hodnoty 2 způsoby.

Výpočet charakteristické hodnoty odolnosti  $R_{k,est}$  pomocí vzorce

$$R_{k,est} = m_R - k_s s_R, \quad (15)$$

kde  $m_R$  je střední hodnota,  $s_R$  směrodatná odchylka a  $k_s$  je koeficient kvantilu charakteristické hodnoty, který je uveden v následujících tabulkách pro hodnoty 5% kvantilu a pro známou a neznámou hodnotu  $s_R$ .

Tabulka 3 Hodnoty součinitele  $k_s$  při neznámé směrodatné odchylce  $s_R$  [5]

	3	4	6	8	10	20	30	100	$\infty$
$P = 0,05$	3,15	2,68	2,34	2,19	2,10	1,93	1,87	1,76	1,64

Tabulka 4 Hodnoty součinitele  $k_s$  při známé směrodatné odchylce  $s_R$  [5]

	3	4	6	8	10	20	30	100	$\infty$
$P = 0,05$	2,03	1,98	1,92	1,88	1,86	1,79	1,77	1,71	1,64

Výpočet návrhové hodnoty pro normální rozdělení dle vzorce

$$X_{id} = \mu_i(1 - \alpha_i\beta V_i) \quad (16)$$

a pro log-normální rozdělení

$$X_{id} = \xi_i \exp(-\alpha_i\beta v_i), \quad (17)$$

kde se  $\xi_i$  a  $v_i$  vypočítají

$$\xi_i = \frac{\mu_i}{\sqrt{1+V_i^2}} \quad (18)$$

a

$$v_i = \sqrt{\ln(1 + V_i^2)}. \quad (19)$$

Pro malé proměnné  $V_i$  ( $V_i \leq 0,25$ ),  $\xi_i \approx \mu_i$ ;  $v_i \approx V_i$ .

Pro hlavní parametr se uvádí  $\alpha_i = 0,8$ .

Směrný index spolehlivosti  $\beta$  se stanoví dle druhu mezního stavu:

- Pro mezní stav použitelnosti se  $\beta = 1,5$ .
- Pro mezní stav únavy se  $\beta = 2,3$  až  $3,1$ .
- Pro mezní stav návrhu se  $\beta = 3,1$ .

Charakteristická hodnota odolnosti  $R_k$  lze vypočítat dle vztahu:

$$R_k = \gamma_m R_d, \quad (20)$$

kde  $\gamma_m$  je součinitel podle druhu materiálu, jehož hodnota není v této normě uvedena.

## 1.6 ČSN ISO 2854

Norma ČSN ISO 2854 Statistická interpretace údajů - odhady a testy středních hodnot a rozptylů [6] slouží pro určení statistických metod výsledků získaných při zkoušení. Určuje například jednostranné i oboustranné toleranční intervaly, které se využívají dále pro výpočty v jiných normách a ISO, které na tento dokument přímo odkazují.

Odhad střední hodnoty vypočteme, pokud je:

1. Rozptyl známý a známe tyto statistické údaje. Rozsah výběru, součet porovnávaných hodnot, známá hodnota rozptylu nebo směrodatné odchylky, zvolená konfidenční úroveň (7).

Odhad střední hodnoty  $m$  vypočítáme pomocí vzorce

$$m^* = \bar{x} = \frac{\sum x}{n} . \quad (21)$$

Dvoustranný konfidenční interval

$$\bar{x} - \left[ u_{1-\alpha/2} / \sqrt{n} \right] \sigma < m < \bar{x} + \left[ u_{1-\alpha/2} / \sqrt{n} \right] \sigma . \quad (22)$$

2. Pokud je rozptyl neznámý, potřebujeme pro tento výpočet tyto statistické údaje. Rozsah výběru, součet porovnávaných hodnot, součet čtverců porovnávaných hodnot, stupeň volnosti, zvolená konfidenční úroveň (7)

Odhad střední hodnoty  $m$  vypočítáme pomocí vzorce

$$m^* = \bar{x} = \frac{\sum x}{n} . \quad (23)$$

Dvoustranný konfidenční interval

$$\bar{x} - \left[ t_{1-\alpha/2}(v) / \sqrt{n} \right] s < m < \bar{x} + \left[ t_{1-\alpha/2}(v) / \sqrt{n} \right] s , \quad (24)$$

kde  $\sigma^*$  a  $s$  vypočítáme pomocí vzorce

$$\sigma^* = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n-1}} . \quad (25)$$

## **2 BETON, BETONOVÉ A ŽELEZOBETONOVÉ PRVKY A KONSTRUKCE**

### **2.1 ČSN EN 206**

Norma ČSN EN 206 Beton - specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [2] se používá pro betony a betonové konstrukce zhotovené na staveništi nebo pro montované konstrukce a prefabrikované dílce u pozemních a inženýrských staveb. Hlavní náplní této normy je specifikovat požadavky pro jednotlivé složky betonu, jeho vlastnosti v čerstvém i ztvrdlém stavu a případné jejich ověření, jednotlivé specifikace, kritéria a hodnocení shody. Netýká se speciálně vyráběných betonů například stříkaný beton nebo betonové vozovky, pro které jsou zvláště zhotovené normy. Déle tato norma není vhodná pro betony s menší objemovou hmotností než  $800 \text{ kg/m}^3$  jako například pórobeton a pěnobeton [2].

#### **2.1.1 Třídy pevnosti betonu**

Při klasifikaci betonu podle pevnosti v tlaku, platí pro obyčejný a těžký beton následující tabulka. Pro klasifikaci se používá charakteristická pevnost v tlaku zjištěná na základních tělesech, a to válcích o průměru 150 mm a výšce 300 mm ( $f_{ck,cyl}$ ) nebo na krychlích o hraně 150 mm ( $f_{ck,cube}$ ). Pokud není stanoveno jinak, tak se pevnost v tlaku zkouší na zkušebních tělesech ve stáří 28 dnů. U zvláštních případů použití může být potřebné stanovit pevnost v tlaku jindy než ve stáří 28 dnů nebo u případů po ošetřování při zvláštních podmínkách, u kterých se urychluje nebo zpomaluje rychlost zrání betonu, jako je například proteplování. Charakteristická pevnost betonu musí být minimálně taková jako charakteristická pevnost v tlaku vyžadovaná pro stanovenou třídu pevnosti v tlaku. Pokud se očekává, že při zkoušce pevnosti betonu v tlaku nemusíme získat reprezentativní výsledky, potom se musí zkušební metoda upravit nebo se může pevnost v tlaku posuzovat na již zhotovené konstrukci nebo prvku [2].

Tabulka 5 Pevnostní třídy betonu dle normy ČSN EN 206 [2]

Třída pevnosti v tlaku	Minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck,cyl}$ N/mm <sup>2</sup>	Minimální charakteristická krychelná pevnost $f_{ck,cube}$ N/mm <sup>2</sup>
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

### 2.1.2 Odběr vzorků a zkoušky

Pro obyčejný a těžký beton se musí provádět odběr vzorků a zkoušky shody buď na jednotlivých složeních betonů, nebo na souboru betonu. Pro soubor betonu se musí zajistit kontrola všech členů daného souboru a odběr vzorků se musí provádět z celého rozsahu složení vyráběných zkušebních těles uvnitř souboru. Při posouzení shody souboru beton se musí potvrdit, že každý jednotlivý zkušební prvek patří do daného souboru. Při odběru vzorků a zkoušek se rozlišuje počáteční výroba a průběžná výroba, kdy počáteční výroba trvá do okamžiku, než se získá nejméně 35 výsledků zkoušek v období do 12 měsíců a průběžná výroba je po získání nejméně těchto 35 výsledků zkoušek. V případě pozastavení výroby jednotlivého složení betonu nebo souboru

betonů na dobu delší než 12 měsíců, musí se použít kritéria shody a plán odběru vzorků a zkoušek opět pro počáteční výrobu.

Jednotlivé zkušební vzorky betonu se musí náhodně vybrat a odběr provést v souladu s platnou normou pro daný typ materiálu. U každého souboru betonů vyráběného za podmínek, které lze považovat za jednotné, se musí provádět odběr vzorků. Nejmenší četnost při odběru vzorků a zkoušek betonu musí být provedena podle následující tabulky, která určuje nejvyšší počet vzorků pro počáteční a průběžnou výrobu.

Při zhotovení dvou nebo více zkušebních těles z jednoho vzorku a při rozptylu výsledků větším než 15 % průměru, pak musí být tyto výsledky zamítnuty, pokud se při přezkoumání nezjistí důvod pro zamítnutí jednotlivého výsledku zkoušky [2].

Tabulka 6 Minimální četnosti odběru vzorků betonu dle normy ČSN EN 206 [2]

Výroba	Minimální četnost odběru vzorků		
	Prvních 50 m <sup>3</sup> výroby	Následně po prvních 50 m <sup>3</sup> vyrobeného betonu <sup>a)</sup> , které dává nejvyšší četnost	
		Beton s certifikací řízení výroby	Beton bez certifikace řízení výroby
Počáteční (do získání 35 výsledků zkoušek)	3 vzorky	1/200 m <sup>3</sup> nebo 1 během 3 pracovních dnů <sup>d)</sup>	1/500 m <sup>3</sup> nebo 1/každý pracovní den <sup>d)</sup>
Průběžná <sup>b)</sup> (po získání 35 výsledků zkoušek)	-	1/400 m <sup>3</sup> nebo 1 během 5 pracovních dnů <sup>c), d)</sup> nebo 1 za kalendářní měsíc	
<sup>a)</sup> Odběr vzorků se musí rovnoměrně rozložit během výroby a na každých 25 m <sup>3</sup> se nesmí odebrat více než jeden vzorek <sup>b)</sup> Pokud je směrodatná odchylka z posledních 15 výsledků zkoušek větší než 1,37σ, četnost odběru vzorků se musí zvýšit tak, jak je požadováno pro počáteční výrobu pro příštích 35 výsledků zkoušek. <sup>c)</sup> Nebo pokud je více než 5 pracovních dnů během 7 po sobě jdoucích kalendářních dnů, jednou za kalendářní týden. <sup>d)</sup> Definice „pracovní den“ musí být stanovena v dokumentu platném v místě použití.			

### 2.1.3 Kritéria shody pro pevnost v tlaku

Kritérium pro jednotlivé výsledky při shodě pevnosti betonu v tlaku se posuzuje z výsledků zkoušek betonových zkušebních těles zkoušených ve stáří 28 dnů. Pokud je

pevnost betonu specifikována v jiném stáří betonu než je 28 dní, potom se shoda posuzuje v daném stáří betonu [2].

Každý výsledek zkoušky  $f_{ci}$  musí splňovat podmínku

$$f_{ci} \geq (f_{ck} - 4). \quad (26)$$

Kritérium pro průměrné výsledky pro dosažení specifické charakteristické pevnosti se posuzuje jednou z následujících metod:

1. **Metoda A:** Pro počáteční výrobu musí průměrná pevnost nepřekrývajících se, nebo překrývajících se, po sobě jdoucích tří výsledků zkoušek splňovat podmínku

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 4). \quad (27)$$

Tyto kritéria shody jsou založena na bázi nepřekrývajících se výsledků zkoušek. Při použití kritéria pro překrývajících se výsledky zkoušky se zvyšuje riziko zamítnutí [2].

Z předchozích vztahů se dá odvodit výpočet charakteristické hodnoty betonu, která musí splňovat obě kritéria současně, tak se dá určit jako menší z hodnot

$$f_{ck} \leq (f_{ci,min} + 4) \quad (28)$$

$$f_{ck} \leq (f_{cm} - 4). \quad (29)$$

2. **Metoda B:** Průběžná výroba se používá, jsou-li splněny její podmínky. Volba podmínek závisí na četnosti zkoušek. Posuzování shody se provádí z jednotlivých výsledků zkoušek zkušebních vzorků, které jsou odebrány během posuzovaného období, které nesmí být delší.

Při počtu výsledků zkoušek pro beton menším než 35 za tři měsíce posuzované období musí obsahovat od 15 do 35 po sobě jdoucích výsledků zkoušek, které jsou odebrané v období do 6 měsíců.



Při počtu výsledků zkoušek pro beton větším než 35 za tři měsíce, posuzovací období musí obsahovat minimálně 15 po sobě jdoucích výsledků zkoušek, které jsou odebrané v období do tří měsíců.

U nepřekrývajících se, nebo překrývajících se, po sobě jdoucích výsledků zkoušek betonů nebo skupiny betonů musí průměrná pevnost splňovat následující podmínku

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 1,48 \sigma). \quad (30)$$

Při použití metody B se u souboru betonů posuzuje průměr všech nepřevedených výsledků zkoušek ( $f_{cm}$ ) pro jednotlivé členy souboru podle kritérií, které jsou v následující tabulce. Zkušební prvky nevyhovující tomuto kritériu, se musí vyčlenit ze souboru betonů a jejich shoda posuzovat samostatně.

Vyčleněné betonové prvky se musí posuzovat pro shodu jednotlivě za použití metody pro počáteční výrobu. Vyřazené betony můžeme znovu začlenit jen po přezkoumání stanoveného vzájemného vztahu mezi referenčním betonem a vyřazeným betonem [2].

Tabulka 7 potvrzující kritéria pro členy souboru betonů [2]

Počet výsledků zkoušek n pevnosti v tlaku pro jednotlivý beton souboru	Průměr z n výsledků ( $f_{cm}$ ) pro jednotlivý beton souboru. N/mm <sup>2</sup>
2	$\geq f_{ck} - 1,0$
3	$\geq f_{ck} + 1,0$
4	$\geq f_{ck} + 2,0$
5	$\geq f_{ck} + 2,5$
6	$\geq f_{ck} + 3,0$
7 až 9	$\geq f_{ck} + 3,5$
10 až 12	$\geq f_{ck} + 4,0$
13 až 14	$\geq f_{ck} + 4,5$
15 ≤	$\geq f_{ck} + 1,48\sigma$

3. **Metoda C:** Použití grafického diagramu se používá jako alternativa pro posuzování shody za pomoci grafického diagramu. Cílem této metody je zajištění shody příslušné výroby s požadovanou charakteristickou pevností při zahrnutí pravidelného monitoringu pevností a směrodatné odchylky s ohledem na mezní hodnoty [2].

Podle této normy je pro pevnost betonu v tlaku očekávaná hodnota směrodatné odchylky mezi 3 až 6 N/mm<sup>2</sup>.

## 2.2 ČSN EN 13791

Norma ČSN EN 13781 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích [4] uvádí způsob stanovení pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a prefabrikovaných dílcích. Uvažuje vliv materiálů i způsob provádění konstrukce. Tato norma je určena pro stanovení pevnosti betonu v tlaku, posouzení stávající, upravené nebo poškozené konstrukce, při pochybnosti o kvalitě betonu nebo vadném provedení konstrukce. Základní soubor je obdobný jako u ČSN EN 206-1 [2].

**Postup A** se používá při malém souboru zkušebních těles, a to minimálně 3 a maximálně 14. Odhad charakteristické pevnosti betonu v tlaku je nižší z hodnot

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_2 \cdot s \quad (31)$$

nebo

$$f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4, \quad (32)$$

kde  $s$  je směrodatná odchylka výsledků zkoušek nebo 2,0 N/mm<sup>2</sup>, dle toho, která hodnota je větší. Hodnota koeficientu  $k_2$  není uvedena v národních předpisech a je uvažována jako 1,48 [4].

**Postup B** se používá při středním a velkém souboru zkušebních těles. Tento postup se používá pro 15 a více těles. Odhad charakteristické pevnosti betonu v tlaku je nižší z hodnot

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k \quad (33)$$

nebo

$$f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4, \quad (34)$$

kde součinitel  $k$  závisí na počtu  $n$  výsledků zkoušek (tabulka 8).

Tabulka 8 Hodnoty koeficientu  $k$  [4]

n	10-14	7-9	3-6
k	5	6	7

Posuzování charakteristické pevnosti nepřímými metodami:

### 1. Přímá korelace s vývrty

Ke stanovení vztahu mezi výsledkem zkoušky a pevnosti betonu v tlaku nepřímou metodou je potřeba nejméně 18 výsledků zkoušek a 18 vývrťů.

U 15 zkoušek je charakteristická pevnost betonu v tlaku nižší z hodnot

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1,48 \times s \quad (35)$$

nebo

$$f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4, \quad (36)$$

kde  $s$  je směrodatná odchylka výsledků zkoušek [4].

### 2. Kalibrace s vývrty pro vymezený rozsah pevnosti použitím stanoveného vztahu (na základě křivky).

Při pochybnosti o shodě betonu, pokud je posuzování založeno na normových zkouškách, lze pro 15 a více výsledků vývrťů použít vzorce

$$f_{m(n),is} \geq 0,85(f_{ck} + 1,48 \times s) \quad (37)$$

a

$$f_{is,nejnižší} \geq 0,85(f_{ck} - 4). \quad (38)$$

## **2.3 Ostatní normy**

### **2.3.1 ČSN EN 1992**

Norma ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí [7] uvádí zásady pro navrhování konstrukcí z prostého, předpjatého betonu a železobetonu. Neuvádí se v ní, jak přímo získat charakteristické hodnoty, se kterými dále pracuje, pouze odkazuje na výpočty v normě ČSN EN 1990 [1] a jednotlivé pevnostní třídy betonu v normě ČSN EN 206-1 [2].

### **2.3.2 ČSN EN 12390-3**

ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - pevnost v tlaku zkušebních těles [8] uvádí metodu pro stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles, ale neuvádí postup ani normu, podle které by se počítala charakteristická pevnost zkušebního tělesa.

### **2.3.3 ČSN EN 12504-1**

Norma ČSN EN 12504-1 Zkoušení betonu v konstrukcích- Odběr vyšetření a zkoušení v tlaku [9] uvádí metodu pro odběr vzorků ze ztvrdlého betonu, jejich vyšetření a stanovení pevnosti v tlaku. Stanovuje jen požadavek na odběr vzorků jejich úpravu a postup zkoušky. Neuvádí postup ani neodkazuje na normu pro hodnocení výsledků pevností betonů a zjištění charakteristické pevnosti betonu.

### **2.3.4 ČSN EN 13369**

Norma ČSN EN 13369 Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty [10] uvádí požadavky, základní kritéria a hodnocení shody pro prefabrikované betonové a železobetonové dílce v souladu s normou ČSN EN 206-1 [2], podle které postupuje. Neuvádí, jak získat charakteristickou hodnotu materiálu. Stanovuje postup kalibrace mezi přímými a nepřímými zkušebními metodami.

### **2.3.5 ČSN EN 1338**

Norma ČSN EN 1338 Betonové dlažební bloky - Požadavky a zkušební metody [11] stanovuje požadavky na materiály a jednotlivé zkušební metody pro cementové a

betonové dlažební bloky. Popisuje jednotlivé druhy zkoušek, ale už nestanovuje, jak z daných výsledků vypočítat charakteristickou hodnotu, ani neodkazuje na normu, podle které by se měla tato hodnota vypočítat. Stanovuje střední hodnotu pevnosti v příčném tahu, která závisí na tloušťce prvku.

### 3 DŘEVĚNÉ KONSTRUKCE

#### 3.1 ČSN EN 14358

Norma ČSN EN 14358 Dřevěné konstrukce - výpočet 5% kvantilů charakteristických hodnot a kritéria přijatelnosti pro výběr [12] stanovuje metodu pro zjištění charakteristické hodnoty 5% kvantilů u výrobků na bázi dřeva a spojovacích prostředků. Norma ČSN EN 14358 [12] uvádí, že je založena na normě ČSN EN 1990 [1] na příloze D, kdy se hodnota konfidenční úrovně předpokládá  $\alpha = 75 \%$ .

Charakteristická hodnota se vypočítá dle vztahu

$$m_k = \exp(\bar{y} - k_s S_y). \quad (39)$$

Průměrná hodnota

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(m_i). \quad (40)$$

Směrodatná odchylka

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln(m_i) - \bar{y})^2}. \quad (41)$$

Součinitel  $k_s = \frac{k}{\sqrt{n}}$ , kde  $k$  je  $\alpha\%$  kvantil v necentrálním t-rozdělení s  $n$  stupni volnosti a s parametry necentrality  $\lambda = u_{1-p} \sqrt{n}$ ;  $u_{1-p}$  je  $(1-p)\%$  kvantil normálové distribuční funkce normálního rozdělení.

Variační součinitel nesmí být menší než 0,05, pokud je menší, tak se použije hodnota

$$s_y = 0,05 \times \bar{y}. \quad (42)$$

Tabulka 9 Hodnoty součinitelů  $k_s$ ,  $k(n)$

$n$	3	5	10	15	20	30	50	100	500	$\infty$
$k_s$	3,15	2,46	2,1	1,99	1,93	1,87	1,81	1,76	1,71	1,65
$k(n)$	2,03	1,95	1,86	1,82	1,8	1,77	1,74	1,69	1,67	1,65

Při kontrole se musí prokázat, že pro náhodný výběr z  $n$  zkušebních těles je

$$\exp(\bar{y} - k(n)S_y) > m_k. \quad (43)$$

Pokud směrodatná odchylka není známá, uvažuje se součinitel  $k(n)$  hodnotou  $k_s$ .

Pokud je směrodatná odchylka známá, musí se stanovit součinitel  $k(n)$  ze vztahu

$$k(n) = u_{p-1} + \frac{u_a}{\sqrt{n}}. \quad (44)$$

## **3.2 Ostatní normy týkající se charakteristických vlastností dřeva**

### **3.2.1 EN 1995-1-1**

Norma EN 1995-1-1 Navrhování dřevěných konstrukcí [13] se používá pro navrhování pozemních a inženýrských staveb ze dřeva nebo výrobků na jeho bázi, které jsou spojované pomocí mechanických prostředků nebo spojovacích lepidel. Tato norma určuje požadavky a zásady na bezpečnost a použitelnost konstrukcí a základy navrhování a posouzení daných materiálů. Pro výpočet charakteristické hodnoty odkazuje na normu ČSN EN 1990 [1]. Stanovuje vliv zatížení a vlhkosti na pevnost prvku.

### **3.2.2 ČSN EN 14545**

Norma ČSN EN 14545 Dřevěné konstrukce - Spojovací prostředky požadavky [14] stanovuje požadavky a zkušební metody pro spojovací prostředky, které jsou určeny na nosné dřevěné konstrukce. Dále tato norma stanovuje postup hodnocení shody těchto výrobků. Charakteristickou hodnotu jednotlivých prostředků přímo nestanovuje, ale odkazuje se na ČSN EN 1995 [13] a ČSN EN 14358 [12].

### **3.2.3 ČSN EN 338**

Norma ČSN EN 338 Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti [15] stanovuje třídy pro jehličnaté a listnaté dřevo, s hodnocením jejich charakteristické pevnosti. Dále se stanovují jednotlivé odolnosti a přepočty mezi nimi na dřevěných prvcích dle způsobu

namáhán, směru vláken a druhu dřeva. Charakteristickou hodnotu pevnosti stanovuje dle normy ČSN EN 384 [16].

### 3.2.4 ČSN EN 384

Norma ČSN EN 384 Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty [16] popisuje pouze převodní vztahy mezi jednotlivými charakteristickými pevnostmi v různých směrech. Charakteristickou hodnotu  $f_{05}$  určuje pomocí vzestupného uspořádání a jako 5% kvantil je hodnota, pro kterou je 5 % výsledků nižší. Pokud to není konkrétní hodnota výsledku zkoušky, tak se charakteristická hodnota získá interpolací příslušných hodnot. Počet zkušebních těles pro tuto metodu je minimálně 40. Odkazuje na dokumenty ČSN EN 408 [17], podle které jsou prováděny zkoušky jednotlivých vzorků a na normu ČSN EN 338 [15], podle které jsou dále dřevu přiřazeny pevnostní třídy a příslušné charakteristiky.

Charakteristická hodnota pevnosti  $f_k$  se stanoví dle vztahu:

$$f_k = \overline{f_{05}} k_s k_v. \quad (45)$$

### 3.2.5 ČSN EN 408

Norma ČSN EN 408 Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností [17] uvádí požadavky na zkušební tělesa a postup zkušební metody pro stanovení některých vlastností konstrukčního a lepeného lamelového dřeva. Popisuje pouze postupy zkoušek, ale pro zpracování výsledků a stanovení charakteristické hodnoty odkazuje na normu ČSN EN 384 [16].

### 3.2.6 ČSN EN 1912

Norma ČSN EN 1912 Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti - Přiřazení vizuálních tříd dřevin [18] zařazuje dřevo do tříd pouze podle druhu dřeviny a oblasti, ze které dané dřevo pochází. Z dané třídy lze získat charakteristickou hodnotu pomocí dalšího dokumentu.



### 3.2.7 ČSN EN 14081

Norma ČSN EN 14081 Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti [19] stanovuje požadavky na vizuálně a strojně tříděné dřevo. Pro určení charakteristické hodnoty odkazuje na normy EN 1912 [18] pokud je dřevo tříděno vizuálně a EN 338 [15] pokud je dřevo tříděno strojně.

### 3.2.8 ČSN EN 12369

Norma ČSN EN 12369 Charakteristické hodnoty pro navrhování dřevěných konstrukcí [20] poskytuje informace o charakteristických hodnotách desek na bázi dřeva použitých při návrhu stavebních konstrukcí. Pro výpočet charakteristické hodnoty odkazuje na různé normy, které přísluší danému materiálu, jako jsou například ČSN EN 636, ČSN EN 338 [15], ČSN EN 13353, ČSN EN 1058 [21] a ČSN EN 789. Uvádí tabulkové hodnoty, kdy se charakteristická hodnota prvku stanoví na základě druhu použitého materiálu a jeho tloušťce.

### 3.2.9 ČSN EN 1058

Norma ČSN EN 1058 Desky na bázi dřeva - Stanovení 5% kvantilů a charakteristických průměrů [21] určuje postup výpočtu charakteristických hodnot 5% kvantilu mechanických vlastností desek na bázi dřeva s předpokladem logaritmicko-normálního rozdělení výsledků zkoušek podle normy ČSN EN 14358 [12], kde uvádí jinou hodnotu součinitelů  $k_s$  a  $k_{(n)}$ .

## 4 ZDIVO

### 4.1 ČSN EN 1996-1-1+A1

Norma ČSN EN 1996-1-1+A1 Navrhování zděných konstrukcí - Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce [22] stanovuje základní pravidla a požadavky pro navrhování zděných konstrukcí. Charakteristická pevnost zdiva v tlaku z výsledků zkoušek podle normy ČSN EN 1052-1 [24] se stanoví:

1. Pro běžné zdivo dle vztahu

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (46)$$

2. Pro zdivo s tenkými spárami lze použít vzorce

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} \quad (47)$$

nebo

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7}, \quad (48)$$

kde  $f_b$  je pevnost zdícího prvku v tlaku.

### 4.2 ČSN EN 772-1

Norma ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdící prvky - Stanovení pevnosti v tlaku [23] stanovuje metodu pro určení pevnosti v tlaku zdiva. Nestanovuje ale postup ani neodkazuje na dokument, podle kterého by se ze získaných výsledků stanovila charakteristická hodnota pevnosti zdiva v tlaku.

### 4.3 ČSN EN 1052-1

Norma ČSN EN 1052-1 Zkušební metody pro zdivo - Stanovení pevnosti v tlaku [24] určuje postup pro stanovení pevnosti zdiva v tlaku a obsahuje pokyny pro zhotovení zkušebních těles a požadavky na zkušební vzorky i zařízení. Charakteristickou hodnotu pevnosti zdiva v tlaku stanovuje jako menší z hodnot

$$f_k = f_{i,min} \quad (49)$$

nebo

$$f_k = f/1,2, \quad (50)$$

kde  $f$  je průměrná pevnost zdiva v tlaku.

## 5 POROVNÁNÍ RŮZNÝCH POSTUPŮ PRO STANOVENÍ CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY

### 5.1 Všeobecně

Jednotlivé normy mají různé postupy pro stanovení charakteristické hodnoty vlastností stavebních materiálů. Na porovnání jednotlivých norem byla zvolena aplikace metody Monte Carlo, která byla provedena v programu Excel. Výpočty a vzorce charakteristických hodnot byly v normách nejčastěji uváděny pro normální a log-normální rozdělení. Náhodné veličiny podle normálního rozdělení byly vygenerovány pomocí programu Excel a náhodné veličiny podle log-normálního rozdělení pomocí programu Matlab. Pro každé rozdělení byl zvolen malý a střední soubor dat se střední hodnotou 50 a směrodatnou odchylkou 5 MPa. Vzniklé soubory dat se dále zpracovávaly a stanovily se z nich výpočtem nominální hodnoty podle jednotlivých norem a získalo se tak 1000 výsledků charakteristických hodnot. Následně se výsledky podle jednotlivých norem porovnávaly se skutečnou charakteristickou hodnotou pro dané rozdělení a parametry. Dále byly získané hodnoty zpracovány pomocí programu Minitab a získaly se z nich distribuční funkce, krabicové grafy a histogramy.

Grafy distribučních funkcí (obrázky 3, 5, 7 a 9) znázorňují plnou čarou průběh a čárkovanou čarou odhad jednotlivých distribučních funkcí výsledků (podle normy ČSN EN 1990 [1]) tzv. nominálních hodnot podle jednotlivých norem. Dále je vynesena skutečná charakteristická hodnota a medián výsledků podle jednotlivých norem. V legendě jsou dále uvedeny střední hodnoty a směrodatné odchylky podle jednotlivých norem.

V krabicových grafech (obrázky 4, 6, 8 a 10) jsou znázorněny jednotlivé výsledky výpočtů charakteristických hodnot podle různých norem. Každý krabicový graf znázorňuje střední hodnoty a kvartily. V grafu je vynesena skutečná charakteristická hodnota. Porovnáním výsledků podle jednotlivých norem se skutečnou charakteristickou hodnotou lze stanovit, jak se která norma blíží skutečné

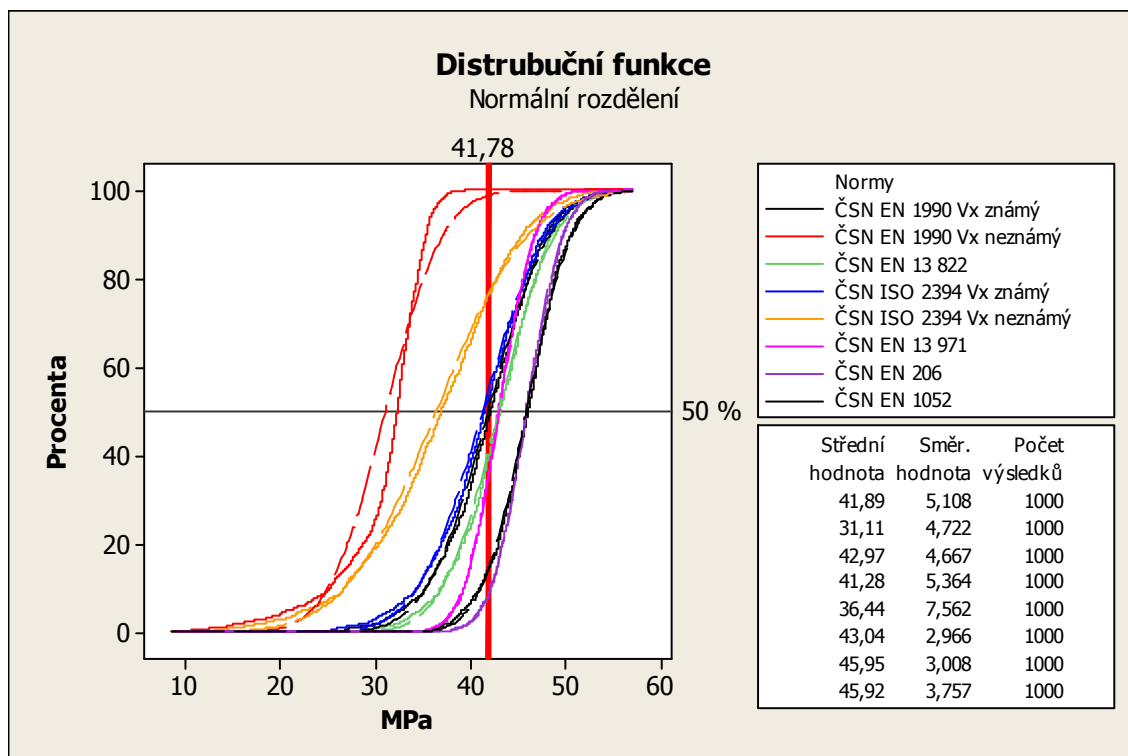
charakteristické hodnotě, a jak moc se od ní liší. Z grafů je i patrné, jak moc některé normy charakteristickou normu nadhodnocují nebo naopak podhodnocují, z čehož nám dále plynou rizika a pravděpodobnost poruchy při použití daného vztahu.

## 5.2 Normální rozdělení 3 vzorky

Jedná se o malý soubor dat, který byl zvolen, protože většina norem uvádí jako minimum pro stanovení nominální hodnoty právě 3 vzorky a dle normy ČSN EN 206 [2] se jedná o minimální počet vzorků, které se musejí otestovat při zavedení počáteční výroby betonu.

Na grafu (obrázek 3) jsou distribuční funkce, které znázorňují průběh a odhad jednotlivých distribučních funkcí výsledků nominálních hodnot podle jednotlivých norem. Dále je zde znázorněna skutečná charakteristická hodnota a medián. V legendě jsou dále uvedeny jednotlivé střední hodnoty a směrodatné odchylky podle jednotlivých norem. Z tohoto grafu je dále patrné, jak moc se od sebe průběhy charakteristických hodnot vzájemně liší.

Obrázek 3 Distribuční funkce výsledků pro 3 vzorky normálního rozdělení



Skutečná charakteristická hodnota pro dané parametry je 41,78 MPa.

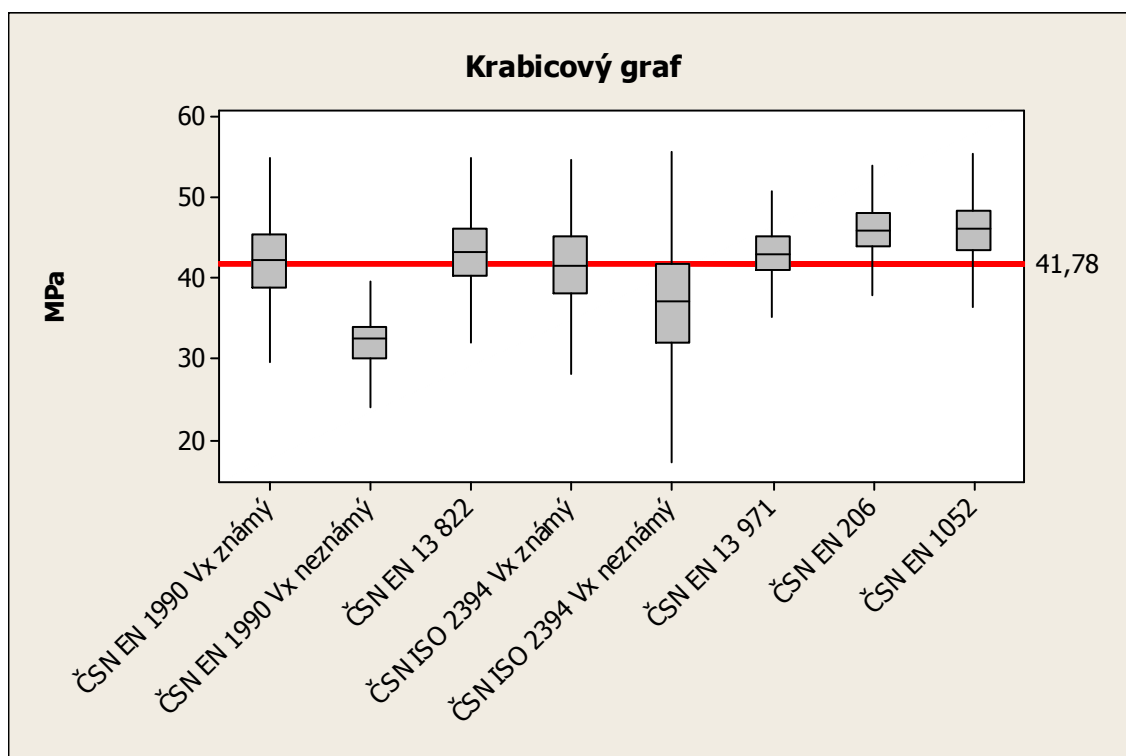
Při výpočtu charakteristické hodnoty ze tří zkoušek můžeme říci, že nejbližší skutečné charakteristické hodnotě se blížila střední hodnota vypočítaná dle normy ČSN EN 1990 [1] pro variační koeficient známý, kdy průměrná nominální hodnota vyšla 41,89, což odpovídá 4,95% kvantilu. Dále se v blízkosti 5% kvantilu nacházely střední hodnoty vypočítané podle norem ČSN ISO 2394 [5] pro variační koeficient známý, ČSN EN 13 791 [4] a ČSN ISO 13 822 [3], kdy jejich střední hodnoty vyšly 41,28, 43,04 a 42,97, což odpovídá 3,82%, 7,84% a 7,62% kvantilu. Výpočty podle norem ČSN EN 1990 [1] pro variační koeficient neznámý a ČSN ISO 2394 [5] pro variační koeficient neznámý jsou nejvíce na stranu bezpečnou, kdy střední hodnoty vyšly 31,11 a 36,44, tyto výsledky odpovídají 0,0065% a 0,30% kvantilu. Na druhou stranu největší rozdíl od charakteristické hodnoty měly normy ČSN EN 1052 [24] a požadavky ČSN EN 206 [2], u kterých vyšly střední hodnoty 45,92 a 45,95 což odpovídá 20,20% a 20,37% kvantilu.

Podle normy ČSN EN 1990 [1] je hodnota indexu spolehlivosti beta pro mezní stav použitelnosti a referenční dobu 50 let a třídu RC2  $\beta = 1,5$  což odpovídá pravděpodobnosti  $p = 0,0668$  a pro jeden rok RC2  $\beta = 2,9$  což je pravděpodobnost  $p = 0,00187$ . Pro mezní stav použitelnosti jsou dílčí součinitele materiálů rovny hodnotě 1.

Tabulka 10 Hodnoty pravděpodobností pro 3 vzorky normálního rozdělení

Norma	Střední hodnota MPa	Kvantil %	Pravděpodobnost	Splnění podmínky 50 let	Splnění podmínky 1 rok
ČSN EN 1990 Vx známý	41,89	4,95	0,001858	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 1990 Vx neznámý	31,11	0,01	2,45E-06	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 13822	42,97	7,62	0,002857	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN ISO 2394 Vx známý	36,44	0,30	0,000112	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN ISO 2394 Vx neznámý	41,28	3,82	0,001434	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 13 791	43,04	7,84	0,00294	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 206	45,95	20,37	0,007638	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 1052	45,92	20,20	0,007576	Vyhovuje	Nevyhovuje

Obrázek 4 Krabicový graf výsledků pro 3 vzorky normálního rozdělení



Na krabicovém grafu (obrázek 4) jsou znázorněny odhady středních hodnot ze tří zkoušek podle jednotlivých norem. Z tohoto grafu je zřejmé, že z vypočtených hodnot nejlépe vyšel odhad podle normy ČSN ISO 2394 [5] pro známý variační koeficient, který má střední hodnotu pod skutečnou charakteristickou hodnotou, a také je tato hodnota blízká skutečné charakteristické hodnotě.

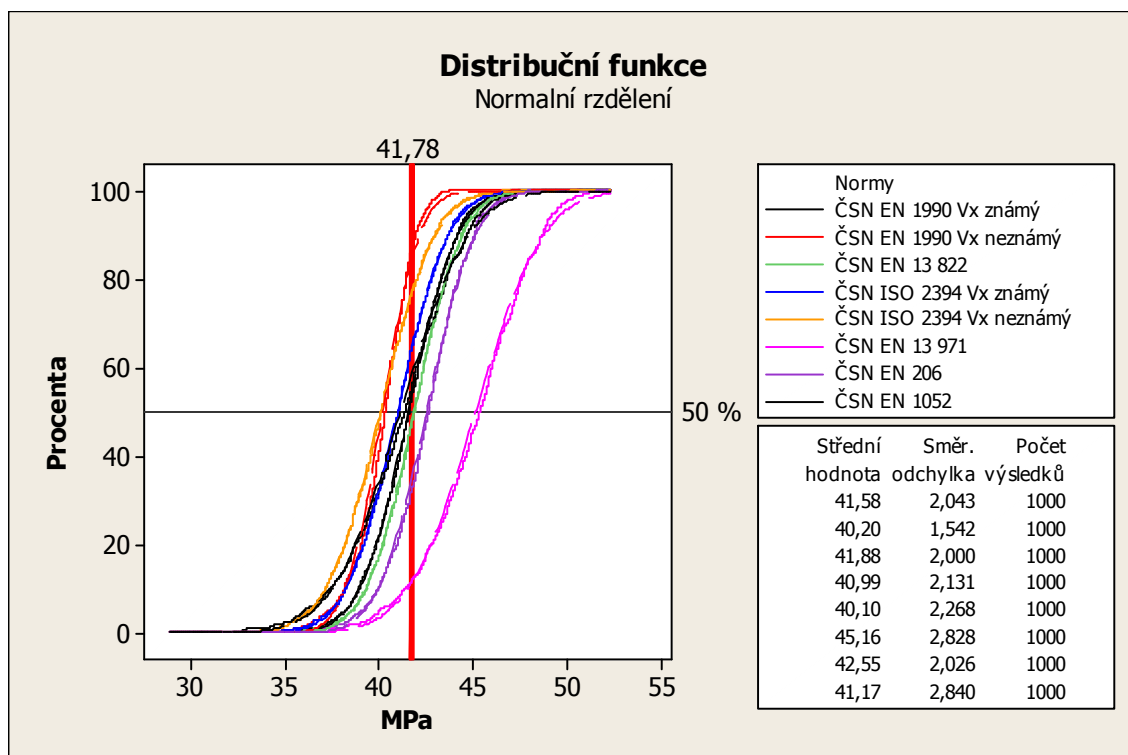
### **5.3 Normální rozdělení 15 vzorků**

Jedná se o středně velký soubor dat, který byl zvolen vzhledem k tomu, že některé normy uvádí právě 15 vzorků jako přechod mezi malým a dostatečným počtem dat. Dále se při použití 15 výsledků mění u některých norem postup výpočtu nominální hodnoty. Podle normy ČSN EN 206 [2] se testuje 15 po sobě jdoucích výrobků pro průběžnou výrobu.

Na grafu níže jsou distribuční funkce, které znázorňují průběh a odhad jednotlivých distribučních funkcí výsledků nominálních hodnot podle jednotlivých norem. Dále je zde znázorněna skutečná charakteristická hodnota a medián. V legendě jsou dále uvedeny jednotlivé střední hodnoty a směrodatné odchylky podle jednotlivých norem. Z tohoto grafu je dále patrné, jak moc se od sebe průběhy charakteristických hodnot vzájemně liší.



Obrázek 5 Distribuční funkce výsledků pro 15 vzorků normálního rozdělení



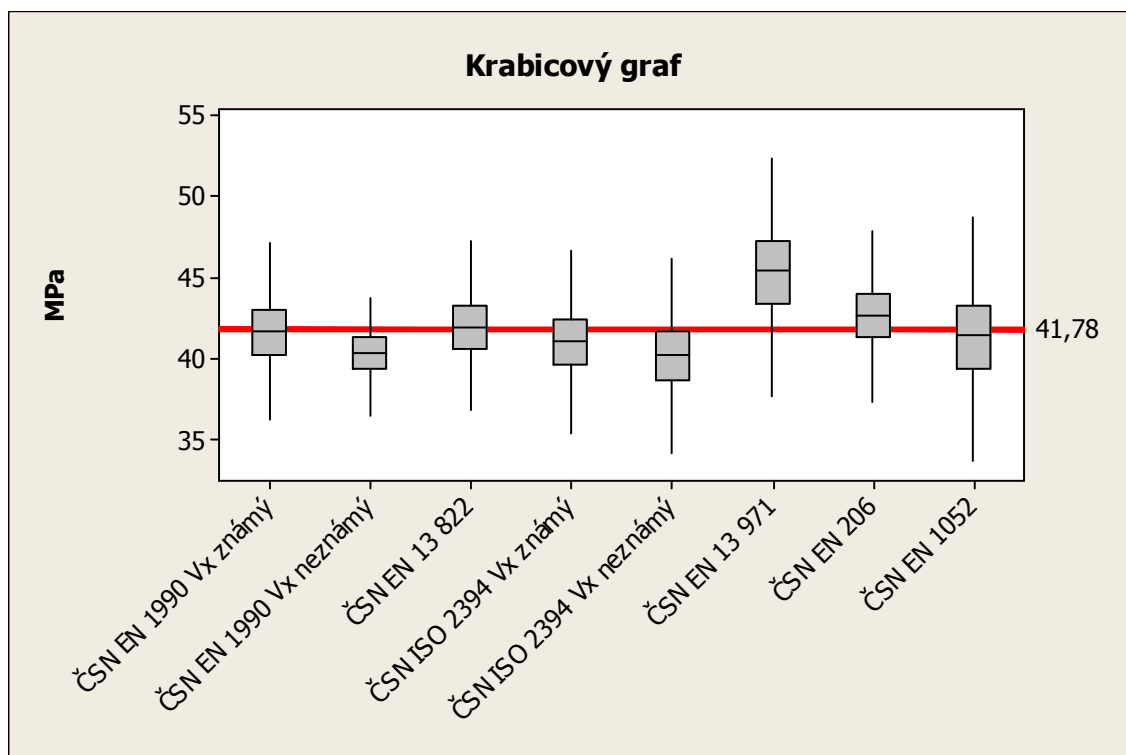
Skutečná charakteristická hodnota pro dané parametry je 41,78 MPa.

Při výpočtu charakteristické hodnoty z patnácti zkoušek můžeme říci, že nejbližší skutečné charakteristické hodnotě se blížila střední hodnota vypočítaná dle normy ČSN EN 1990 [1] pro variační koeficient známý, kdy průměrná nominální hodnota vyšla 41,58, což odpovídá 4,75% kvantilu. Dále se v blízkosti 5% kvantilu nacházely střední hodnoty vypočítané podle norem ČSN ISO 13 822 [3], ČSN ISO 2394 [5] pro variační koeficient známý, ČSN EN 1052 [21] a ČSN EN 206 [2], kdy jejich střední hodnoty vyšly 41,88, 40,99, 41,17 a 42,55, což odpovídá 5,35%, 3,69%, 3,98% a 6,97% kvantilu. Výpočty podle norem ČSN EN 1990 [1] pro variační koeficient neznámý a ČSN ISO 2394 [5] pro variační koeficient neznámý jsou nejvíce na stranu bezpečnou, kdy střední hodnoty vyšly 40,20 a 40,10, tyto výsledky odpovídají 2,59% a 2,47% kvantilu. Na druhou stranu největší rozdíl od charakteristické hodnoty měla norma ČSN EN 13 971 [4], u které vyšla střední hodnota 45,16, což odpovídá 16,82% kvantilu.

Tabulka 11 Hodnoty pravděpodobností pro 15 vzorků normálního rozdělení

Norma	Střední hodnota MPa	Kvantil	Pravděpodobnost	Splnění podmínky 50 let	Splnění podmínky 1 rok
ČSN EN 1990 V <sub>x</sub> známý	41,58	4,75	0,00178	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 1990 V <sub>x</sub> neznámý	40,20	2,59	0,000972	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 13822	41,88	5,36	0,002009	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN ISO 2394 V <sub>x</sub> známý	40,10	2,47	0,000927	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN ISO 2394 V <sub>x</sub> neznámý	40,99	3,69	0,001383	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 13 791	45,16	16,82	0,006308	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 206	42,55	6,97	0,002616	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 1052	41,17	3,98	0,001494	Vyhovuje	Vyhovuje

Obrázek 6 Krabicový graf výsledků pro 15 vzorků normálního rozdělení



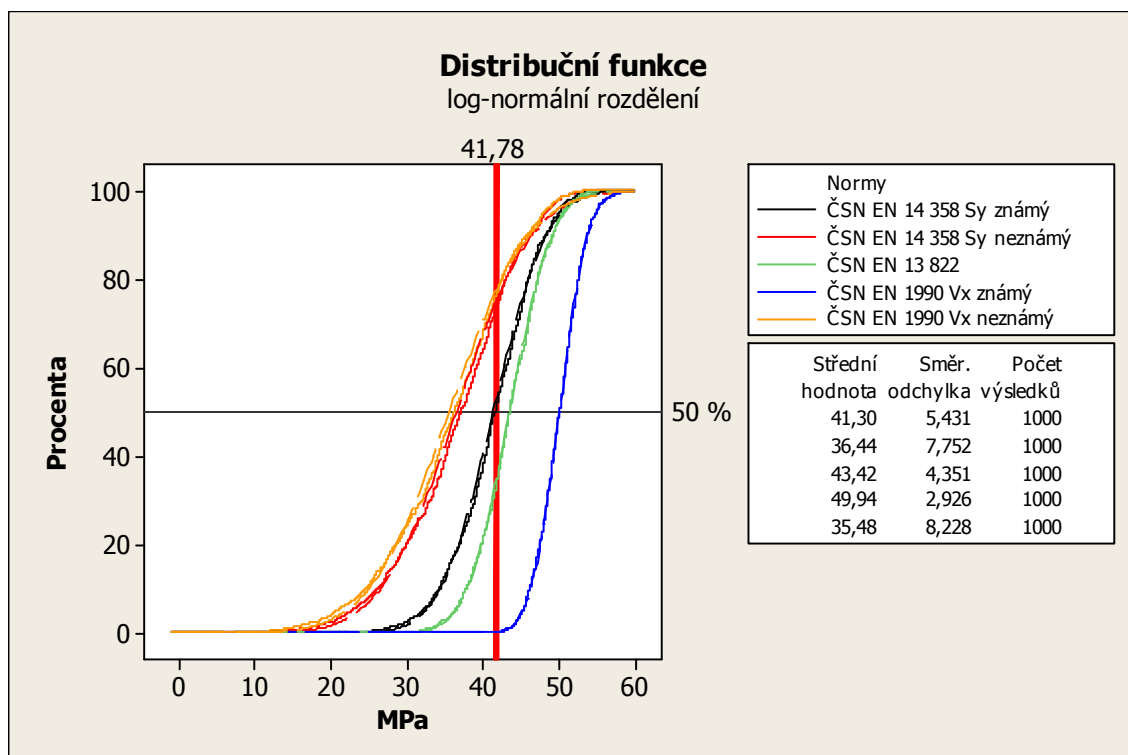
Z krabicového grafu (obrázek 6) je patrné, že se zvyšujícím se počtem vzorků se výpočty více blíží skutečné charakteristické hodnotě a nejsou tolik rozdílné jako v předchozím případě (obrázek 4).

#### 5.4 Log-normální rozdělení 3 vzorky

Jedná se o malý soubor dat, který byl zvolen, protože většina norem uvádí jako minimum pro stanovení nominální hodnoty právě 3 vzorky.

Na grafu (obrázek 7) jsou distribučních funkce, které znázorňují průběh a odhad jednotlivých distribučních funkcí výsledků nominálních hodnot podle jednotlivých norem. V legendě jsou dále uvedeny jednotlivé střední hodnoty a směrodatné odchylky podle jednotlivých norem. Z tohoto grafu je dále patrné, jak moc se od sebe průběhy charakteristických hodnot vzájemně liší.

Obrázek 7 Distribuční funkce výsledků pro 3 vzorky log-normálního rozdělení



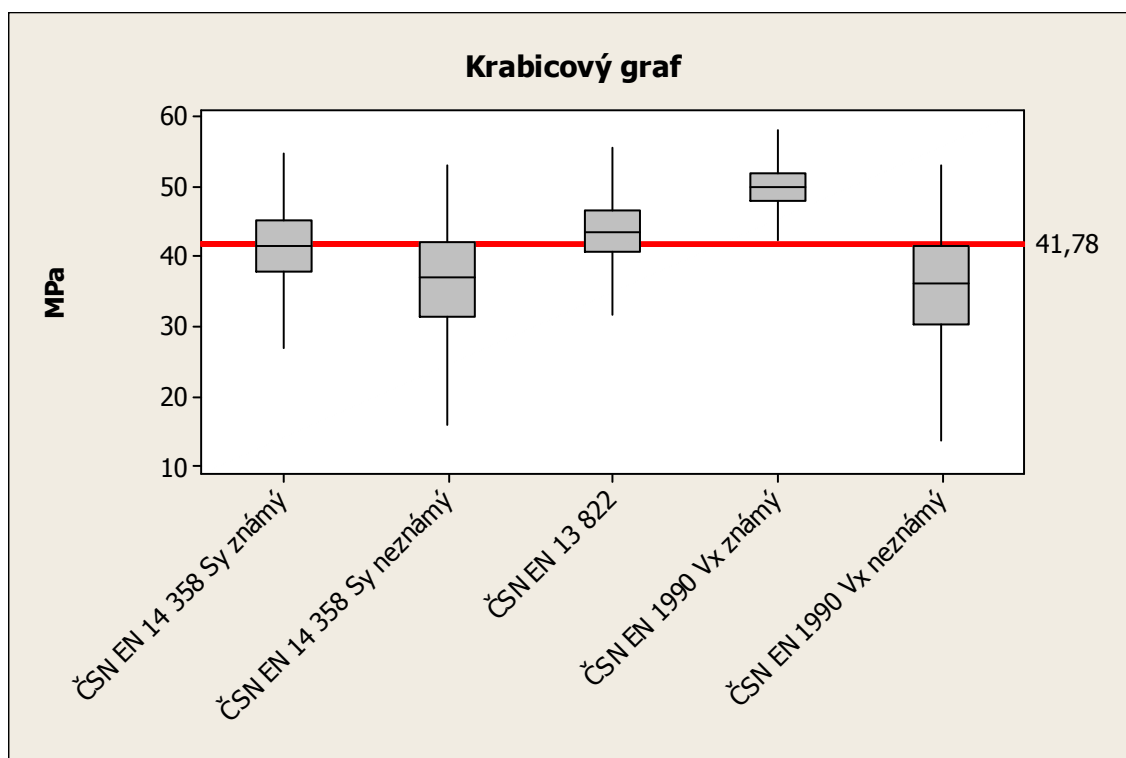
Skutečná charakteristická hodnota pro dané parametry je 41,78 MPa.

Při výpočtu charakteristické hodnoty ze tří zkoušek z log-normálního rozdělení můžeme říci, že nejbližše skutečné charakteristické hodnotě se blížila střední hodnota vypočítaná dle normy ČSN EN 14 358 [12] pro  $S_y$  známý, kdy průměrná nominální hodnota vyšla 41,30, což odpovídá 3,80% kvantilu. Dále se v blízkosti 5% kvantilu nachází střední hodnota vypočítaná podle normy ČSN EN 13 822 [3], kdy její střední hodnota vyšla 43,42, což odpovídá 8,92% kvantilu. Výpočty podle norem ČSN EN 1990 [1] pro variační koeficient neznámý a ČSN EN 14 358 [12] pro  $S_y$  neznámý vyšly jako nejmenší, a to 35,48, 36,44 tyto výsledky odpovídají 0,16% a 0,30% kvantilu. Na druhou stranu největší rozdíl od charakteristické hodnoty měla norma ČSN EN 1990 [1] pro variační koeficient známý, kdy dokonce vyšla střední hodnota 49,94, která odpovídá 48,68% kvantilu.

Tabulka 12 Hodnoty pravděpodobností pro 3 vzorky log-normálního rozdělení

Norma	Střední hodnota MPa	Kvantil %	Pravděpodobnost	Splnění podmínky 50 let	Splnění podmínky 1 rok
ČSN EN 14358 $V_x$ známý	41,30	3,80	0,001426	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 14 358 $V_x$ neznámý	36,44	0,30	0,000111	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 13 822	43,42	8,92	0,003344	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 1990 $V_x$ známý	49,94	48,68	0,018256	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 1990 $V_x$ neznámý	35,48	0,16	6,06E-05	Vyhovuje	Vyhovuje

Obrázek 8 Krabicový graf výsledků pro 3 vzorky log-normálního rozdělení



Na krabicovém grafu (obrázek 8) jsou znázorněny odhady středních hodnot z 3 zkoušek podle jednotlivých norem. Z tohoto grafu je zřejmé, že z vypočtených hodnot nejlépe vyšel odhad podle normy ČSN EN 14 358 [12] pro známou směrodatnou odchylku  $S_y$ ,

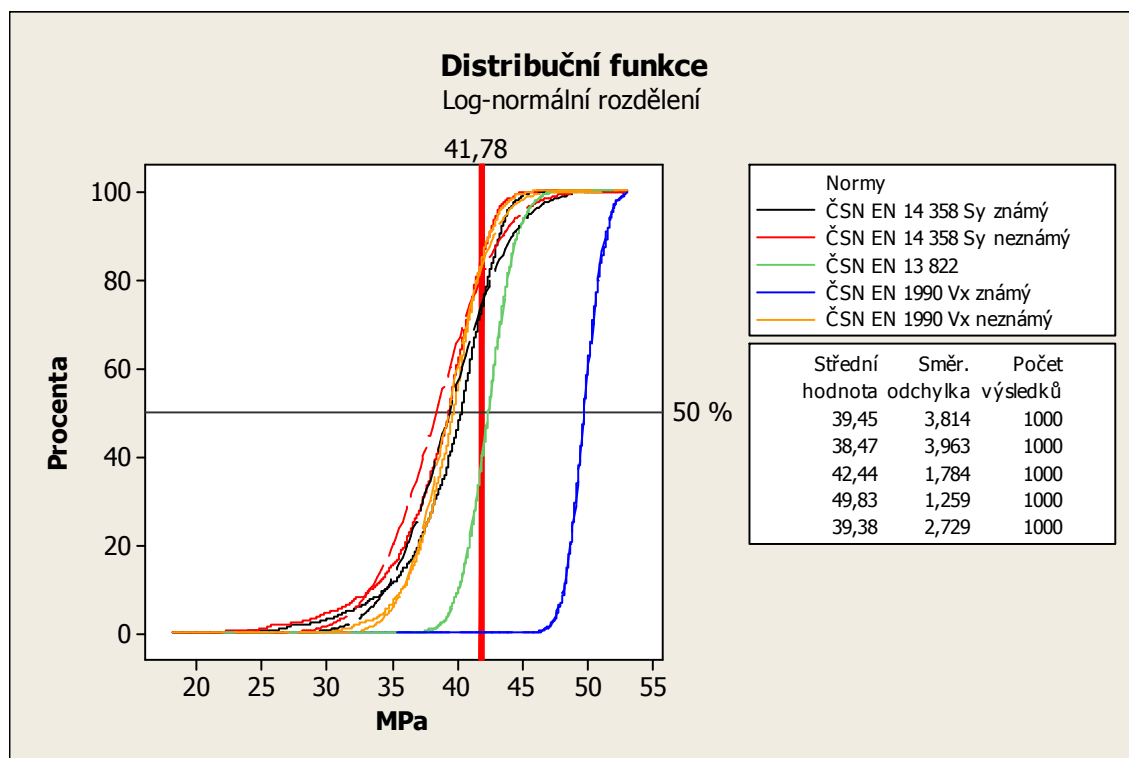
který má střední hodnotu pod skutečnou charakteristickou hodnotou, a také je tato hodnota blízká skutečné charakteristické hodnotě.

## 5.5 Log-normální rozdělení 15 vzorků

Jedná se o středně velký soubor dat, který byl zvolen vzhledem k tomu, že některé normy uvádí právě 15 vzorků jako přechod mezi malým a dostatečným počtem dat. Dále se při použití 15 výsledků mění u některých norem postup výpočtu nominální hodnoty.

Na grafu (obrázek 9) jsou distribuční funkce, které znázorňují průběh a odhad jednotlivých distribučních funkcí výsledků nominálních hodnot podle jednotlivých norem. Dále je zde znázorněna skutečná charakteristická hodnota a medián. V legendě jsou uvedeny jednotlivé střední hodnoty a směrodatné odchylky podle jednotlivých norem. Z tohoto grafu je dále patrné, jak moc se od sebe průběhy charakteristických hodnot vzájemně liší.

Obrázek 9 Distribuční funkce výsledků pro 15 vzorků log-normálního rozdělení



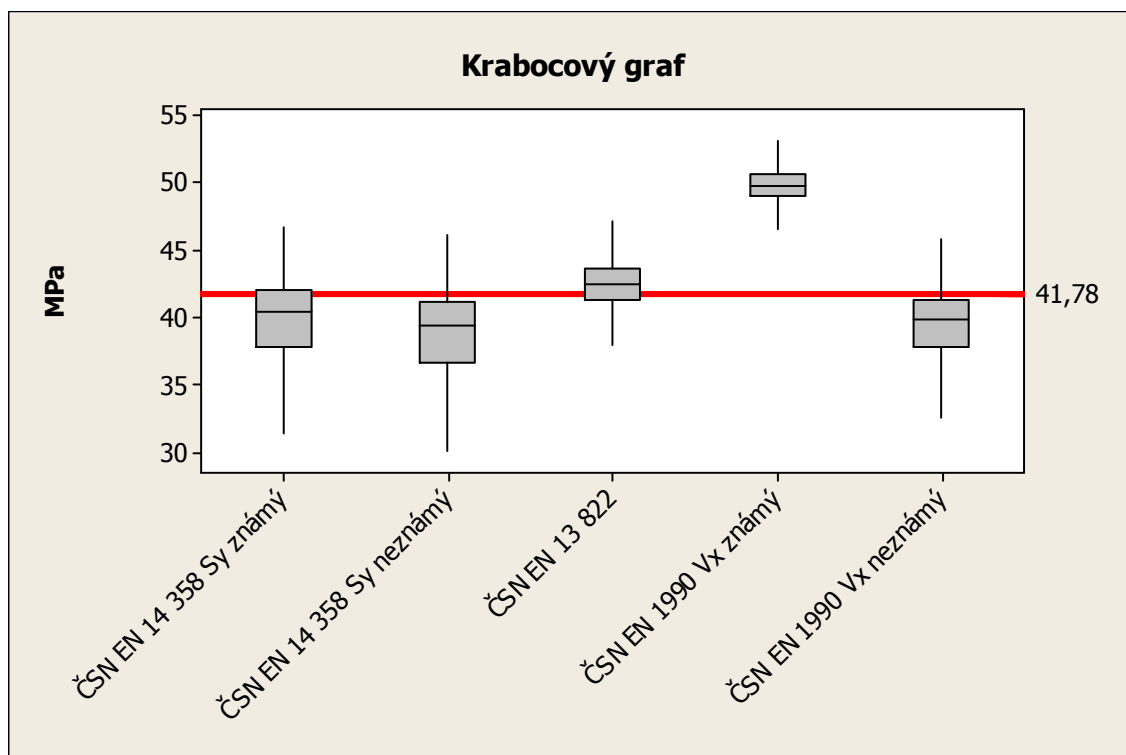
Skutečná charakteristická hodnota pro dané parametry je 41,78 MPa.

Při výpočtu charakteristické hodnoty z patnácti zkoušek z log-normálního rozdělení můžeme říci, že nejbližší skutečné charakteristické hodnotě se blížila střední hodnota vypočítaná dle normy ČSN ISO 13 822 [3], kdy průměrná nominální hodnota vyšla 42,44, což odpovídá 6,32% kvantilu. Dále se v blízkosti 5% kvantilu nacházely střední hodnoty vypočítané podle normy ČSN EN 14 358 [12] pro  $S_y$  známý a ČSN ISO 1990 [1] pro variační koeficient neznámý, kdy střední hodnota vyšla 39,45 a 39,38 což odpovídá 1,65% a 1,59% kvantilu. Výpočty podle norem ČSN EN 14 358 [12] pro  $S_y$  neznámý vyšel jako nejmenší a 38,47. Tento výsledek odpovídá 0,99% kvantilu. Na druhou stranu největší rozdíl od charakteristické hodnoty měla norma ČSN ISO 1990 [1] pro variační koeficient známý, kdy dokonce vyšla střední hodnota 49,83, která odpovídá 48,66% kvantilu.

Tabulka 13 Hodnoty pravděpodobností pro 15 vzorků log-normálního rozdělení

Norma	Střední hodnota MPa	Kvantil %	Pravděpodobnost	Splnění podmínky 50 let	Splnění podmínky 1 rok
ČSN EN 14358 $S_y$ známý	39,45	1,65	0,000619	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 14 358 $S_y$ neznámý	38,47	0,99	0,00037	Vyhovuje	Vyhovuje
ČSN EN 13 822	42,44	6,33	0,002373	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 1990 $V_x$ známý	49,83	48,66	0,018249	Vyhovuje	Nevyhovuje
ČSN EN 1990 $V_x$ neznámý	39,38	1,59	0,000596	Vyhovuje	Vyhovuje

Obrázek 10 Krabicový graf výsledků pro 15 vzorků log-normálního rozdělení



Na krabicovém grafu (obrázek 10) jsou znázorněny odhady středních hodnot z 15 zkoušek podle jednotlivých norem. Z tohoto grafu je zřejmé, že z vypočtených hodnot nejlépe vyšel odhad podle normy ČSN EN 14 358 [12] pro známou směrodatnou odchylku  $S_y$ , který má střední hodnotu pod skutečnou charakteristickou hodnotou, a také je tato hodnota blízká skutečné charakteristické hodnotě.



## 6 ZÁVĚR A VYHODNOCENÍ

Tato diplomová práce shrnuje postupy stanovení charakteristických hodnot pro základní stavební normy tříd 72 - Stavební suroviny, materiály a výrobky a 73 - Navrhování a provádění staveb. Při použití jednotlivých norem se charakteristická hodnota stanovuje různými postupy, které převážně závisí na účelu dané normy a na druhu materiálů, pro které daný dokument platí. I když se jedná o stejně definovaný parametr, tak jednotlivé normy jsou nejednotné a udávají různá kritéria a statistické postupy pro stanovení charakteristické hodnoty. Navzdory různým výstupům podle jednotlivých norem je o této problematice ve stavebním zkušebnictví jen nízké povědomí a často se předpokládá, že pokud je materiál ve shodě s normou, tak má právě takové vlastnosti, jaké nám uvádí tato norma. Při použití různých kritérií a postupů vycházejí i rozdílné hodnoty, které se od sebe v některých případech výrazně liší. Tyto rozdílné hodnoty mohou být dány skutečností, že jednotlivé materiály mají rozdílné vlastnosti a chování. Což může být znát na velikosti variačním koeficientu, který se dále promítá při výpočtu charakteristické hodnoty. Další odchylku může způsobit to, že se daný materiál nemusí chovat přesně podle daného typu pravděpodobnostního rozdělení uvedeného v daném dokumentu, kdy se nejčastěji uvažuje model normálního nebo log-normálního rozdělení pro daný materiál.

Řešení této problematiky by mohlo být sjednocení postupu stanovení charakteristické hodnoty pro všechny materiály podle jednoho základního dokumentu. Na základě výsledků provedeného experimentu se jako nejvhodnější postup pro stanovení charakteristické hodnoty s využitím normálního rozdělení jeví norma ČSN EN 1990 [1] - zásady navrhování konstrukcí. Vyhodnocení podle tohoto postupu se blížilo skutečným hodnotám, a také je tato norma hierarchicky nadřazena ostatním normám týkajících se výpočtu charakteristické hodnoty a navrhování konstrukcí. Při výpočtu charakteristické hodnoty by pak veškeré normy, které určují postup vyhodnocování výsledků zkoušek pro zjištění vlastností materiálů nebo s charakteristickou hodnotou materiálů dále pracují, měly přímo na ČSN EN 1990 [1] odkazovat nebo uvádět daný postup výpočtu. U log-normálního rozdělení se ale norma ČSN EN 1990 [1] výrazně lišila od skutečné charakteristické hodnoty. Na základě výpočtů se jako nejvhodnější

norma pro stanovení charakteristické hodnoty pro log-normální rozdělení jeví  
ČSN EN 14 358 Dřevěné konstrukce - výpočet 5% kvantilů charakteristických hodnot a  
kritéria přijatelnosti pro výběr [12].

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Hodnoty kvantilů normálního rozdělení .....</i>	13
<i>Tabulka 2 Hodnoty součinitele <math>kn</math> při známém a neznámém variačním koeficientu.....</i>	17
<i>Tabulka 3 Hodnoty součinitele <math>ks</math> při neznámém koeficientu <math>sR</math>.....</i>	19
<i>Tabulka 4 Hodnoty součinitele <math>ks</math> při známém koeficientu <math>sR</math>.....</i>	19
<i>Tabulka 5 Pevnostní třídy betonu dle normy ČSN EN 206.....</i>	23
<i>Tabulka 6 Minimální četnosti odběru vzorků betonu.....</i>	24
<i>Tabulka 7 Kritéria pro členy souboru.....</i>	26
<i>Tabulka 8 Hodnoty koeficientu <math>k</math> .....</i>	28
<i>Tabulka 9 Hodnoty součinitelů <math>k_s</math>, <math>k(n)</math>.....</i>	31
<i>Tabulka 10 Hodnoty pravděpodobností pro 3 vzorky normálního rozdělení .....</i>	40
<i>Tabulka 11 Hodnoty pravděpodobností pro 15 vzorků normálního rozdělení .....</i>	43
<i>Tabulka 12 Hodnoty pravděpodobností pro 3 vzorky log-normálního rozdělení.....</i>	46
<i>Tabulka 13 Hodnoty pravděpodobností pro 15 vzorků log-normálního rozdělení.....</i>	48

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Charakteristická hodnota pro normální rozdělení.....</i>	13
<i>Obrázek 2 Hierarchie norem .....</i>	14
<i>Obrázek 3 Distribuční funkce výsledků pro 3 vzorky normálního rozdělení .....</i>	38
<i>Obrázek 4 Krabicový graf výsledků pro 3 vzorky normálního rozdělení.....</i>	40
<i>Obrázek 5 Distribuční funkce výsledků pro 15 vzorků normálního rozdělení.....</i>	42
<i>Obrázek 6 Distribuční funkce výsledků pro 3 vzorky log-normálního rozdělení.....</i>	45
<i>Obrázek 7 Krabicový graf výsledků pro 3 vzorky log-normálního rozdělení .....</i>	46
<i>Obrázek 8 Distribuční funkce výsledků pro 15 vzorků log-normálního rozdělení.....</i>	47
<i>Obrázek 9 Krabicový graf výsledků pro 15 vzorků log-normálního rozdělení.....</i>	49

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 1990 EC1 *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, únor 2011.
- [2] ČSN EN 206 *Beton - specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červenec 2014
- [3] ČSN ISO 13822 *Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2014.
- [4] ČSN EN 13 791 *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných dílcích*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červen 2007.
- [5] ČSN ISO 2394 *Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, říjen 2003.
- [6] ČSN ISO 2854 *Statistická interpretace údajů - odhady a testy středních hodnot a rozptylů*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, říjen 1994.
- [7] ČSN EN 1992 *Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2011.
- [8] ČSN EN 12390-3 *Zkoušení ztvrdlého betonu - pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2010.
- [9] ČSN EN 12504-1 *Zkoušení betonu v konstrukcích - Odběr vyšetření a zkoušení v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2009.
- [10] ČSN EN 13369 *Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2013
- [11] ČSN EN 13 38 *Betonové dlažební bloky - Požadavky a zkušební metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2014.

- [12] ČSN EN 14358 *Dřevěné konstrukce - výpočet 5% kvantilů charakteristických hodnot a kritéria přijatelnosti pro výběr*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, červen 2007.
- [13] EN 1995-1-1 *Navrhování dřevěných konstrukcí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, prosinec 2006.
- [14] ČSN EN 14545 *Dřevěné konstrukce - Spojovací prostředky požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červenec 2009.
- [15] ČSN EN 338 *Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, květen 2010.
- [16] ČSN EN 384 *Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2010.
- [17] ČSN EN 408+A1 *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, prosinec 2012.
- [18] ČSN EN 1912 *Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti - Přiřazení vizuálních tříd dřevin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2012.
- [19] ČSN EN 14081-1 *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, srpen 2011.
- [20] ČSN EN 12369 *Charakteristické hodnoty pro navrhování dřevěných konstrukcí*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, září 2001.
- [21] ČSN EN 1058 *Desky na bázi dřeva - Stanovení 5% kvantilů a charakteristických průměrů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, červen 2010.

- [22] ČSN EN 1996-1-1+A1 *Navrhování zděných konstrukcí - Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, listopad 2013.
- [23] ČSN EN 772-1 *Zkušební metody pro zdící prvky - Stanovení pevnosti v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, říjen 2011.
- [24] ČSN EN 1052-1 *Zkušební metody pro zdivo - Stanovení pevnosti v tlaku*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, říjen 1999.
- [25] Tichý, Milík. *Ovládání rizika. Analýza a management. 1. vydání*. Praha: Nakladatelství C. H Beck, 2006. ISBN 80-7179-415-5.
- [26] Vymazal, Tomáš. *Možnosti predikce, identifikace, analýzy, hodnocení a řízení rizik ve stavební praxi. Teze habilitační práce*. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 2010.
- [27] Helena, Koutková. *Základy pravděpodobnost*. Brno: CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-574-7